

(ID Modèle = 454913)

Ineris - 204108 - 2725893 - v1.0

23/02/2022

Construction et production d'un indicateur de qualité des environnements pour la santé des populations

Application de la méthodologie GT3 PNSE4 – Test d'agrégation d'une partie des indicateurs, cas des indicateurs d'exposition



PRÉAMBULE

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

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

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

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

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Sites et Territoires

Rédaction : GUERIN Sabine

Vérification: DUPLANTIER STEPHANE; DURIF MARC; KAZMIERCZAK JEAN-BERNARD; VELLY

NATHALIE

Approbation : Document approuvé le 23/02/2022 par BAROUDI HAFID

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Julien Caudeville, Sara Robert, Mamadou Bailo Baldé

Table des matières

| 1 | Intro | duction | 9 |
|---|-------|---|----|
| | 1.1 | Contexte de l'élaboration des indicateurs | 9 |
| | 1.2 | Objectifs de l'indicateur de QUALité des Environnements pour la population (IQUALE) | 10 |
| | 1.3 | Travaux réalisés par l'Ineris en 2021 | 10 |
| 2 | Méth | node de construction de l'indicateur composite | |
| | 2.1 | L'outil CalEnviroScreen | 12 |
| | 2.2 | Indicateur IQUALE | 12 |
| | 2.3 | Principe et hypothèse de calcul de l'indicateur proposé (Ineris, 2020a) | 13 |
| | 2.4 | Choix et impact de la transformation des données | 13 |
| | 2.5 | Méthodes de discrétisation des données | 14 |
| 3 | Desc | cription et construction des indicateurs individuels d'exposition | 15 |
| | 3.1 | Eau destinée à la consommation humaine (EDCH) | 15 |
| | 3.1.1 | Indicateur | 15 |
| | 3.1.2 | 2 Base de données utilisée | 15 |
| | 3.1.3 | B Méthodologie | 16 |
| | 3.2 | Bruit | 17 |
| | 3.2.1 | Principe | 17 |
| | 3.2.2 | 2 Indicateur | 17 |
| | 3.2.3 | Base de données utilisée | 17 |
| | 3.2.4 | Méthodologie | 19 |
| | 3.2.5 | 5 Résultats | 20 |
| | 3.2.6 | S Limites | 22 |
| | 3.2.7 | Perspectives | 22 |
| | 3.3 | Ozone | 23 |
| | 3.3.1 | Principe | 23 |
| | 3.3.2 | 2 Indicateur | 23 |
| | 3.3.3 | Base de données utilisée | 23 |
| | 3.3.4 | Méthodologie | 24 |
| | 3.3.5 | 5 Résultats | 24 |
| | 3.3.6 | S Limites | 26 |
| | 3.3.7 | 7 Perspectives | 26 |
| | 3.4 | PM2,5 | 27 |
| | 3.4.1 | Principe | 27 |
| | 3.4.2 | 2 Indicateur | 27 |
| | 3.4.3 | Base de données utilisée | 27 |
| | 3.4.4 | Méthodologie | 28 |
| | 3.4.5 | 5 Résultats | 28 |
| | 3.4.6 | S Limites | 30 |
| | 3.4.7 | Perspectives | 30 |
| | 3.5 | Potentiel Radon | 31 |
| | 3.5.1 | Principe | 31 |

| | 3.5.2 | Indicateur | 31 |
|---|------------|--|----|
| | 3.5.3 | Base de données utilisée | 32 |
| | 3.5.4 | Méthodologie | 33 |
| | 3.5.5 | Résultats | 33 |
| | 3.5.6 | Limites | 35 |
| | 3.5.7 | Perspectives | 35 |
| | 3.6 Emis | ssions atmosphériques | 36 |
| | 3.6.1 | Principe | 36 |
| | 3.6.2 | Indicateur | 36 |
| | 3.6.3 | Bases de données utilisées | 36 |
| | 3.6.4 | Méthodologie | 38 |
| | 3.6.5 | Résultats | 38 |
| | 3.6.6 | Limites | 40 |
| | 3.6.7 | Perspectives | 42 |
| 4 | Agrégatio | on | 43 |
| | 4.1 India | cateur à l'échelle métropolitaine | 44 |
| | 4.1.1 | Méthodologie | 44 |
| | 4.1.2 | Résultats | 44 |
| | 4.1.3 | Limites | 46 |
| | 4.1.4 | Perspectives | 46 |
| | 4.2 India | cateur francilien | 47 |
| | 4.2.1 | Méthodologie | 47 |
| | 4.2.2 | Résultats | 47 |
| | 4.2.3 | Limites | 49 |
| | 4.2.4 | Perspectives | 49 |
| 5 | Conclusion | ons et perspectives | 50 |
| | 5.1 Con | clusions | 50 |
| | 5.2 Pers | spectives | 50 |
| 6 | Tables de | es sigles et abréviations | 52 |
| 7 | Référenc | es | 53 |
| 8 | Annexes | | 54 |
| | | Description des résolutions spatiales et temporelles des données utilisées pour construurs | |
| | Annexe 2 : | Complément lié à l'indicateur Bruit | 56 |
| | Annexe 3 : | Complément lié à l'indicateur d'émissions atmosphériques | 58 |
| | | Cartes des indicateurs individuels pour la zone francilienne étudiée - Discrétisation | |

Liste des figures

| Figure 1 : Données d'entrée disponibles sur la plateforme EIONET au 01/10/2021 (en rose les donn | າées |
|--|-------|
| inéaires, en vert les données polygonales) | 18 |
| - Figure 2 : Données d'entrée de 2017 disponibles sur BruitParif et téléchargeables aux format SIG . | 19 |
| Figure 3 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié au bruit | |
| igure 4 : Cartographie de l'indicateur bruit (dB) (a) et de l'indicateur normalisé (b) sur un maillage | e de |
| 4x4 km² pour la zone francilienne disponible sur le site de BruitParif et de la distribution de l'indica | |
| associée | |
| Figure 5 : Plateforme de téléchargement des données SOMO35 | 23 |
| Figure 6 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié à l'ozone | |
| Figure 7 : Cartographie de la moyenne annuelle sur trois ans des SOMO35 en μg/m³.jour estimée | |
| PREV'AIR (a) sur la maille 4x4 km² et de l'indicateur correspondant (b) ainsi que sa distribution | |
| Figure 8 : Plateforme de téléchargement des moyennes annuelles en PM _{2.5} | |
| Figure 9 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié aux PM _{2,5} | |
| Figure 10 : Cartographie de la moyenne annuelle sur trois ans des $PM_{2.5}$ en $\mu g/m^3$ estimée | |
| PREV'AIR (a) sur la maille 4x4 km² et de l'indicateur correspondant (b) ainsi que sa distribution | |
| Figure 11 : Cartographie du potentiel radon mise en ligne par l'IRSN | |
| Figure 12 : Méthodologie de construction de l'indicateur lié au potentiel radon | |
| Figure 13 : Cartographie des catégories du potentiel radon moyennées par la surface (a), cartogra | |
| de l'indicateur radon sur un maillage 4x4 km² (b) et distribution des valeurs pour la métropole | |
| Figure 14 : Page d'accès aux données communales et d'export de l'INS (exemple pour l'arsenic p | |
| 'année 2007) | |
| Figure 15 : Méthodologie de construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques | |
| Figure 16 : Cartographie de la moyenne des données d'émission annuelles pondérée par les p | |
| oxiques des substances (a), cartographie de l'indicateur d'émissions atmosphériques (b) sur | |
| maillage 4x4 km² (b) et la distribution associée | |
| Figure 17 : Données d'émission pondérées par le poids toxique pour les données d'entrée kilométriq | ues |
| de l'INS de l'année 2007 (échelle logarithmique) | 40 |
| Figure 18 : Cartographie de l'indicateur d'émission atmosphérique sur un maillage 4 x 4 km² a | avec |
| discrétisation par intervalles égaux | 42 |
| Figure 19 : Méthodologie de construction de l'indicateur composite avec les indicateurs individ | uels |
| disponibles en 2021 | 44 |
| Figure 20 : Cartographie de l'indicateur composite sur un maillage 4x4 km², avec un classement | des |
| données en percentiles pour l'indicateur avant (a) et après normalisation (a) distribution des donn | ıées |
| pour la métropole. Les cartographies pour les indicateurs individuels avec répartition en interva | alles |
| - J J | 45 |
| Figure 21 : Méthodologie de construction de l'indicateur composite avec les indicateurs individ | uels |
| disponibles en 2021 pour une zone restreinte de l'Ile-de-France | 47 |
| Figure 22 : Cartographie de l'indicateur composite sur un maillage 4x4 km², avec un classement | des |
| données en quantiles pour l'indicateur avant normalisation (a) et l'indicateur standardisé avec | |
| ntervalles égaux (b) et distribution des données avant normalisation pour une zone de l'Ile-de-Fra | |
| | 48 |
| | |
| Liste des tableaux | |
| | |
| Tableau 1 : Catégories associées aux classifications des communes du potentiel radon des format | .ions |
| géologiques établies par l'IRSN | J I |
| Tableau 2 : Poids toxique du système RSEI (Risk-Screening Environmental Indicators) de l'US E | |
| associés aux substances disponibles dans l'INS pour l'année 2012 | |
| Tableau 3 : Caractéristiques des données Ineris disponibles concernant l'Inventaire National Spatia | |
| (INS) | |
| Tableau 5 : Indicateurs d'exposition, pondérations correspondantes et état d'avancement à la fir | |
| 'année 2021 (adapté de Caudeville, 2020) | |
| aiiioo 2021 (aaapto ao Oaaaoviiio, 2020) | т∪ |

Résumé

Dans le cadre de la préparation du 4ème PNSE « Mon environnement, ma santé », le ministère en charge de l'environnement a demandé à l'Ineris de piloter un groupe de travail sur les indicateurs environnementaux et territoriaux destiné à élaborer une méthodologie de construction d'un indicateur environnemental composite, 1) agrégé au niveau national pour évaluer l'évolution temporelle de la contamination des milieux, 2) déclinable au niveau territorial et 3) agrégé au niveau populationnel pour estimer la distribution des expositions notamment selon la défaveur sociale (Ineris, 2020a).

La méthodologie élaborée par le groupe de travail a fait l'objet d'un rapport (Ineris, 2020a). Ce rapport restitue les méthodes de construction d'un indicateur composite et des treize indicateurs individuels ou agrégés qui le composent, retenues par le groupe de travail dédié sous l'égide du GT3 « données, indicateurs » de préfiguration du PNSE4. Les treize indicateurs sont divisés en deux familles : les indicateurs d'exposition et les indicateurs de « pressions environnementales ». L'indicateur composite est défini comme un indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE). Il correspond à la combinaison mathématique des deux dimensions (exposition et pressions environnementales) du concept d'impact. Il est composé d'indicateurs individuels (un seul paramètre) et d'indicateurs agrégés (plusieurs paramètres résumés dans une variable).

L'objectif des indicateurs individuels ou agrégés et de l'indicateur composite IQUALE est de permettre une comparaison spatiale sur l'ensemble du pays afin de hiérarchiser les territoires les uns par rapport aux autres et notamment d'identifier ceux étant affectés par plusieurs facteurs de risques. A terme, un suivi temporel de l'indicateur composite et des indicateurs individuels ou agrégés sera également possible. L'objectif de l'indicateur de qualité des environnements n'a pas la prétention de prédire de manière exacte les impacts sanitaires des différents facteurs de risque dont il est composé. En effet, les indicateurs d'« exposition » ne se trouvent pas au même niveau du continuum source-vecteur-cible et des dynamiques temporelles hétérogènes sont en jeu. Cet outil permet d'identifier les territoires affectés de manière disproportionnée par plusieurs sources de pollution.

Le principe de la construction d'indicateurs environnementaux a été validé par le PNSE 4 et l'Ineris a donc initié la construction des indicateurs en se basant sur la démarche proposée par le GT mentionné précédemment. Plus qu'une construction opérationnelle, il s'est agi dans un premier temps d'en démontrer la faisabilité et dans un second temps lorsque les indicateurs étaient accessibles d'en évaluer les limites et les améliorations qu'il semblait nécessaire d'apporter pour en améliorer la pertinence.

Concernant la faisabilité, l'Ineris n'a pas été en mesure de construire l'ensemble des indicateurs identifiés par le GT notamment en raison de l'impossibilité d'accéder à certaines bases de données ou à des mises à jour suffisamment récentes pour être pertinentes. De fait, l'Ineris s'est focalisé sur un ensemble d'indicateurs pouvant être agrégés afin de procéder à l'élaboration d'un prototype permettant d'illustrer sa faisabilité mais aussi les limites actuelles pour aboutir à des indicateurs « opérationnels ». L'Ineris s'est donc concentré sur les indicateurs dits d'exposition concernant l'eau destinée à la consommation humaine, le bruit, les PM_{2,5} atmosphériques, l'ozone, le radon et les émissions atmosphériques.

Sur les six indicateurs d'exposition proposés, l'indicateur concernant l'eau destinée à la consommation humaine n'a pas pu être construit en l'absence de données d'entrée disponibles, tandis que l'indicateur lié au bruit n'a pu être construit que pour une partie du territoire francilien. Pour les quatre autres indicateurs, une première version de leur construction à l'échelle de la métropole est présentée dans le présent rapport. Pour chaque indicateur, l'Ineris propose une carte tout en précisant les limites liées aux différents indicateurs et des éventuelles pistes d'évolution.

Des travaux complémentaires seront nécessaires afin de finaliser la construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques notamment une comparaison des résultats en fonction de la résolution spatiale des données d'entrée utilisée et la transformation des résultats de l'indicateur individuel.

Une agrégation des indicateurs disponibles selon la méthodologie proposée par le groupe de travail a été testée avec les indicateurs individuels disponibles et construits à fin 2021. La construction des indicateurs de pressions environnementales et leur intégration dans l'indicateur composite sont prévues pour 2022. Concernant ces derniers, la collecte des données d'entrée a été entamée en 2021 et continuera en 2022. En effet, certaines bases de données (BASOL, S3IC, BNVD) nécessaires à la construction des indicateurs de « pressions environnementales » sont actuellement en cours de refonte et ne seront disponibles qu'en 2022. Ces indicateurs sont soit des indicateurs individuels (un seul paramètre) soit des indicateurs agrégés (plusieurs paramètres résumés dans une variable).

Les premières tentatives de construction des indicateurs ont montré plusieurs limites qu'il conviendra de lever si cet indicateur doit être remis à jour régulièrement :

- La pertinence des cartographies présentées dans le présent rapport repose sur la qualité des données d'entrée. Ainsi, une mise à disposition de données complètes sur l'ensemble du territoire et avec des temporalités similaires permettrait de diminuer les incertitudes, idéalement selon un format ad hoc y compris pour tous les indicateurs relatifs aux pressions environnementales;
- Les données d'entrée doivent être homogènes et disponibles sur l'ensemble du territoire;
- Les champs utilisés dans les bases de données pour la construction des indicateurs doivent rester identiques au cours du temps. En effet, le remaniement de base de données d'entrée avec la disparition de certains champs utilisés rendrait un suivi dans le temps impossible pour un indicateur construit selon une méthodologie fixée;
- Idéalement, les bases de données devraient être mise à jour annuellement et à défaut avec un pas de temps entre les mises à jour le plus réduit possible;
- A l'issue de la construction de l'ensemble des indicateurs individuels ou agrégés et de la construction de l'indicateur IQUALE, les différents coefficients pondérateurs pourront éventuellement être discutés et ajustés. A l'instar de l'indicateur californien, une mise à disposition des cartographies individuelles en complément de l'indicateur composite IQUALE est considérée;
- A plus long terme, cet indicateur pourrait, à partir de données environnementales et à condition qu'elles existent et soient disponibles, tendre vers une représentation de la notion d'exposome c'est-à-dire de l'ensemble des expositions environnementales suspectées d'avoir un lien avec la santé humaine auxquelles un individu est exposé au cours de sa vie.

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

Ineris, Construction et production d'un indicateur de qualité des environnements pour la santé des populations, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 204108 -2725893 - v1.023/02/2022.

Mots-clés:

Indicateur, environnement, PNSE 4, IQUALE

Préambule

De nombreux éléments méthodologiques repris dans ce document sont issus du rapport « 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 ». Ce dernier restitue les décisions prises par le groupe de travail¹ mis en place sous l'égide du GT3 « données, indicateurs » de préfiguration du PNSE4 et de ses pilotes, Marie-Laure METAYER (MTES/DGPR) et Valéry MORARD (MTES/SDES) (Ineris, 2020a).

Par ailleurs, l'ensemble des cartes présentées dans le présent rapport ne sont pas exploitables comme définies dans le cadre du PNSE4 mais sont issues de l'exercice méthodologique de construction de l'indicateur. Des ajustements et modifications de ces cartes en fonction des distributions observées ou de l'exploitation d'autres données d'entrée sont à prévoir.

¹ Les membres du groupe de travail et les co-rédacteurs du rapport étaient Julien CAUDEVILLE (Ineris), Antonio BISPO (INRAE), Madeline CARSIQUE (MTES/DGPR), Céline COUDERC-OBERT (CGDD/DRI), Laurent COUDERCY (AFB), Isabelle DEPORTES (ADEME), Lise FECHNER (MTES/DGPR), Sabine GUERIN (Ineris), Beatrice JEDOR (DGS), Laure MALHERBE (Ineris), Mathilde MERLO (DGS), Yannick PAVAGEAU (DGS), Stéphane RICAN (Université de Nanterre), Marine SABASTIA (SPF), Nicolas SABY (INRAE), Véronique SIROT (ANSES), Bertrand SCHWARTZ (MESRI/DGRI)

1 Introduction

1.1 Contexte de l'élaboration des indicateurs

Le Plan National Santé Environnement (PNSE) constitue un cadre de programmation de l'action gouvernementale à travers l'identification d'actions à engager visant à prendre en compte la santé environnementale dans les politiques publiques de façon pérenne. Les travaux de l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) et du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) ont soulevé le problème de l'absence d'indicateurs pour permettre l'évaluation du troisième PNSE. Ainsi, parallèlement à l'achèvement du PNSE 3, les travaux de préparation du PNSE 4 ont été initiés début 2018, avec, notamment, une mission confiée à l'Ineris, l'Agence Nationale Sécurité Sanitaire Alimentaire Nationale (ANSES) et Santé Publique France (SPF) par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et la Direction Générale de la Santé (DGS) concernant les données environnementales et de santé disponibles. Il s'agissait de recenser les bases de données existantes et les modalités d'exploitation pertinentes pour guider la démarche de choix et d'élaboration d'indicateurs d'impact et de suivi du PNSE 4 (Ineris, 2018).

Dans ce contexte, le MTE a demandé à l'Ineris de piloter un groupe de travail (GT) sur les indicateurs environnementaux et territoriaux. La feuille de route comprenait notamment un indicateur de la qualité des milieux de vie, via un ou des indicateurs « agrégés » sur la « charge toxique des milieux de vie » (« imprégnation environnementale » tenant compte des différentes matrices, de l'ensemble des sources) qui serait discuté sur le modèle des expériences existantes, en particulier en Californie et en France (Lorraine). Cet indicateur serait 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 socioenvironnementales). Ces indicateurs sont destinés à fournir des moyens pour suivre globalement l'état la contamination ou des perturbations de l'environnement à l'échelle locale, régionale et/ou nationale.

Le GT a proposé d'élaborer un indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE). Il s'agit d'un indicateur composite qui correspond à la combinaison mathématique de deux différentes dimensions (exposition et effet environnemental) du concept d'impact. Il intègre des indicateurs individuels (un seul paramètre) et des indicateurs agrégés (plusieurs paramètres résumés dans une variable).

Le Quatrième Plan National Santé-Environnement (PNSE4) « propose des indicateurs d'impacts globaux sur la qualité de l'environnement, sur la santé humaine et animale et plus largement, la santé des écosystèmes. En fonction des connaissances et des données disponibles, ces indicateurs pourront intégrer différentes dimensions afin de mesurer globalement les progrès réalisés en matière de qualité de l'environnement et d'état de santé des populations, et de suivre leurs évolutions. Ils permettront de rendre compte de l'impact des politiques de santé environnement en lien avec le PNSE 4 et, plus largement, des effets des autres plans sectoriels. Ces indicateurs, également fondés en partie sur les travaux du HCSP, pourront être calculés au début du plan et à la fin de sa mise en œuvre.

Plusieurs types d'indicateurs pourront être utilisés, en fonction de leur niveau de validation scientifique et des données disponibles pour les calculer, par exemple :

- un indicateur qui intègrera des données sur la qualité de l'environnement (eau, air, etc.) et sur les sources de contamination (industries, déchets, transport, etc.);
- un indicateur qui estimera, pour une pathologie donnée, la part attribuable à un ou des facteurs environnementaux.

En fonction des données disponibles, ces indicateurs seront déclinés au niveau territorial. » (Gouvernement Français, 2021)

Dans son rapport relatif aux indicateurs composites en santé-environnement de janvier 2021, le HCSP recommande le développement des indicateurs d'impacts environnementaux et sanitaires composites et rappelle que « ces indicateurs composites sont pertinents pour traduire des tendances (positives ou négatives) des impacts environnementaux et sanitaires, sans pour autant prétendre prédire de manière exacte les impacts des différents facteurs de risque dont ils sont composés, notamment en raison des dynamiques temporelles hétérogènes en jeu. ». En particulier, le HCSP souligne l'intérêt de l'approche intitulée « Cartographie de la QUALité des Environnements pour la population » (IQUALE) dont le présent rapport présente les premières cartographies (Haut Conseil de la Santé Publique, 2021).

Objectifs de l'indicateur de QUALité des Environnements pour la population (IQUALE)

Avant de préciser la nature des travaux réalisés par l'Ineris au paragraphe suivant, il est utile de rappeler les principes retenus par les membres du GT pour la construction de l'indicateur IQUALE:

- L'indicateur composite doit permettre :
 - de suivre, à différentes échelles spatiales et au cours du temps, les pressions sur l'environnement et la qualité des milieux,
 - de caractériser les zones dont les charges polluantes sont les plus élevées,
 - dans l'objectif :
 - d'identifier les priorités d'action territoriale pour protéger la santé des populations.
 - de diffuser l'information au citoyen aux différentes échelles géographiques et temporelles.
- L'indicateur n'est pas ciblé pour guider les décisions de gestion à une échelle administrative spécifique (locale, régionale ou nationale) mais doit permettre d'identifier des leviers de gestion pouvant dépendre de différentes compétences.
- L'indicateur composite repose sur la notion de charge polluante. Adaptée de la méthode californienne et adoptée par le GT, cette notion recouvre deux dimensions :
 - l' « exposition » des populations qui comprend l'ensemble des informations caractérisant une contamination et pouvant renseigner directement ou indirectement sur un niveau du continuum source-vecteur-cible du schéma conceptuel de l'exposition;
 - les « pressions environnementales » impliquent la dégradation de l'environnement ou de l'écosystème, les menaces pour l'environnement ou les populations, immédiates ou différées, la limitation de l'accès aux ressources, les sources de stress provoquées par un environnement dégradé ou par les activités polluantes.
- Le concept d'impact cumulatif est utilisé ici comme un outil pour organiser et analyser les informations scientifiques pertinentes afin d'examiner, caractériser et quantifier, autant que possible et dans un contexte d'incertitude fort, 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. Selon cette définition, un score de l'indicateur composite plus élevé correspond à une probabilité d'impact plus élevée.

A terme, deux niveaux d'information seraient disponibles, l'indicateur composite et les indicateurs individuels seraient déclinées au niveau local et également au niveau national pour suivre l'évolution dans le temps.

1.3 Travaux réalisés par l'Ineris en 2021

Le principe de la construction d'indicateurs environnementaux ayant été validé par le PNSE 4, l'Ineris a donc initié la construction des indicateurs en se basant intégralement sur la démarche proposée par le GT mentionné précédemment. Le parti a été pris de ne pas discuter les choix et les hypothèses formulés par le GT afin de vérifier dans un premier temps la faisabilité de la construction de ses indicateurs à partir des informations disponibles et dans un second temps d'évaluer la pertinence des informations produites par ces indicateurs lorsque la construction de ces derniers était possible. Plus précisément, lorsque la construction de ces indicateurs était possible, l'Ineris s'est attaché à en évaluer les limites et à proposer des évolutions susceptibles d'en améliorer l'opérationnalité telle que décrite dans le PNSE4.

Concernant la faisabilité, l'Ineris n'a pas été en mesure de construire l'ensemble des indicateurs identifiés par le GT notamment en raison de l'impossibilité d'accéder à certaines bases de données ou à des mises à jour suffisamment récentes pour être pertinentes. De fait, l'Ineris s'est focalisé sur un ensemble d'indicateurs pouvant être agrégés afin de procéder à l'élaboration d'un prototype permettant d'illustrer sa faisabilité mais aussi les limites actuelles pour aboutir à des indicateurs « opérationnels ».

L'Ineris s'est ainsi attaché à construire l'indicateur avec les données disponibles en appliquant la méthodologie établie par le groupe de travail en 2019 et restituée dans le rapport découlant des échanges et décisions de ce GT (Ineris, 2020a). Du fait de l'absence de nombreuses données, seul l'indicateur composite relatif aux indicateurs d'exposition a pu être partiellement construit à l'échelle

nationale. En effet, les données sur les EDCH n'étaient pas disponibles lors de la rédaction de ce rapport et celles concernant le bruit n'étaient exploitables que pour une zone restreinte de l'Île-de-France.

Après cette introduction, le présent rapport est organisé comme suit :

- Rappel de la méthodologie de construction de l'indicateur composite IQUALE au chapitre 2 établie par le GT dédié;
- Le chapitre 3 présente la définition et la construction des indicateurs individuels d'exposition. Pour chaque indicateur, les données utilisées pour le construire sont précisées avant de fournir une cartographie à l'échelle nationale. Enfin, une analyse de la carte produite est faite afin d'identifier les limites de ces cartes et de proposer des ajustements pour en améliorer la pertinence pour répondre aux besoins identifiés dans le cadre du PNSE 4;
- Enfin, le dernier chapitre présente une première tentative d'agrégation des indicateurs avec les données disponibles et présentées au chapitre 3. Là aussi, après avoir précisé les modalités d'élaboration des cartes, une analyse critique des informations produites sous forme de carte est conduite afin d'en préciser les limites et de proposer des pistes d'amélioration possibles.
- Le dernier chapitre constitue une synthèse des travaux réalisés en insistant sur les éléments déjà opérationnels mais aussi sur les évolutions qu'il faudrait envisager pour répondre aux besoins du PNSE4.

2 Méthode de construction de l'indicateur composite

Ce chapitre s'appuie sur des éléments disponibles dans le rapport produit par le GT (Ineris, 2022). L'objectif est de mettre à disposition du lecteur suffisamment d'éléments pour rendre ce document le plus autoportant possible.

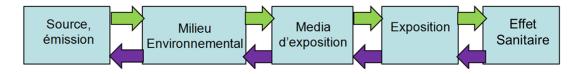
2.1 L'outil CalEnviroScreen

La démarche de construction de l'indicateur composite s'inspire de l'outil CalEnviroScreen, développé par l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) de l'agence californienne de protection de l'environnement, qui estime un indicateur de « charge de pollution » (pollution burden). 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 californienne 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. Par rapport aux bases de données états-uniennes, les bases de données françaises potentiellement disponibles ne disposent pas toutes de la résolution temporelle et d'une mise à jour suffisamment récente par rapport à des besoins de suivi annuel du PNSE4 (Ineris, 2020a).

2.2 Indicateur IQUALE

Deux familles représentatives des différents effets de la « charge polluante » sur les populations ont été retenues et rassemblent les variables en deux groupes : les indicateurs d'exposition et les indicateurs de « pressions environnementales ». La terminologie du groupe porte sur la finalité que l'indicateur cherche à refléter.

L'exposition est définie comme « *le contact entre un agent chimique, physique ou biologique et une cible* ». En effet, l'évaluation de l'exposition est le processus d'estimation ou de mesure de la magnitude, de la fréquence et de la durée de l'exposition prenant en compte les caractéristiques de la population exposée. Le processus d'évaluation de l'exposition implique donc l'utilisation de données sur les comportements et les caractéristiques des populations étudiées. L'ensemble des indicateurs individuels ou agrégés doit pouvoir renseigner directement ou indirectement un niveau du continuum sourcevecteur-cible du schéma conceptuel de l'exposition.



Par exemple, les quantités de substances toxiques rejetées par les sites polluants, comme les métaux lourds ou les composés organiques peuvent être utilisées comme indicateur d'exposition. D'autres indicateurs représentant des concentrations de contaminants dans les différents compartiments (air, eau, sol) ont été largement utilisés (Brainard et al., 2002; McLeod et al., 2000) dans différentes études. Le compartiment atmosphérique est celui qui est le plus souvent considéré notamment en épidémiologie environnementale (Jerrett et al., 2001; Morello-Frosch et al., 2001). La dispersion des polluants et l'estimation des dépôts peuvent être plus précisément modélisés en fonction des émissions, des mouvements atmosphériques et de la formation de polluants secondaires comme l'ozone (Chakraborty & Armstrong, 2013; Mitchell & Dorling, 2003). L'exposition de la population est prise en compte sur la base de mesures moyennées sur une période donnée ou de valeurs maximales lors de pics de pollution (sur la base du nombre ou de la proportion de jours au cours desquels la concentration atmosphérique d'une substance dépasse un certain seuil).

2.3 Principe et hypothèse de calcul de l'indicateur proposé (Ineris, 2020a)

Les bénéfices des politiques publiques de prévention peuvent être estimés à partir de la construction et de la comparaison d'indicateurs permettant d'évaluer l'évolution globale de l'exposition des populations ou de la qualité des milieux. Le travail de synthèse sur les indicateurs, mené par la Commission Européenne (Joint Research Center - JRC), propose de nombreuses définitions du terme « indicateur » qui se différencient selon les objectifs qui leur sont associés. Quatre catégories de définitions sont identifiées :

- des marqueurs (ou sentinelles) de la présence ou de l'absence de quelque chose (par exemple espèce indicatrice en écologie ou en chimie),
- des outils de mesure indiquant les variations de paramètres importants du phénomène suivi (par exemple l'évolution de la concentration ambiante d'une substance spécifique à une source d'émission),
- des outils d'aide à la décision, permettant la prise d'actions (exemple : l'atteinte d'un seuil d'alerte et d'action par la concentration d'une substance),
- des combinaisons des précédentes catégories (par exemple une valeur décrivant l'état de l'environnement et permettant la prise de décision). L'indicateur composite construit dans le cadre de ce travail appartient à cette dernière catégorie.

L'objectif recherché à travers la construction ou l'analyse d'indicateurs est la représentation simplifiée d'un ou plusieurs phénomène(s) sur une échelle relative à partir d'informations chiffrées conformément à un ou plusieurs critère(s) d'appréciation. Deux visions s'affrontent sur la pertinence d'agréger mathématiquement des variables de natures différentes pour construire des indices synthétiques. La première vision est favorable à la simplification d'ensemble de phénomènes complexes dans un objectif de représentation et dans un contexte d'incertitude, tandis que la deuxième s'y oppose, affirmant que le produit final n'a aucune signification statistique.

Les différentes étapes et méthodes de construction d'indicateurs composites sont décrites dans le rapport du JRC et ont été reprises dans le rapport rédigé pas le GT en 2020 (Ineris, 2020a) : le développement du cadre théorique, la sélection des variables, la construction des indicateurs individuels ou agrégés, la normalisation des données, le regroupement des variables, la pondération des indicateurs individuels ou agrégés et les études de sensibilité.

L'indicateur composite proposé correspond à la combinaison mathématique (ou « agrégation ») de différents indicateurs individuels ou agrégés. Ceux-ci représentent différentes dimensions du concept d'impact, ce qui permet l'identification des zones de cumul de charge polluante. L'indicateur composite permet d'attribuer des scores à chacune des entités géographiques définies. Les cartographies des zones de cumul permettent d'établir une hiérarchisation des zones et des populations potentiellement impactées.

La normalisation ou la catégorisation d'indicateurs correspond au moyen d'obtenir des métriques comparables palliant l'inexistence de relation dose-effet pour les différents facteurs de risque intégrés. Par exemple, le GT a favorisé une famille de méthodes permettant une meilleure prise en compte de l'intensité d'un impact par rapport à une deuxième famille de méthodes privilégiant l'identification des zones de cumul d'expositions aux différents facteurs de risque.

Des études de sensibilité ont permis d'estimer l'impact des méthodes de standardisation des distributions sur le score final (relation entre variance et contribution des indicateurs au score final, sélection d'une loi, ...) pour retenir les hypothèses de calcul et les processus de traitement de données.

Le mode de calcul de l'indicateur composite est modulable, il permet et prévoit la prise en compte des futures améliorations de la méthodologie et de pallier les problèmes de l'indisponibilité de données sur certains territoires (DROM et TOM notamment).

2.4 Choix et impact de la transformation des données

Il n'existe pas d'unité de mesure commune entre ces indicateurs individuels ou agrégés. Pour permettre leur agrégation dans un indicateur composite, l'ensemble des indicateurs individuels ou agrégés doivent être estimés selon une échelle mathématique (un intervalle entre 0 et 1 par exemple) commune. Ces transformations indispensables à l'agrégation des indicateurs individuels ou agrégés dans un indicateur composite impliquent de poser des hypothèses adaptées pour limiter les biais statistiques inévitables dans ce type d'approche.

A partir des analyses de sensibilité réalisées, le GT se positionne sur une normalisation des variables par la méthode min max conservant la forme de la distribution initiale de l'indicateur individuel et fournissant les paramètres de la fonction inverse pour permettre l'évolution temporelle des indicateurs :

$$\label{eq:indice} \text{Indice dimensionnel} = \frac{\text{valeur r\'eelle - valeur minimale}}{\text{valeur maximale - valeur minimale}}$$

Selon la forme de sa distribution statistique, un indicateur individuel ne jouera pas de la même manière dans l'indicateur composite : plutôt sur la tendance globale si la distribution est « normale » ou sur les extremums si la distribution est plus dispersée. A noter qu'il est possible d'introduire une fonction normalisatrice (comme un logarithme par exemple, ce qui aura tendance à recentrer les écarts trop dispersés sur les extremums) pour contrôler artificiellement la forme de la distribution des indicateurs individuels ou agrégés. Après réflexion sur chacun des couples « forme de distribution/indicateur individuel », le GT s'était prononcé pour ne pas considérer de terme normalisateur en première approche mais de vérifier les résultats au moment de la construction de l'indicateur composite avec des données réelles.

2.5 Méthodes de discrétisation des données

La représentation des données géographiques repose sur leur discrétisation. Cette opération permet de découper les données en classes et regroupe des objets présentant les mêmes caractéristiques afin d'améliorer la lisibilité en simplifiant l'information. Le choix de la discrétisation dépend de la distribution des données, des possibilités de représentation cartographiques et des objectifs de représentation fixés. Un grand nombre de méthode de discrétisation existent² (Zanin, 2006).

Dans ce rapport, le choix a été fait de discrétiser les données en 10 classes et selon deux méthodes distinctes en fonction des distributions et des objectifs de représentation³ :

- Intervalles égaux : cette méthode permet de créer des classes qui possèdent toutes la même étendue ;
- Quantiles: cette méthode permet de former des classes qui comprennent toutes le même nombre d'individus. Dans notre rapport, le nombre de classe étant de 10, les données sont réparties en percentiles, à l'instar de la représentation des données de l'outil CalEnviroScreen. Ainsi, sur les cartographies, la catégorie la plus élevée représente les 10% des mailles avec les valeurs les plus élevées.

La différence entre ces deux représentations est particulièrement prononcée pour l'indicateur lié aux émissions atmosphériques, une comparaison est donc présentée en détail au paragraphe 3.6.6.

Afin de comparer les différents indicateurs, une application de la même discrétisation a été proposée et est présentée au paragraphe 4.1.2.

Par ailleurs, au vu des distributions très différentes entre ces derniers, l'utilisation d'une méthode plutôt qu'une autre peut induire une interprétation différente des représentations graphiques à partir de données identiques.

² Exemple de discrétisation en fonction de la distribution des données sur le lien suivant : https://magrit.hypotheses.org/522. Consulté le 24/12/2021.

³ Définitions reprises de la page de l'outil Magrit du CNRS disponibles au lien suivant : http://magrit.cnrs.fr/docs/discretisation fr.html. Consulté le 24/12/2021.

3 Description et construction des indicateurs individuels d'exposition

Les descriptions complètes des bases de données utilisées pour tous les indicateurs individuels d'exposition sont détaillées dans le rapport du groupe de travail dédié à la construction de l'indicateur composite IQUALE (Ineris, 2020a).

Seuls les principaux éléments sont reportés ici afin de bien comprendre la nature des travaux réalisés par l'Ineris. Pour chaque indicateur, il est précisé :

- Le principe de construction de l'indicateur tel que mentionné dans le rapport du GT,
- La définition de l'indicateur proprement dit,
- Les bases de données utilisées par l'Ineris pour construire l'indicateur,
- La méthode pour construire et représenter l'indicateur,
- Le résultat obtenu en termes de cartographie (avec plusieurs représentations si besoin),
- Les limites de l'approche mise en œuvre par l'Ineris ainsi que celles du résultat obtenu.
- Les perspectives d'amélioration à envisager pour rendre la représentation plus pertinente.

3.1 Eau destinée à la consommation humaine (EDCH)

L'exposition aux substances chimiques peut dépendre dans une large mesure de l'ingestion d'eau, qui constitue un réceptacle potentiel important de la contamination anthropique. L'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) provient des eaux de surface ou des eaux souterraines. 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 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 D. 1321-104 du code de la santé publique. 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 avait fait l'objet d'une saisine du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) qui a publié son rapport du 14 novembre 2018⁴ sur son site (Ineris, 2020a).

3.1.1 Indicateur

La Direction Générale de la Santé a 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 avait fait l'objet d'une saisine du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) qui a publié son rapport du 14 novembre 2018 (HCSP, 2018) sur son site. L'indicateur prend en compte une trentaine de 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. 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 (Ineris, 2020a).

Cet indicateur global annuel de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) sera repris pour la construction du sous-indicateur EDCH.

3.1.2 Base de données utilisée

Classes (allant de A à D) de qualité calculée par les ARS sur la base des résultats disponibles dans la base de données SISE-EAUX (30 paramètres ou familles de paramètres).

⁴ https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=704

3.1.3 Méthodologie

La procédure de traitement consiste à agréger les scores estimés à partir des classifications associées à la qualité des EDCH (classe allant de A à D équivalent à un score de 0 à 3) sur la maille de référence par ratio surfacique.

En 2021, les ARS ayant été fortement mobilisées par la gestion de la crise Covid-19 depuis deux ans, le calcul de cet indicateur global de qualité n'a pas été effectué sur une grande partie du territoire. La mise en place d'un système de compilation de ces données au niveau national n'aboutira qu'en 2023⁵. Par conséquent, l'indicateur agrégé relatif aux expositions a été calculé par l'Ineris sans celui relatif aux EDCH.

Une prise de contact avec l'ARS Ile-de-France est prévue en 2022 pour obtenir les données et faire les premiers essais de construction de cet indicateur sur cette région.

.

⁵ Informations obtenues lors d'échange avec la DGS en juin 2021.

3.2 Bruit

3.2.1 Principe

Les conséquences sanitaires du bruit sont aujourd'hui démontrées. Au-delà des effets sur le système auditif constatés à des niveaux sonores élevés, plusieurs effets extra-auditifs ont ainsi été identifiés : en particulier les perturbations du sommeil, les troubles cardiovasculaires et la baisse des capacités d'apprentissage. Le bruit ambiant devient de plus en plus une préoccupation pour les citoyens de l'Union européenne (UE) et est désormais au centre de la législation européenne et nationale (Ineris, 2020a).

3.2.2 Indicateur

Au niveau européen, l'indice Lden (Day Evening Night Level) est recommandé pour l'élaboration de la carte de bruit dans l'environnement. Il correspond à un indicateur global de bruit pendant une journée complète et est utilisé pour l'élaboration des cartes stratégiques du bruit. Il traduit une notion de gêne ou de risque pour la santé et intègre les résultats d'exposition sur les 3 périodes : jour (6h-18h), soirée (18h-22h) et nuit (22h-6h) en les pondérant au prorata de leur durée et en incluant une pénalité de 5 dB(A) pour la soirée et 10 dB(A) pour la nuit. La cartographie des niveaux sonores en milieu extérieur est basée sur une modélisation de la propagation acoustique des sources de bruit. Le contenu d'une carte de bruit ne peut pas être comparé à des mesures de bruit réalisées in situ car il s'agit dans les cartes de bruit d'essayer de représenter un niveau de gêne moyen. Le Lden est utilisé sur l'ensemble des cartes de bruit disponibles en France (Ineris, 2020a).

3.2.3 Base de données utilisée

Les données recommandées dans le rapport « 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, 2020a) étaient l'ensemble des cartes de bruit des grandes agglomérations et des grandes infrastructures disponibles sur EIONET (European Environment Information and Observation Network).

Lors de l'import de ces données, plusieurs constats ont été faits :

- Pour chaque ville, les données disponibles couvrent les routes et rails sur la métropole et les DROM ainsi que celles autour des aéroports, rails, routes et/ou industries dans les agglomérations. Plusieurs couches SIG sont ainsi mises à disposition en fonction des sources du bruit (cf. Annexe 2). De nombreux traitements seraient nécessaires pour obtenir des cartes complètes en considérant la nature des calculs associés aux données du bruit;
- Les formats de données sont différents en fonction des agglomérations. Ainsi les données concernant les villes de Brest, Dijon, Bordeaux et Nice (en rose sur la Figure 1) sont sous forme linéaire, nécessitant un pré-traitement de ces données. Pour la plupart des agglomérations (en vert sur la Figure 1), les données étaient disponibles sous forme de polygone;
- Ces données ne couvrent qu'une portion faible du territoire français (inférieure à 4% pour la métropole) et même au sein des agglomérations, la couverture des cartes n'est pas complète (cf. Annexe 2).

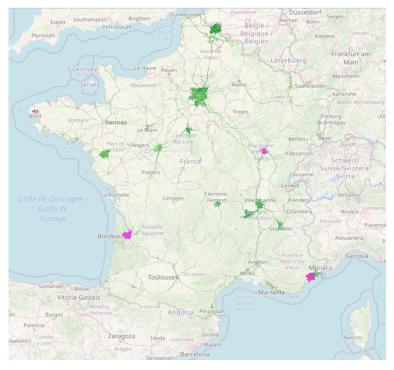






Figure 1 : Données d'entrée disponibles sur la plateforme EIONET au 01/10/2021 (en rose les données linéaires, en vert les données polygonales)

Le format et la couverture actuelle des données d'entrée n'a pas permis de faire une cartographie du bruit à l'échelle de l'ensemble du territoire français. La carte du bruit de l'échéance 3 (2017) mise à disposition de BruitParif⁶ a été utilisée (cf. Figure 2). Ce sont les données les plus complètes disponibles. D'une part, ces données possèdent une bonne couverture géographique sur un territoire donné (toute la surface possède une valeur de Lden) et d'autre part, elles cumulent les différentes sources de bruit (routes, voies ferrées, trafic aérien) sur une même couche.

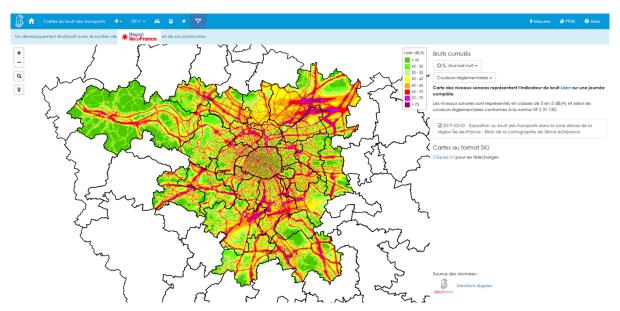


Figure 2 : Données d'entrée de 2017 disponibles sur BruitParif et téléchargeables aux format SIG

3.2.4 Méthodologie

La procédure de traitement consistant à agréger les indicateurs Lden sur la maille de référence par ratio surfacique est précisée en Figure 3.

Ainsi, un calcul de pondération par ratio surfacique est effectué sur les données mises à disposition par BruitParif. Les données d'entrée sont des polygones contenant les valeurs Lden en dB. Ces données sont transformées pour réaliser le calcul de pondération en tenant compte de la nature logarithmique des données de bruit. Une intersection est alors réalisée entre la maille de référence et la couche contenant les données. La valeur Lden est pondérée par l'aire de chaque polygone. La somme des aires pondérées contenue dans une maille est ensuite divisée par la surface des polygones contenus dans celle-ci. L'indicateur bruit est donc obtenu pour chaque maille puis standardisée sur une échelle allant de 0 à 1.

⁶ Lien de l'outils SIG de BruitParif avec téléchargement des données : https://carto.bruitparif.fr/. Consulté le 01/10/2021.

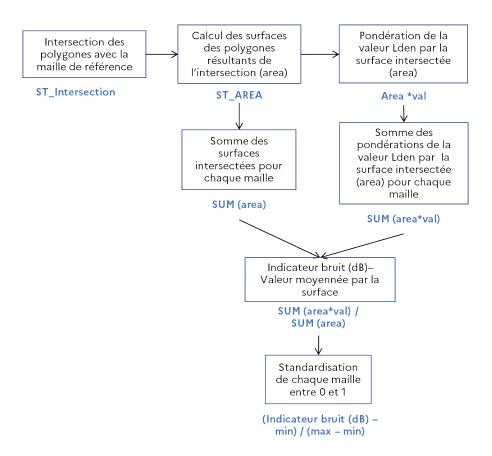


Figure 3 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié au bruit

3.2.5 Résultats

La Figure 4 présente la cartographie de l'indicateur lié au bruit avant et après normalisation entre 0 et 1 sur une grille de mailles carrées de 4 km de côté pour la zone francilienne disponible sur le site de BruitParif. Les données sont discrétisées par percentile.

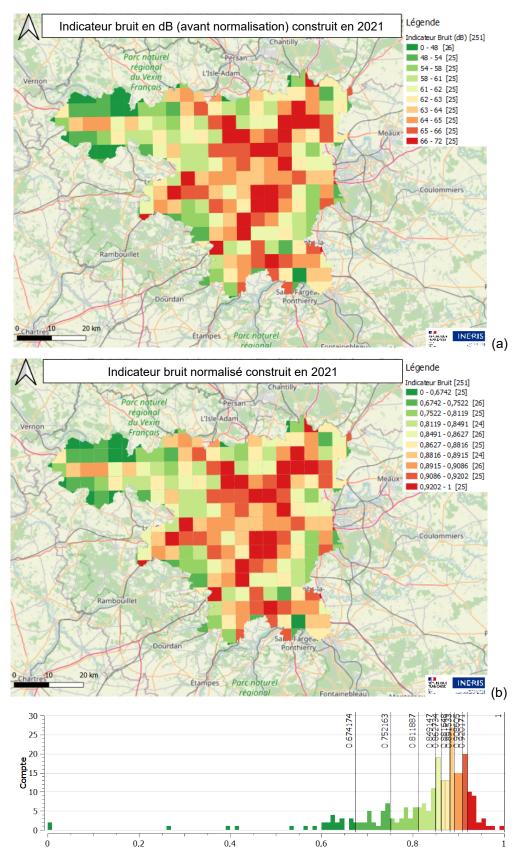


Figure 4 : Cartographie de l'indicateur bruit (dB) (a) et de l'indicateur normalisé (b) sur un maillage de 4x4 km² pour la zone francilienne disponible sur le site de BruitParif et de la distribution de l'indicateur associée

3.2.6 Limites

En 2021, les données actuellement disponibles sur le site européen EIONET ne représentent qu'une faible proportion du territoire français (uniquement certaines agglomérations, axes routiers et ferroviaires). En l'absence de données homogènes disponibles sur l'ensemble du territoire, l'Ineris n'est donc pas en mesure d'intégrer cet indicateur à l'indicateur composite. Par ailleurs, en raison de l'échelle logarithmique inhérente aux données de bruit l'évolution de l'impact sur les riverains n'est pas linéaire sur la gamme 0-1 et peut compliquer l'interprétation des effets du bruit dans l'indicateur composite. Cette carte, dans sa représentation, n'est pas une carte précise de l'exposition au bruit mais une représentation des valeurs Lden permettant de comparer les mailles les unes par rapport aux autres. Pour une visualisation précise de l'exposition au bruit, la consultation des cartes de bruit locales disponible sur un maillage très fin est recommandée. Les cartes de bruit sont mises à jour tous les 5 ans, limitant la possibilité d'observer une évolution de cet indicateur sur des pas de temps annuels.

3.2.7 Perspectives

Les actions à envisager afin d'obtenir un indicateur robuste et comparable dans le temps sont les suivantes :

- Robustesse et exploitation des données: les données fournies par BruitParif sont très complètes et facilement exploitables. A l'inverse, la majorité des données disponibles sur le reste du territoire sont lacunaires (notamment à distance des routes et agglomérations) et dans des formats hétérogènes difficilement exploitables. Une collaboration avec le CEREMA est envisagée pour obtenir des données pertinentes;
- Spatialisation des données: une homogénéisation des données à l'échelle nationale, idéalement sur le modèle des données de BruitParif, est nécessaire pour la construction de cet indicateur:
- Evolution temporelle des bases de données : les cartes de bruit sont produites tous les 5 ans, à des échéances fixes (2007, 2012, 2017, 2022, etc), limitant la possibilité d'observer une évolution de cet indicateur sur des pas de temps annuels.

3.3 Ozone

3.3.1 Principe

Les études de santé montrent que la pollution par l'ozone entraîne des effets néfastes (irritation respiratoire, augmentation des maladies pulmonaires). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande d'utiliser l'indicateur SOMO35 pour caractériser l'impact sanitaire de l'ozone sur les populations. Le SOMO35 représente la somme des concentrations journalières supérieures à 70 μg/m³ (= 35 ppb) sur un an. Pour chaque jour, le maximum de la moyenne glissante sur 8 heures est calculé et seules les valeurs supérieures à 70 μg/m³ sont sommées pour calculer le SOMO35. Il est notamment utilisé pour le plan national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (PNSQA : arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques). L'estimation du SOMO35 sur la France est réalisée à partir des cartes horaires ré-analysées d'ozone élaborées par l'Ineris. Ces dernières résultent d'une combinaison, selon une méthode géostatistique, entre les observations horaires d'ozone issues de la base nationale de qualité de l'air GEOD'AIR (base alimentée par les données de surveillance des AASQA) et les simulations du modèle de chimie-transport CHIMERE développé et mis en œuvre par l'Ineris (Malherbe & Ung, 2009). La résolution spatiale à l'échelle de la France métropolitaine est d'environ 4 x 4 km² (Ineris, 2020a).

3.3.2 Indicateur

SOMO35 (somme des maxima journaliers au-dessus de 35 ppb) sur les années N-2, N-3 et N-4 par rapport à l'année de construction de l'indicateur. Ainsi pour l'indicateur 2021, les SOMO35 correspondent à la moyenne arithmétique des données des années 2017, 2018 et 2019.

3.3.3 Base de données utilisée

Les données SOMO35 de la cartothèque de la qualité de l'air développée par l'Ineris sont accessibles en ligne⁷. L'interface de téléchargement publique (<u>www.ineris.fr</u>) est présentée en Figure 5.

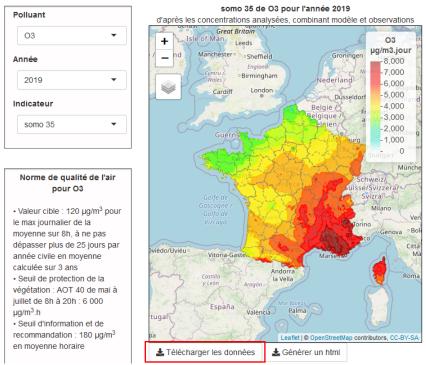


Figure 5 : Plateforme de téléchargement des données SOMO35

⁷ Page « 20 ans d'évolution de la qualité de l'air cartographiés par l'Ineris » disponible via le lien suivant : https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/mesure-prevision-qualite-air/20-ans-evolution-qualite-air. Consulté le 15/11/2021.

Les données sont téléchargeables au format « binaire ». Les dimensions des pixels sont de 3,4x5 km². La bande unique contient les valeurs de SOMO35 en µg/m³.jour.

3.3.4 Méthodologie

La procédure de traitement des données consiste à agréger sur trois ans les concentrations moyennes annuelles du SOMO35 sur la maille de référence par ratio surfacique (moyenne des valeurs des entités intersectées pondérées par le rapport des surfaces d'intersection et de la maille d'agrégation).

Ainsi, chaque raster⁸ contenant les données d'entrée est polygonisé pour la réalisation du calcul de pondération par ratio surfacique. Les polygones issus des pixels contiennent une valeur en µg/m³.jour. Une fois les couches « maille de référence 4x4 km² » et « raster polygonisé » intersectées, l'aire des polygones résultants est calculée. La somme des surface pondérées par la concentration est divisée par la surface des polygones contenus dans la maille. Une valeur de concentration est ainsi obtenue pour chaque maille puis moyennée sur trois ans et standardisée sur une échelle allant de 0 à 1. La méthodologie est schématisée en Figure 6.

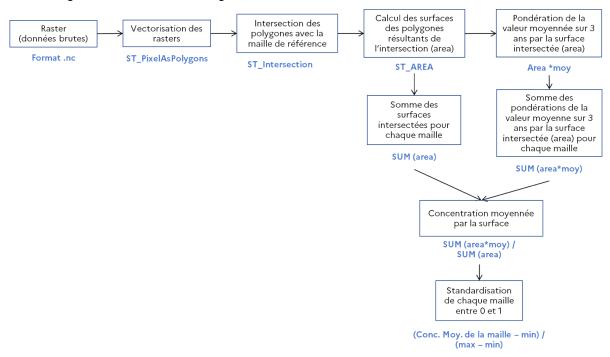


Figure 6 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié à l'ozone

3.3.5 Résultats

La Figure 7 présente la moyenne annuelle sur trois ans des SOMO35 en µg/m³.jour estimée par PREV'AIR sur une grille de maille carré de 4 km de côté ainsi que l'indicateur ozone correspondant compris entre 0 et 1. Les données sont discrétisées par percentile.

⁸ Raster ou image matricielle : ensemble de pixels

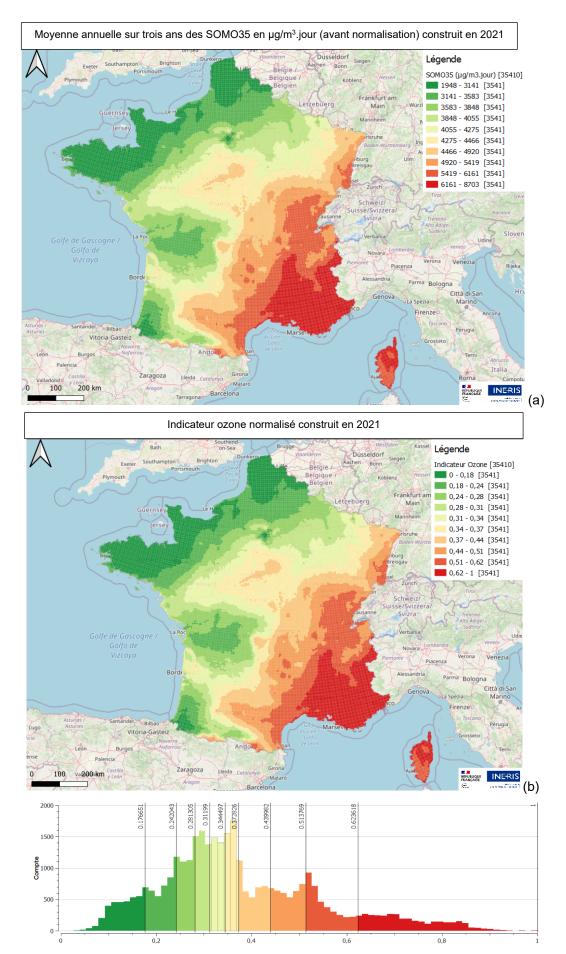


Figure 7 : Cartographie de la moyenne annuelle sur trois ans des SOMO35 en μg/m³.jour estimée par PREV'AIR (a) sur la maille 4x4 km² et de l'indicateur correspondant (b) ainsi que sa distribution

3.3.6 Limites

L'ozone est un polluant secondaire (issu de transformations chimiques) caractérisé par son comportement de grande échelle. Il se forme et se transporte à des échelles caractéristiques de l'ordre de la dizaine de kilomètres. Ainsi la prise en compte localisée des sources ne constitue pas une limite importante. La principale limite de l'approche peut être associée à la qualité et la fiabilité des simulations Chimere. Les évaluations du modèle conduites par l'Ineris, notamment dans le cadre de ses travaux sur la plate-forme nationale de prévision et de cartographie de la qualité de l'air PREv'air (www.prevair.org) montrent que ses performances sont compatibles avec l'état de l'art. L'assimilation des données d'observation conduit à les améliorer de manière significative et à disposer de la meilleure approximation possible pour les champs de concentrations d'ozone en France métropolitaine.

Concernant les DROM, ces territoires ne sont pas couverts dans la cartothèque Ineris. Une étude est en cours à l'Ineris pour estimer la faisabilité de ces cartographies et le cas échéant leur temporalité.

3.3.7 Perspectives

Les actions à envisager afin d'obtenir un indicateur robuste et comparable dans le temps sont les suivantes :

- Robustesse et exploitation des données : la mise à jour des données doit être faite en relation avec l'amélioration continue du modèle et des méthodes d'assimilation de données ;
- Spatialisation des données: les données sont disponibles uniquement pour le territoire métropolitain. La production de cartes pour les DROM est nécessaire pour produire cet indicateur sur ces territoires;
- Evolution temporelle des bases de données : les données sont mises en lignes annuellement depuis l'an 2000 en adéquation avec la procédure envisagée.

3.4 PM2.5

3.4.1 Principe

L'exposition aux particules fines (PM_{2.5}, particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm) peut provoquer diverses pathologies chroniques (cancers, pathologies cardiovasculaires et respiratoires, maladies neurodégénératives) après plusieurs années d'exposition, même à de faibles niveaux de concentration, et perturber le développement du fœtus pendant la grossesse. Par exemple, une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2.5} est associée à une augmentation de 8% de risque de décès pour le cancer du poumon. Santé Publique France (SPF) estime que la pollution par les particules fines est à l'origine chaque année, en France continentale, d'environ 50 000 décès prématurés par an. L'estimation de la concentration moyenne annuelle de PM_{2,5} sur la France est réalisée à partir des cartes horaires réanalysées de PM_{2,5} proposées par l'Ineris Ces dernières résultent d'une combinaison, selon une méthode géostatistique, entre les observations horaires de PM_{2,5} et de PM₁₀ issues de la base nationale de qualité de l'air GEOD'AIR (base alimentée par les données de surveillance des AASQA) et les simulations du modèle de chimie-transport CHIMERE développé et mis en œuvre par l'Ineris (Beauchamp et al., 2016) (Ineris, 2020a).

En septembre 2021, les recommandations de l'OMS concernant la qualité de l'air ambiant fixaient une valeur recommandée en particules fines ($PM_{2,5}$) de 5 μ g/m³ pour la valeur moyenne annuelle et de 15 μ g/m³ pour une valeur moyenne sur 24 heures9.

3.4.2 Indicateur

Concentration annuelle moyenne des $PM_{2,5}$ (µg/m³) sur les années N-2, N-3 et N-4 par rapport à l'année de construction de l'indicateur. Ainsi pour l'indicateur 2021, les concentrations annuelles moyennes des $PM_{2,5}$ correspondent à la moyenne arithmétique des données pour les années 2019, 2018 et 2017.

3.4.3 Base de données utilisée

Les données de moyenne annuelle en PM_{2,5} de la cartothèque sont mises en ligne¹⁰ par l'Ineris, l'interface de téléchargement est présentée en Figure 8.

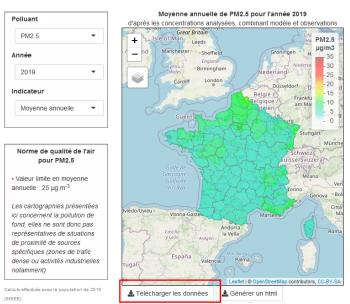


Figure 8 : Plateforme de téléchargement des moyennes annuelles en PM_{2,5}

Ineris - 204108 - 2725893 - v1.0

⁹ Page « Pollution de l'air ambiant (extérieur) » de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health. Consulté le 15/11/2021.

¹⁰ Page « 20 ans d'évolution de la qualité de l'air cartographiés par l'Ineris » disponible via le lien suivant : https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/mesure-prevision-qualite-air/20-ans-evolution-qualite-air. Consulté le 15/11/2021.

Les données sont téléchargeables au format binaire. Les dimensions des pixels sont de 3,4x5 km². La bande unique contient les valeurs de concentration moyenne annuelle en µg/m³.

3.4.4 Méthodologie

La procédure de traitement de données consiste à agréger les concentrations moyennes annuelles sur trois ans en PM_{2,5} sur la maille de référence par ratio surfacique (moyenne des valeurs des entités intersectées pondérées par le rapport des surfaces d'intersection et de la maille d'agrégation). Cette méthodologie est illustrée en Figure 9.

Chaque raster contenant les données d'entrée est polygonisé pour la réalisation du calcul de pondération par ratio surfacique. Les polygones issus des pixels contiennent une valeur en µg/m³. Une fois les couches « maille de référence 4x4 km² » et « raster polygonisé » intersectées, l'aire des polygones résultant est calculée. La somme des surface pondérées par la concentration est divisée par la surface des polygones contenus dans la maille. Une valeur de concentration est ainsi obtenue pour chaque maille puis moyennée sur trois ans et standardisée sur une échelle allant de 0 à 1.

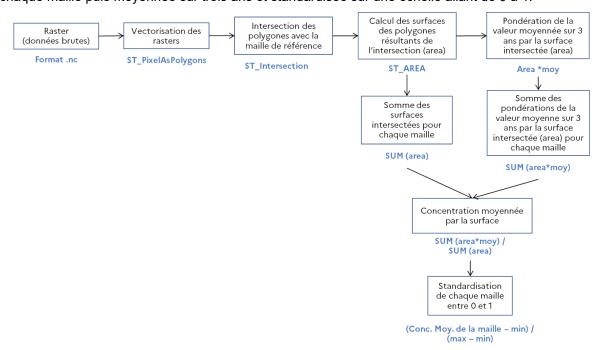


Figure 9 : Méthodologie de traitement de l'indicateur lié aux PM_{2.5}

3.4.5 Résultats

La Figure 10 présente les concentrations annuelles moyennes sur 3 ans estimées par PREV'AIR sur une grille de maille carré de 4 km de côté ainsi que l'indicateur PM_{2,5} correspondant compris entre 0 et 1. Les données sont discrétisées par percentile.

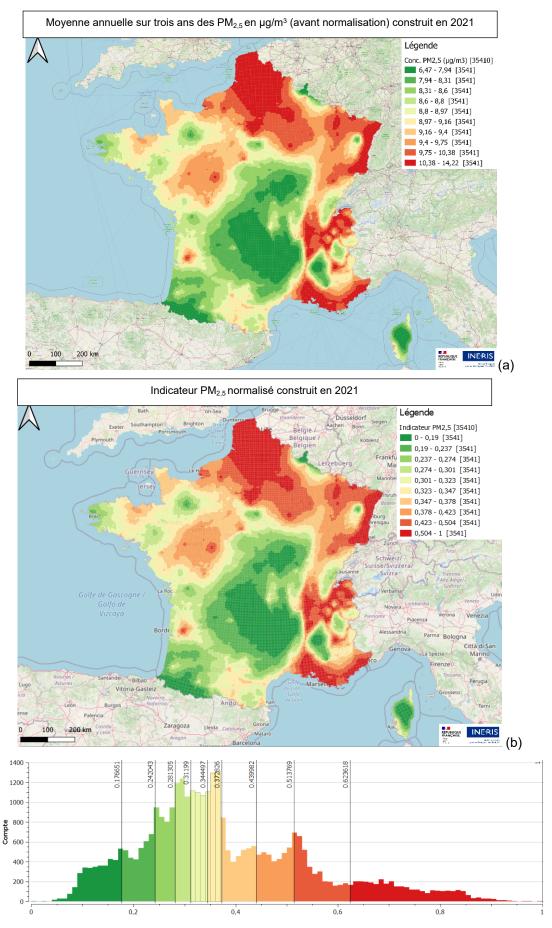


Figure 10 : Cartographie de la moyenne annuelle sur trois ans des $PM_{2,5}$ en $\mu g/m^3$ estimée par PREV'AIR (a) sur la maille 4x4 km² et de l'indicateur correspondant (b) ainsi que sa distribution

3.4.6 Limites

Sur la page de téléchargement des données de la cartothèque Ineris, il est bien précisé que « Les cartographies présentées ici concernent la pollution de fond, elles ne sont donc pas représentatives de situations de proximité de sources spécifiques (zones de trafic dense ou activités industrielles notamment). » Les niveaux de particules fines varient rapidement en fonction des sources et de la distance à la source. Ainsi la résolution spatiale de 4 km avec laquelle sont générée les re-analyses de particules présentées sur la cartothèque de l'Ineris peut être insuffisante pour capter certains phénomènes et niveaux de pollution à proximité immédiate des sources. Ce point peut être considéré comme une source d'incertitude importante à proximité des sources.

Concernant les DROM, ces territoires ne sont pas couverts dans la cartothèque Ineris. Une étude de faisabilité est en cours à l'Ineris pour estimer si et quand ces cartographies pourront être réalisées.

3.4.7 Perspectives

Les actions à envisager afin d'obtenir un indicateur robuste et comparable dans le temps sont les suivantes :

- Robustesse et exploitation des données : amélioration de la qualité des inventaires d'émissions qui permettent de simuler les niveaux de particules et de la résolution du modèle CHIMERE (même si l'assimilation des données d'observation contribue à en améliorer les performances);
- Spatialisation des données: les données sont disponibles uniquement pour le territoire métropolitain. La production de cartes pour les DROM est nécessaire pour produire cet indicateur sur ces territoires;
- Evolution temporelle des bases de données : les données sont mises en lignes annuellement depuis 2009 et donc en adéquation avec la procédure envisagée.

3.5 Potentiel Radon

3.5.1 Principe

Le radon est un gaz radioactif naturel, issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre en plus ou moins grande quantité. Une partie du radon émis par les roches dans lesquelles il est formé, peut être transféré vers l'atmosphère et dans les environnements intérieurs au sein desquels il peut s'accumuler. Une évaluation quantitative de l'impact sanitaire de l'exposition domestique au radon en France, publiée en 2018 par l'IRSN et Santé Publique France, permet de conclure que le radon pourrait jouer un rôle dans la survenue de certains décès dans une proportion qui serait d'environ 10% des cancers du poumon. Chaque année, 3 000 décès lui seraient ainsi attribuables et le radon serait la deuxième cause de mortalité par cancer du poumon après le tabac¹¹. Ces estimations tiennent compte de la variabilité des expositions au radon sur l'ensemble du territoire, de l'interaction entre l'exposition au radon et la consommation tabagique ainsi que des incertitudes inhérentes à ces types de calculs (Ineris, 2020a).

La connaissance des caractéristiques des formations géologiques sur le territoire rend ainsi possible l'établissement d'une cartographie des zones de présence possible de radon dans les bâtiments. Ce travail a été réalisé par l'IRSN à la demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et a permis d'établir une cartographie du potentiel radon des formations géologiques du territoire métropolitain et de l'Outre-Mer. La méthode consiste à évaluer le potentiel de production du radon des formations géologiques, c'est-à-dire à classer celles-ci selon leur teneur mesurée ou extrapolée en uranium. La seconde étape consiste à pondérer ce potentiel en tenant compte, lorsqu'ils sont identifiés, de cofacteurs pouvant faciliter le transport du radon dans les roches et les sols (failles, ouvrages miniers souterrains, sites de sources hydrothermales). Enfin, la troisième étape établit une classification finale de l'ensemble de ces paramètres pour aboutir à une carte du « potentiel radon » des formations géologiques (Ineris, 2020a).

3.5.2 Indicateur

Trois catégories (cf. Tableau 1) sont estimées par l'IRSN au niveau de la commune à partir de la classification finale de l'ensemble des paramètres de la carte du « potentiel radon » des formations géologiques.

Tableau 1 : Catégories associées aux classifications des communes du potentiel radon des formations géologiques établies par l'IRSN

| Catégorie 1 | Localisée sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles. Sur ces formations, une grande majorité de bâtiments présente des concentrations en radon faibles. Les résultats de la campagne nationale de mesure en France métropolitaine montrent ainsi que seulement 20% des bâtiments dépassent 100 Bq.m ⁻³ et moins de 2% dépassent 300 Bq.m ⁻³ | | | |
|-------------|--|--|--|--|
| Catégorie 2 | Localisée sur des formations géologiques présentant des teneurs en uranium fail mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfer radon vers les bâtiments | | | |
| Catégorie 3 | Localisée sur des formations géologiques dont les teneurs en uranium sont estimées plus élevées comparativement aux autres formations. Sur ces formations plus riches en uranium, la proportion des bâtiments présentant des concentrations en radon élevées est plus importante que sur le reste du territoire. Les résultats de la campagne nationale de mesure en France métropolitaine montrent ainsi que plus de 40% des bâtiments situés sur ces terrains dépassent 100 Bq.m ⁻³ et plus de 10% dépassent 300 Bq.m ⁻³ . | | | |

radon.aspx

Ajrouche R, Roudier C, Cléro E, lelsch G, Gay D, Guillevic J, Marant Micallef C, Vacquier B, LeTertre A,
 Laurier; D. Quantitative Health Impact of indoor radon in France; Radiat Environ Biophys.; 2018 May 8.
 https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/Le-

3.5.3 Base de données utilisée

Cartographie du potentiel radon des formations géologiques mise en ligne par l'IRSN (cf. Figure 11) et téléchargeable sur data.gouv.fr¹³.

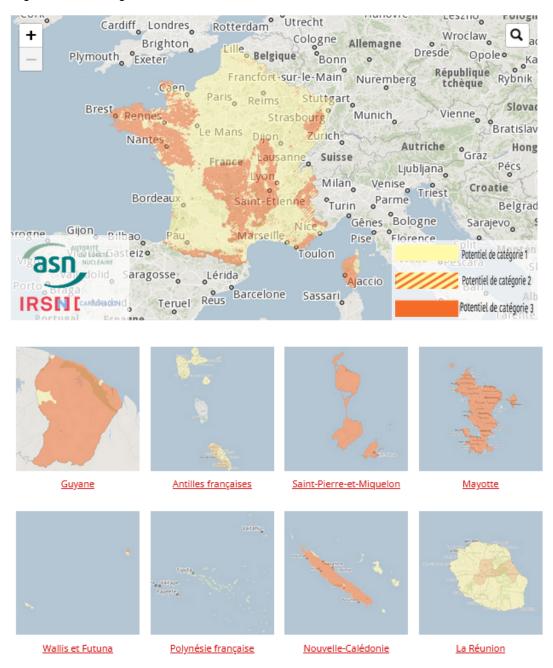


Figure 11: Cartographie du potentiel radon mise en ligne par l'IRSN14

¹³ Page « Connaitre le radon de ma commune » https://www.data.gouv.fr/en/datasets/connaitre-le-potentiel-radon-de-ma-commune/. Consulté le 19/11/2021.

Page de l'IRSN « Pourquoi une cartographie du potentiel radon ? » https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/5-cartographie-potentiel-radon-commune.aspx#carto. Consulté le 10/12/2021.

3.5.4 Méthodologie

La procédure de traitement consiste à agréger sur la maille de référence par ratio surfacique les catégories de la carte du « potentiel radon » des formations géologiques. La méthodologie est schématisée en Figure 12.

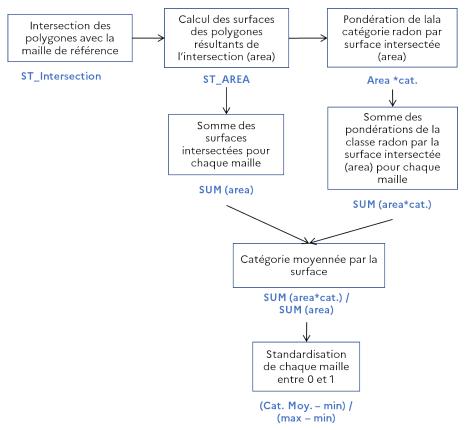


Figure 12 : Méthodologie de construction de l'indicateur lié au potentiel radon

3.5.5 Résultats

La cartographie du potentiel radon (a) et l'indicateur radon (b) sur une grille de maille carré de 4 km de côté ainsi que la distribution des données sont détaillées en Figure 13. Au vu de la distribution des données, une répartition en percentile n'a pas été retenue et un découpage en intervalles égaux par rapport aux valeurs des mailles a été préféré.

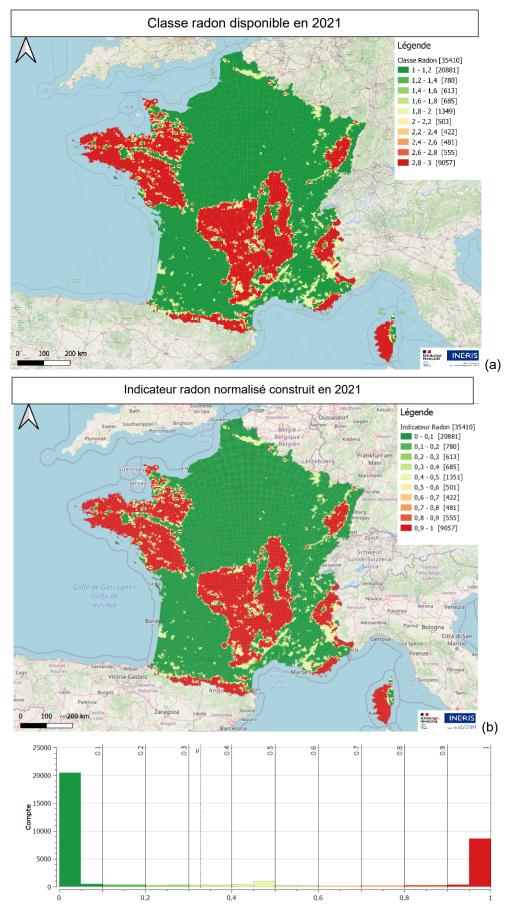


Figure 13 : Cartographie des catégories du potentiel radon moyennées par la surface (a), cartographie de l'indicateur radon sur un maillage 4x4 km² (b) et distribution des valeurs pour la métropole

3.5.6 Limites

Comme précisé sur le site de l'IRSN¹⁵: « Le potentiel radon fournit un niveau de risque relatif à l'échelle d'une commune, il ne présage en rien des concentrations présentes dans les habitations, celles-ci dépendant de multiples autres facteurs (étanchéité de l'interface entre le bâtiment et le sol, taux de renouvellement de l'air intérieur...). »

L'existence de seulement trois catégories dans les données d'entrée induit une distribution bimodale des valeurs autour des valeurs minimum et maximum, une fois les données standardisées entre 0 et 1. Cette distribution est différente de celles des autres grandeurs qui ont le plus souvent une distribution dissymétrique. Lors de l'agrégation de cet indicateur avec les autres, cela aura pour effet de donner un poids plus fort aux valeurs extrêmes au détriment des valeurs médianes.

Par ailleurs, ces données, telles qu'elles sont calculées à ce jour, sont stables dans le temps et il semble difficile de limiter l'impact de la distribution bimodale de cet indicateur. Au vu de la nature des données d'entrée et de leur distribution, la question se pose de la pertinence d'un tel indicateur.

3.5.7 Perspectives

Les actions à envisager afin d'obtenir un indicateur robuste et comparable dans le temps sont les suivantes :

- Robustesse et exploitation des données: un plus grand nombre de catégories du potentiel
 radon permettrait de limiter l'aspect bimodale de la distribution actuelle et de hiérarchiser de
 manière plus fine les territoires les uns par rapport aux autres. Une prise en compte des
 concentrations mesurées dans les logements et des mesures de gestion mises en place
 (présence de vide sanitaire, ventilation) dans les catégories permettrait de mieux appréhender
 l'évolution dans le temps de cet indicateur et l'impact des actions gouvernementales;
- Spatialisation des données : la couverture spatiale des données de potentiel radon englobe le territoire métropolitain et les DROM à l'exception de certaines îles au large des côtes françaises (îles Chausey, île de Cézembre, île Saint-Gildas, île du Milieu, etc.) ;
- Evolution temporelle des bases de données : au vu de la nature des catégories de potentiel radon, les variations attendues dans le temps sont faibles sauf à considérer la proposition d'évolution faite pour l'exploitation des données.

Page de l'IRSN « Pourquoi une cartographie du potentiel radon ? » https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/5-cartographie-potentiel-radon-commune.aspx#carto. Consulté le 10/12/2021.

3.6 Emissions atmosphériques

3.6.1 Principe

La pollution de l'air a des effets significatifs sur la santé et l'environnement. Les phénomènes naturels (éruptions volcaniques, incendies de forêts...) et surtout les activités humaines (industrie, transports, agriculture, chauffage résidentiel...) sont à l'origine d'émissions de polluants, sous forme de gaz ou de particules, dans l'atmosphère. Une fois émises dans l'air, ces substances sont transportées sous l'effet du vent, de la pluie, et des gradients de températures dans l'atmosphère et cela parfois jusqu'à des milliers de kilomètres de la source d'émission. Elles peuvent également subir des transformations par réactions chimiques sous l'effet de certaines conditions météorologiques (chaleur, lumière, humidité...) et par réactions dans l'air entre ces substances. Il en résulte l'apparition d'autres polluants (ozone, particules secondaires). La création de l'Inventaire National Spatialisé (INS) des émissions atmosphériques polluantes en France dont la gestion et la maintenance sont confiées à l'Ineris, faisait partie du Plan Air de Novembre 2003. L'objectif de l'INS est le recensement des émissions atmosphériques d'une cinquantaine de composés (Eléments Traces Métalliques, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, ...) avec une résolution spatio-temporelle fine kilométrique pour tous les secteurs d'activités anthropiques et biotiques (Ineris, 2020a).

3.6.2 Indicateur

Score correspondant à la somme des quantités de polluants émis dans l'atmosphère pour l'année 2007 pondérées par un coefficient relatif à la toxicité des substances établies par l'US EPA (Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis).

3.6.3 Bases de données utilisées

➤ Les poids toxiques (ITW:Inhalation Toxicity Weight) issus du document « Risk-Screening Environmental Indicators (RSEI) » de l'US EPA, version 2.3.9 du fichier excel mis à disposition sur le site de l'US EPA¹6. Ce document contient des valeurs pour 643 substances ou groupes de substances.

Tableau 2 : Poids toxique du système RSEI (Risk-Screening Environmental Indicators) de l'US EPA associés aux substances disponibles dans l'INS pour l'année 2012

| N°CAS | Nom des substances ou famille de substances | ITW (Inhalation Toxicity Weight) Base RSEI de l'US EPA |
|-----------|---|--|
| N150* | polychlorodibenzo-p-dioxines | 1,4E+09 |
| 7440-47-3 | Chrome** | 4,3E+07 |
| 7440-38-2 | Arsenic | 1,5E+07 |
| 7440-43-9 | Cadmium | 6,4E+06 |
| 7440-02-0 | Nickel | 9,3E+05 |
| N590* | HAP*** | 3,9E+05 |
| 7439-92-1 | Plomb | 2,3E+04 |
| 7439-97-6 | Mercure (élémentaire pour la voie d'inhalation) | 1,2E+04 |
| 7440-50-8 | Cuivre | 1,5E+03 |
| 7782-49-2 | Sélénium | 1,8E+02 |
| 7440-66-6 | Zinc | 1,0E+02 |
| 7664-41-7 | Ammoniac | 7,0E+00 |
| N511* | Oxydes d'azote (NOx = NO + NO ₂) | 6,3E-01 |

^{*}Pas de numéro CAS pour ces familles de substances, ce code provient de la base de données de l'US EPA
**Le document précise que les informations toxicologiques sont associées au chrome VI et que le chrome III n'est
pas modélisé.

_

^{***}Pour la famille des HAP : 18% de la toxicité est considéré comme étant celle du benzo(a)pyrène.

¹⁶ Page « RSEI – Toxicity-Data and Calculations" https://www.epa.gov/rsei/rsei-toxicity-data-and-calculations#sources. Consulté le 19/11/2021.

- L'Inventaire National Spatialisé¹⁷ (INS) est la base de données d'émission atmosphérique. L'INS concerne les émissions d'une quarantaine de polluants (pour la version publique) émis par toutes les sources recensées (activités anthropiques ou émissions naturelles). Les sources anthropiques incluent les secteurs d'activité suivants (détails disponibles sur le site de l'INS) :
 - Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie ;
 - Combustion hors industrie (commercial, résidentiel, agriculture, etc);
 - Combustion dans l'industrie manufacturière ;
 - Procédés de production dans l'industrie (pétrolière, sidérurgie, chimie inorganique et organique;
 - Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique ;
 - Utilisation de solvants et autres produits ;
 - Transport routier;
 - Autres sources mobiles et machines (navigation ferroviaire, fluviale, trafic aérien, engins agricoles, etc);
 - Traitement et élimination des déchets ;
 - Agriculture et sylviculture ;
 - Autres sources et puits (forêts naturelles, feux de forêt, zones humides, volcans, eaux, animaux, etc).

Le recensement complet des émissions de polluants atmosphériques est fondé sur des méthodologies qui privilégient l'utilisation de données spécifiques aux sources individuelles. Pour l'année 2007, les émissions ont été établies à partir de données statistiques locales d'activités. Les données d'émissions sont évaluées par la mesure sinon elles sont obtenues en croisant les données d'activités par des facteurs d'émission propres à chaque secteur d'activités. Les facteurs d'émission sont le plus souvent établis à partir de données mesurées et d'estimation d'experts.

Les données d'entrée de l'INS 2007 ont été extraites à une résolution kilométrique (maille de 1x1 km²) pour ce projet. Cependant, pour les données de l'INS 2012, les données ne sont disponibles qu'à la maille communale et avec un nombre restreint de substances.

Tableau 3 : Caractéristiques des données Ineris disponibles concernant l'Inventaire National Spatialisé (INS)

| | 2007 | 2012 |
|---|--------------------------|-----------|
| Résolution spatiale disponible | 1x1 km²* ou communale | Communale |
| Substances avec une valeur disponible dans la base RSEI | 78 | 13 |
| Données disponibles pour les DROM | Oui | Non |

^{*}Résolution spatiale spécifique pour ce projet non téléchargeable sur le site public de l'INS

Les substances dont les données sont disponibles pour 2007 et 2012 ont été sélectionnées. Par conséquent, les substances prises en compte dans l'indicateur lié aux émissions atmosphériques sont : ammoniac (NH₃), oxydes d'azote (NOx :NO +NO₂), arsenic (As), cadmium (Cd), chrome VI (Cr VI), mercure (Hg), plomb (Pb), cuivre (Cu), nickel (Ni), sélénium (Se), zinc (Zn), dioxinesfuranes (PCDD/F, exprimés en ITEQ) et la somme de 8 HAP (Fluoranthène, benzo(a)anthracène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, Indénopyrène, dibenzo(ah)anthracène).

Le site public de l'INS permet de télécharger les données communales pour les années 2004, 2007 et 2012.

-

¹⁷ Site de l'INS: http://emissions-air.developpement-durable.gouv.fr/. Consulté le 16/11/2021.

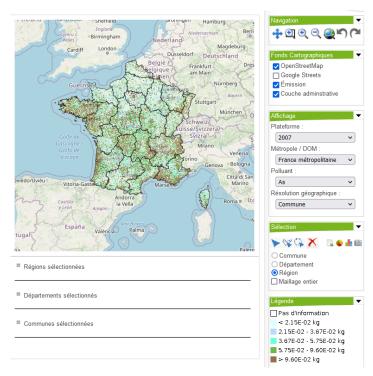


Figure 14 : Page d'accès aux données communales et d'export de l'INS (exemple pour l'arsenic pour l'année 2007)

3.6.4 Méthodologie

Le cumul des émissions est estimé sur la base d'un score correspondant à la somme des quantités annuelles de polluants émis annuellement pondérées par un coefficient relatif à la toxicité des substances (Tableau 2). Le croisement entre les données d'émission disponibles sur l'INS pour 2007 et 2012 et les poids toxiques du système RSEI a été possible pour 13 substances.

Afin d'obtenir les données les plus précises possibles, les données de l'INS kilométrique de 2007 pour la métropole ont été utilisées. La Figure 15 présente la méthodologie de construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques. La construction des cartographies à partir des données communales pour l'année 2007 ainsi qu'une comparaison avec les traitements réalisés à partir des données de maille kilométrique sont prévues en 2022. Les données ont in fine été recalculées sur un maille 4x4 km² afin de les rendre homogènes avec les autres indicateurs individuels.

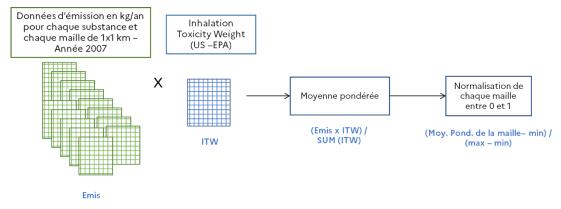


Figure 15 : Méthodologie de construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques

3.6.5 Résultats

La Figure 16 illustre la moyenne pondérée des données d'émission annuelles par les poids toxiques des 13 substances retenues. Les données sont discrétisées par percentile.

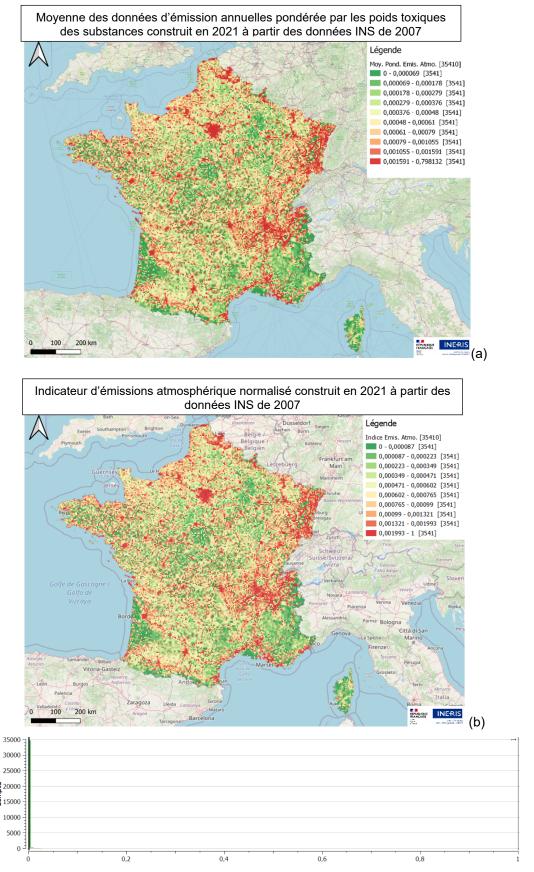


Figure 16 : Cartographie de la moyenne des données d'émission annuelles pondérée par les poids toxiques des substances (a), cartographie de l'indicateur d'émissions atmosphériques (b) sur un maillage 4x4 km² (b) et la distribution associée

3.6.6 Limites

Pour l'indicateur lié aux émissions atmosphériques, les valeurs standardisées étant pour la grande majorité (99,9%) comprises entre 0 et 0,1 (cf. Figure 16), l'impact de cet indicateur sur l'indicateur composite sera uniforme pour l'ensemble du territoire sauf pour les quelques mailles avec des valeurs élevées. A la vue de la distribution des données, une transformation des données semble nécessaire. Des travaux sur ce sujet sont prévus en 2022.

Les boites à moustache en Figure 17 illustrent les données d'émission en kg/an pondérées par le poids toxique (ITW) pour chaque substance pour chaque maille kilométrique (1x1 km²). L'analyse de ces données permet de comparer les substances les unes par rapport aux autres et leur impact sur le résultat final. Ainsi, sur l'ensemble des 554 145 mailles kilométriques du territoire métropolitain, les HAP sont les substances contribuant majoritairement au résultat final sur 91% des mailles (cf. Figure A Annexe 3) puis dans une moindre mesure, le chrome VI (5 % des mailles, cf. Figure B Annexe 3), le NH₃ (2,5%) et le nickel (1,4%). La Figure 17 permet de constater que la médiane des données d'émissions pondérées en HAP est la plus élevée.

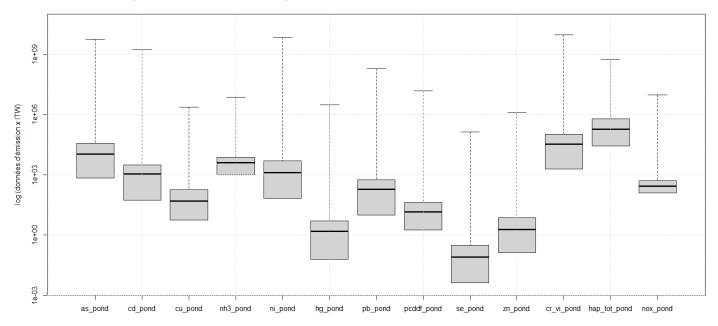


Figure 17 : Données d'émission pondérées par le poids toxique pour les données d'entrée kilométriques de l'INS de l'année 2007 (échelle logarithmique)

Pour les 80 mailles kilométriques dont l'indicateur individuel lié aux émissions atmosphériques est supérieur à 0,1, une analyse approfondie a été réalisée (cf. Annexe 4) afin d'estimer quelle(s) substance(s) contribuait majoritairement aux résultats : il s'agit en l'occurrence du chrome VI (pour 43% des 80 mailles), du nickel (30%), de l'arsenic (25%) et dans une moindre mesure du cadmium (1%) et des HAP (1%).

Au vu de ces résultats, le chrome VI apparait comme étant le contributeur majoritaire pour les mailles dont l'indicateur d'émission atmosphérique est compris entre 0,1 et 1. Comme le montre la Figure 18, cela concerne un nombre très faible de mailles (54 mailles de 4x4km²).

Les données d'entrée à la résolution kilométrique (maille 1x1 km²) pour l'INS 2007 sont disponibles pour le chrome total, le chrome III et le chrome VI. Au total, la France métropolitaine est découpée en 554 145 mailles de 1x1 km². La Tableau 4 présente les données statistiques pour ces données d'entrée et montre que la part du chrome VI par rapport au chrome total est globalement autour de 20% dans les données d'émission.

Tableau 4 : Statistiques des données d'entrée liées à la spéciation du chrome

| | Chrome | Chrome III | Chrome VI | Part du Chrome VI par rapport au chrome total |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|---|
| Nombre de valeurs non nulles | 543 650 (98%) | 543 462 (98%) | 543 462 (98%) | 543 650 (98%) |
| Moyenne | 0,05 | 0,04 | 0,01 | 20% |
| Ecart-type | 3,32 | 2,64 | 0,66 | 1% |
| Min | 0 | 0 | 0 | 0,0% |
| P25 | 0,0002 | 0,0002 | 0,00005 | 19,9% |
| Médiane | 0,004 | 0,003 | 0,001 | 19,9% |
| P75 | 0,012 | 0,010 | 0,002 | 20,0% |
| Max | 1101 | 881 | 220 | 20,0% |

L'Ineris a rédigé en 2020 un rapport sur l'exposition liée au chrome hexavalent, des éléments concernant les sources, les émissions, l'exposition et la toxicité chez l'Homme y sont repris. L'évaluation des risques sanitaires menée dans ce rapport estimait qu'au pire cas, 30 % au plus de chrome atmosphérique est hexavalent. Concernant l'origine de cette donnée, des rapports de Santé Canada (1994)¹⁸ et le RIVM (1990)¹⁹ citent respectivement une étude de 1985 (California Air Resources Board, 1985) estimant entre 0,01 à 30% (3 à 8% selon des mesures californiennes) la part de chrome hexavalent dans l'air ambiant. Il existe très peu de données et celles-ci sont anciennes. Il est donc difficile de conclure quant à la part de Cr VI dans l'air, les données de spéciation étant insuffisantes et anciennes (Ineris, 2020b).

Afin d'assurer une comparaison dans le temps entre les différents millésimes de l'Inventaire National Spatialisé, le nombre de substances doit être constant dans le temps et les données fournies calculées de facon similaire pour être comparables entre les années.

Les données d'émission utilisées sont des données anciennes datant de 2007. Les données de 2012 sont également disponibles mais seulement au niveau communal. Le traitement de ces données est prévu en 2022.

Par ailleurs, sur les 643 substances ou groupes de substance possédant un poids toxique dans les données du RSEI, seules 13 possèdent des données d'émission dans l'INS en 2007 et 2012, ce qui réduit le nombre de substances pouvant être étudiées. De plus, l'inventaire national spatialisé qui recense les émissions ne reflète pas les concentrations dans l'air.

Du fait de la distribution des données, le choix de la discrétisation est d'autant plus important pour cet indicateur, les représentations graphiques sont très différentes entre les deux modes : par intervalles égaux ou bien par percentiles (cf. Figure 16 et Figure 18).

Ainsi, la cartographie à la Figure 16 permet d'identifier les mailles les plus exposées (en rouge : 10% des mailles avec les valeurs les plus élevées) de celles les moins exposées. Cependant, cette représentation ne traduit pas l'impact de cet indicateur global sur l'indicateur composite : l'impact sera uniforme sur la majorité du territoire (valeurs comprises entre 0 et 0,1) et sera plus important pour les quelques mailles supérieures à 0,1. L'indicateur composite étant une moyenne pondérée des indicateurs individuels, l'indicateur lié aux émissions atmosphériques aura une tendance à diminuer la valeur de l'indicateur composite pour la majorité des mailles et aura un fort impact pour les quelques mailles identifiées avec des valeurs extrêmes.

-

¹⁸ Santé Canada. (1994). Liste des substances d'intérêt prioritaire : Le chrome et ses composés.

¹⁹ RIVM. (1990). Integrated Criteria Document Chromium. Report n°710401002

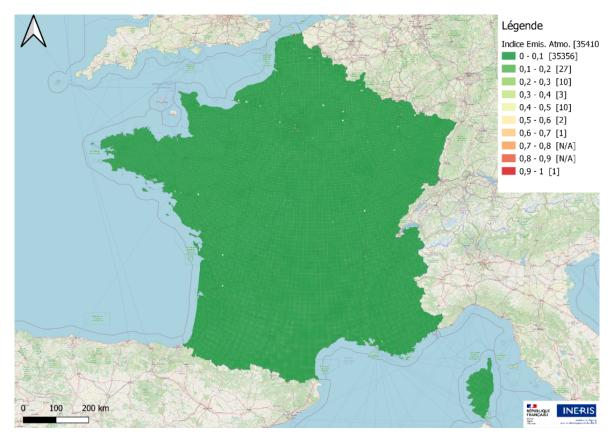


Figure 18 : Cartographie de l'indicateur d'émission atmosphérique sur un maillage 4 x 4 km² avec discrétisation par intervalles égaux

3.6.7 Perspectives

Les actions à envisager afin d'obtenir un indicateur robuste et comparable dans le temps sont les suivantes :

- Robustesse et exploitation des données : le nombre de substances et la manière dont sont obtenues les données doivent être comparables dans le temps. Ainsi entre 2007 et 2012, le nombre de substance inclus a été fortement réduit, menant à ne retenir que les substances disponibles pour 2012. Dans le cas du chrome, une mise à disposition des données pour le chrome VI en 2012 et pour les années suivantes est nécessaire. Par ailleurs, des modifications des valeurs des poids toxiques ou l'ajout de nouvelles substances dans le système du RSEI de l'US EPA est possible : une veille devra donc être mise en place et une mise à jour des cartes prévue en cas de modifications des valeurs. De plus, au vu de la distribution des données, un travail sur la transformation de cette distribution apparait nécessaire. Faire une distinction entre les émissions atmosphériques et des concentrations à l'air ambiant serait pertinente. Ce point devra faire l'objet d'investigations spécifiques et permettrait des biais d'interprétation;
- Spatialisation des données: la couverture spatiale des données est différente en fonction des millésimes considérés: métropole et DROM pour 2007 mais uniquement le territoire métropolitain pour 2012;
- Evolution temporelle des bases de données : l'actualisation des données est faite ponctuellement (2007, 2012) et la dernière base disponible centralise des données qui ont maintenant 10 ans.

4 Agrégation

L'objectif recherché à travers la construction d'indicateurs individuels et d'indicateurs composites est de permettre une comparaison spatiale sur l'ensemble de la France afin de hiérarchiser les territoires entre eux.

Même si des données sont manquantes, une tentative d'agrégation des indicateurs individuels a été réalisée au niveau national et cela, uniquement avec les indicateurs d'exposition disponibles au moment de la rédaction de ce rapport, à savoir les indicateurs liés à l'ozone, aux $PM_{2,5}$, aux émissions atmosphériques et au potentiel radon. Le bruit n'a pas été considéré à échelle nationale du fait de l'absence de données pour une majeure partie du territoire.

Pour aller plus loin dans l'exercice d'agrégation, le travail a également été enrichi au niveau de la région francilienne pour laquelle l'intégration des données de bruit était possible. Les pondérations utilisées pour construire l'indicateur composite sont précisées dans le Tableau 5.

Les indicateurs de « pressions environnementales », décrivant une dégradation de l'environnement/écosystème, des menaces immédiates ou différées pour l'environnement/population ou bien des sources de stress potentiel liées à des situations de pollution/nuisances seront construits et agrégés en 2022. La méthodologie de construction de ces indicateurs est détaillée dans le rapport « 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 ».

Tableau 5 : Indicateurs d'exposition, pondérations correspondantes et état d'avancement à la fin de l'année 2021 (adapté de Caudeville, 2020)

| Indicateurs individuels ou agrégés | Dimensions | Niveau du compartiment du continuum | Pondération finale | Prise en compte dans l'indicateur composite en 2021 |
|---|------------|---|-----------------------|---|
| Eau destinée à la consommation humaine (EDCH) | Exposition | Milieu d'exposition | 3 | Non (indicateur non disponible) |
| Bruit | Exposition | Milieu d'exposition | 3 | Oui (pour une partie de l'Ile- de-France) |
| PM2,5 | Exposition | Milieu environnemental | 2 | Oui |
| Ozone | Exposition | Milieu environnemental | 2 | Oui |
| Potentiel Radon | Exposition | Source | 1 | Oui (sauf DROM) |
| Emission atmosphérique | Exposition | Source | 1 | Oui (pour données de 2007) |

Concernant le bruit, en l'état actuel des données d'entrée, il n'est possible de construire cet indicateur que pour une très faible portion du territoire. La construction des cartographies concernant les DROM pour l'indicateur lié au potentiel radon est prévue pour début 2022. Pour l'indicateur lié aux émissions atmosphériques, des travaux seront nécessaires pour comparer les deux résolutions spatiales des données d'entrée pour l'année 2007 (maille kilométrique vs commune), sélectionner une transformation des résultats de l'indicateur individuel et préciser les données liées à la spéciation du chrome ainsi qu'intégrer les données de 2012.

4.1 Indicateur à l'échelle métropolitaine

4.1.1 Méthodologie

Au total, pour la métropole, le maillage 4x4km² comprend 35 410 mailles. Parmi ces mailles, 84 mailles ne possèdent pas de données pour au moins un des sous-indicateurs (en lien avec le manque de données concernant le potentiel radon). Ces mailles ne sont donc pas affichées dans les résultats pour l'indicateur composite. Il s'agit pour la plupart de petits territoires au large des côtes françaises (îles Chausey, île de Cézembre, île Saint-Gildas, île du Milieu, etc.).

La méthodologie de construction de l'indicateur composite à partir des indicateurs individuels est illustrée en Figure 19 ci-dessous. Il s'agit de faire, par maille, une moyenne des indicateurs individuels calculés selon la formule ci-dessous en utilisant les valeurs des pondérations finales fixées par le GT en 2020 et de standardiser le résultat entre 0 et 1.

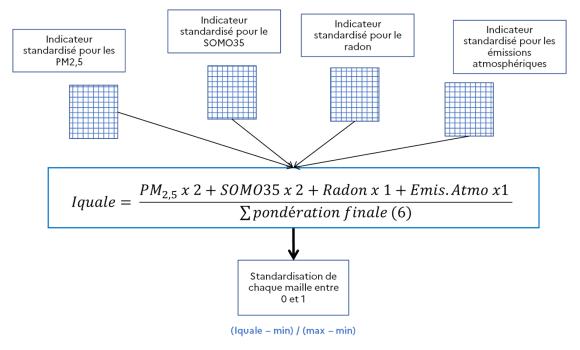


Figure 19 : Méthodologie de construction de l'indicateur composite avec les indicateurs individuels disponibles en 2021

4.1.2 Résultats

La cartographie de l'indicateur composite sur un maillage de 4x4 km² ainsi que la distribution des données sont détaillées en Figure 20. Les indicateurs individuels sont discrétisés en intervalles égaux tandis que l'indicateur composite est discrétisé en percentiles.

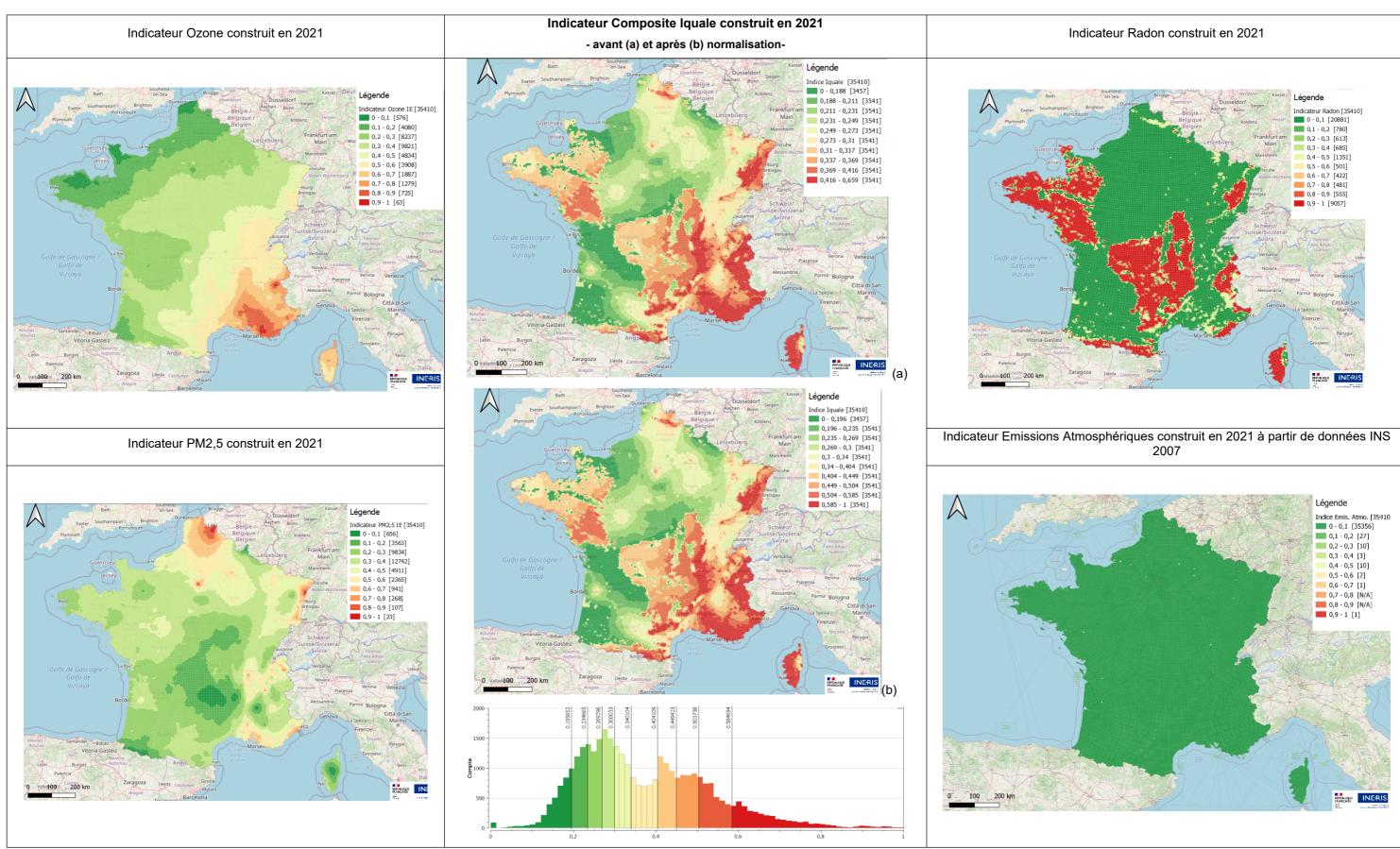


Figure 20 : Cartographie de l'indicateur composite sur un maillage 4x4 km², avec un classement des données en percentiles pour l'indicateur avant (a) et après normalisation (a) distribution des données pour la métropole. Les cartographies pour les indicateurs individuels avec répartition en intervalles égaux sont également données.

Ineris - 204108 - 2725893 - v1.0
Page 45 sur 65

4.1.3 Limites

La distribution de chaque indicateur (au-delà des pondérations qui leurs sont attribuées) a un effet sur l'impact qu'ils ont sur la valeur de l'indicateur composite. Ainsi, par sa distribution et malgré une pondération de 1, le radon influence fortement l'indicateur composite. L'indicateur lié aux émissions atmosphériques quant à lui, a un impact homogène sur l'ensemble du territoire à l'exception des quelques mailles identifiées. Les indicateurs liés à l'ozone et aux PM_{2,5} mettent en évidence une surexposition de certains territoires, respectivement dans le Sud-Est et dans le Nord de la France.

L'indicateur composite n'est pas encore complet dans les cartographies présentées ci-dessus ; les indicateurs individuels et agrégés de « pressions environnementales » n'ayant pas encore été intégrés. Une évolution des cartographies et de la distribution des données avec l'intégration de ces sous-indicateurs est donc attendue.

Par ailleurs, l'indicateur composite ne représente pas une vision exhaustive de l'ensemble des pressions environnementales qui s'exercent sur les individus mais permet, avec les données nationales spatialisées disponibles, de représenter graphiquement les inégalités environnementales pour un grand nombre de facteurs d'exposition. Une limite de l'indicateur composite est également la temporalité différente des données d'entrée des indicateurs individuels et agrégés.

4.1.4 Perspectives

Des travaux complémentaires seront nécessaires afin de finaliser la construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques notamment une comparaison des résultats en fonction de la résolution spatiale des données d'entrée utilisée, et son effet sur la transformation des résultats de l'indicateur individuel.

Une agrégation des indicateurs disponibles selon la méthodologie proposée par le groupe de travail a été testée avec les indicateurs individuels disponibles et construits à fin 2021. La construction des indicateurs de « pressions environnementales » et leur intégration dans l'indicateur composite sont prévues pour 2022.

A l'heure actuelle, l'agrégation ne tient pas compte de l'effectif des populations. A terme, le croisement des données environnementales et populationnelle pourra permettre de prioriser des actions ayant un impact sur le plus grand nombre. Les cartes présentées dans ce rapport pour chaque indicateur pourront donc être amenées à évoluer.

Les premières tentatives de construction des indicateurs ont montré plusieurs limites qu'il conviendra de lever si cet indicateur doit être remis à jour régulièrement :

- La pertinence des cartographies présentées dans le présent rapport repose sur la qualité des données d'entrée. Ainsi, une mise à disposition de données complètes sur l'ensemble du territoire et avec des temporalités similaires permettrait de diminuer les incertitudes, idéalement selon un format ad hoc y compris pour tous les indicateurs relatifs aux pressions environnementales;
- Les données d'entrée doivent être homogènes et disponibles sur l'ensemble du territoire;
- Les champs utilisés dans les bases de données pour la construction des indicateurs doivent rester identiques au cours du temps. En effet, le remaniement de base de données d'entrée avec la disparition de certains champs utilisés rendrait un suivi dans le temps impossible pour un indicateur construit selon une méthodologie fixée;
- Idéalement, les bases de données devraient être mise à jour annuellement et à défaut avec un pas de temps entre les mises à jour les plus réduit possible ;
- A l'issue de la construction de l'ensemble des indicateurs individuels ou agrégés et de la construction de l'indicateur IQUALE, les différents coefficients pondérateurs pourront éventuellement être discutés et ajustés. A l'instar de l'indicateur californien, une mise à disposition des cartographies individuels en complément de l'indicateur composite IQUALE est considérée;
- A plus long terme, cet indicateur pourrait, à partir de données environnementales et à condition qu'elles existent et soient disponibles, tendre vers une représentation de la notion d'exposome c'est-à-dire de l'ensemble des expositions environnementales suspectées d'avoir un lien avec la santé humaine auxquelles un individu est exposé au cours de sa vie.

4.2 Indicateur francilien

4.2.1 Méthodologie

Au total, pour une partie de la zone francilienne possédant des données de bruit exploitable, la grille de 4x4 km² comprend 251 mailles dont certaines sont partielles. La méthodologie de construction de l'indicateur composite sur cette zone spécifique à partir des indicateurs individuels est illustrée à la Figure 21. Il s'agit de faire, pour chaque maille, une moyenne des indicateurs individuels calculés selon la formule ci-dessous et de standardiser le résultat entre 0 et 1.

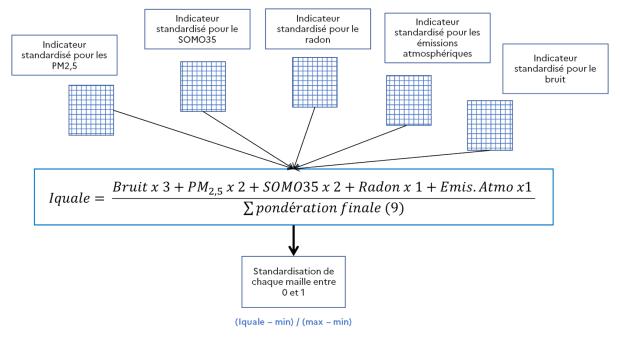


Figure 21 : Méthodologie de construction de l'indicateur composite avec les indicateurs individuels disponibles en 2021 pour une zone restreinte de l'Ile-de-France

4.2.2 Résultats

La cartographie de l'indicateur composite sur un maillage de 4x4 km² ainsi que la distribution des données sont détaillées en Figure 22. Les cartographies des indicateurs pour la zone francilienne étudiée sont également détaillées en Annexe 4. Du fait que les données pour le bruit sont exploitables uniquement pour ce territoire, cet indicateur est compris entre 0 et 1, cependant, pour les autres indicateurs la valeur nationale a été conservée. Une discrétisation des données par intervalles égaux n'aidant pas à la compréhension au vu des échelles de valeur, une discrétisation par percentile a donc été préférée.

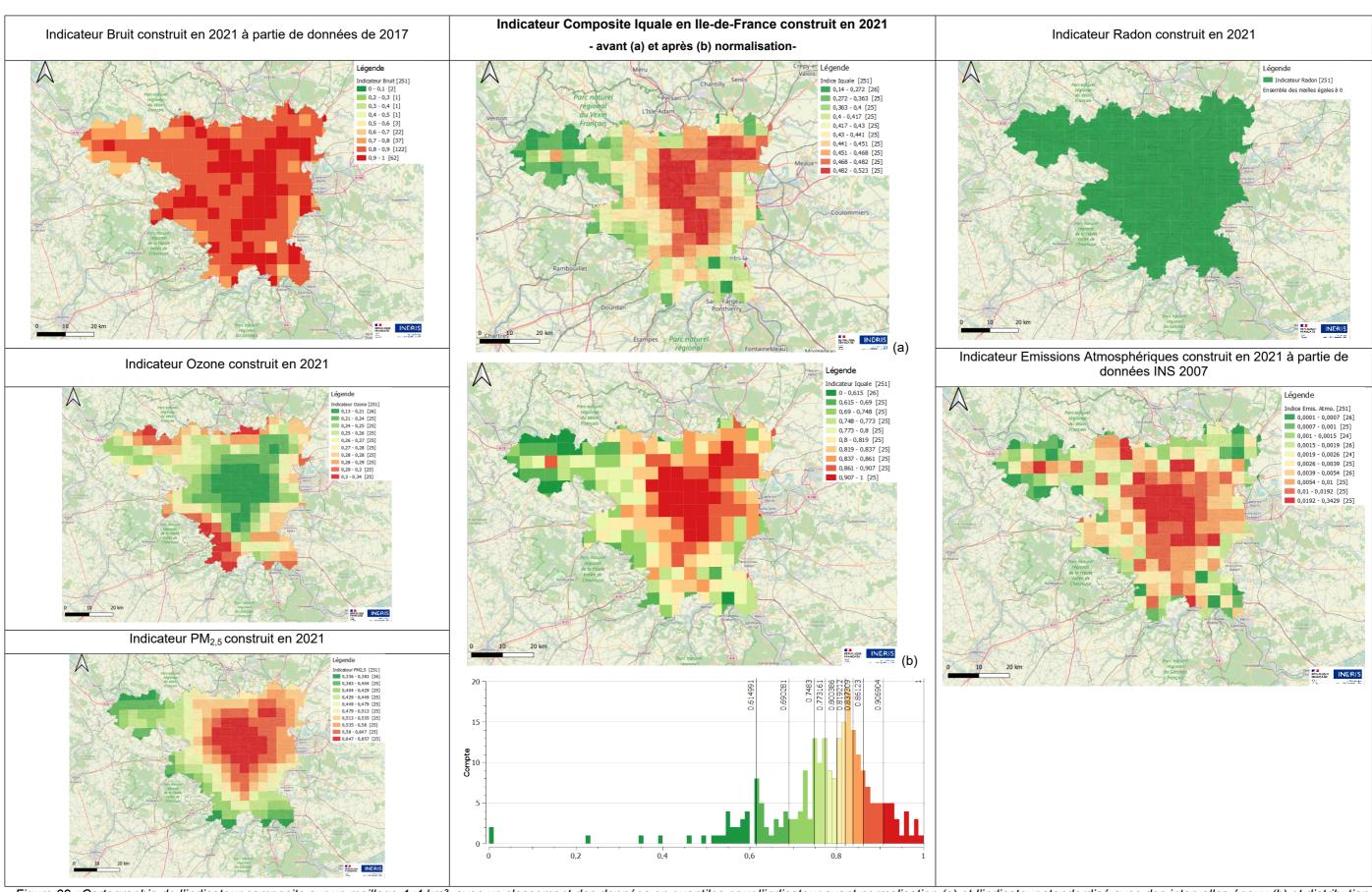


Figure 22 : Cartographie de l'indicateur composite sur un maillage 4x4 km², avec un classement des données en quantiles pour l'indicateur avant normalisation (a) et l'indicateur standardisé avec des intervalles égaux (b) et distribution des données avant normalisation pour une zone de l'Ile-de-France

4.2.3 Limites

L'indicateur composite Iquale pour la zone francilienne disponible a été construit pour montrer la faisabilité de l'agrégation mais les résultats présentés ici ne sont pas en totale adéquation avec la méthode décrite car les données étant hiérarchisées sur des échelles différentes pour le bruit et pour les 4 autres indicateurs. Concernant les représentations graphiques de l'indicateur composite, le bruit s'avère prépondérant, cela peut s'expliquer, d'une part, par sa pondération finale dans l'indicateur composite et d'autre part, par le fait que ce dernier est standardisé entre 0 et 1 sur la zone étudiée tandis que les autres indicateurs le sont à l'échelle métropolitaine.

4.2.4 Perspectives

Certaines des remarques suivantes sont identiques aux perspectives proposées pour l'indicateur à l'échelle métropolitaine.

Des travaux complémentaires seront nécessaires afin de finaliser la construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques notamment une comparaison des résultats en fonction de la résolution spatiale des données d'entrée utilisée, la transformation des résultats de l'indicateur individuel et un approfondissement des connaissances concernant la spéciation du chrome.

Une agrégation des indicateurs disponibles selon la méthodologie proposée par le groupe de travail a été testée avec les indicateurs individuels disponibles et construits à fin 2021. La construction des indicateurs de pressions environnementales et leur intégration dans l'indicateur composite sont prévues pour 2022.

Le croisement avec les données de population peut être important au niveau régional et permettre de mieux cibler les actions affectant le plus grand nombre.

Concernant la transposition des données à l'échelle régionale, deux options sont proposées en fonction de l'objectif recherché :

- Pour la comparaison d'un territoire par rapport à la situation française, les données calculées pour l'indicateur nationale peuvent être conservées;
- Pour hiérarchiser les territoires au sein d'une même zone géographique (région par exemple), un recalcul des indicateurs n'incluant que les données sélectionnées pourraient être proposées aux utilisateurs.

5 Conclusions et perspectives

5.1 Conclusions

Dans le cadre de la préparation du 4ème PNSE « Mon environnement, ma santé », le ministère en charge de l'environnement a demandé à l'Ineris de piloter un groupe de travail sur les indicateurs environnementaux et territoriaux destiné à élaborer une méthodologie de construction d'un indicateur environnemental composite, 1) agrégé au niveau national pour évaluer l'évolution temporelle de la contamination des milieux, 2) déclinable au niveau territorial et 3) agrégé au niveau populationnel pour estimer la distribution des expositions notamment selon la défaveur sociale (Ineris, 2020a).

La méthodologie élaborée par le groupe de travail a fait l'objet d'un rapport (Ineris, 2020a). Ce rapport restitue les méthodes de construction d'un indicateur composite et des treize indicateurs individuels ou agrégés qui le composent, retenues par le groupe de travail dédié sous l'égide du GT3 « données, indicateurs » de préfiguration du PNSE4. Les treize indicateurs sont divisés en deux familles : les indicateurs d'exposition et les indicateurs de « pressions environnementales ». L'indicateur composite est défini comme un indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE). Il correspond à la combinaison mathématique des deux dimensions (exposition et « pressions environnementales ») du concept d'impact. Il est composé d'indicateurs individuels (un seul paramètre) et d'indicateurs agrégés (plusieurs paramètres résumés dans une variable).

L'objectif des indicateurs individuels ou agrégés et de l'indicateur composite IQUALE est de permettre une comparaison spatiale sur l'ensemble du pays afin de hiérarchiser les territoires les uns par rapport aux autres et notamment d'identifier ceux étant affectés par plusieurs facteurs de risques A terme, un suivi temporel de l'indicateur composite et des indicateurs individuels ou agrégés sera également possible. L'objectif de l'indicateur de qualité des environnements n'a pas la prétention de prédire de manière exacte les impacts sanitaires des différents facteurs de risque dont il est composé. En effet, les indicateurs d' « exposition » ne se trouvant pas au même niveau du continuum source-vecteur-cible et en raison des dynamiques temporelles hétérogènes en jeu. Cet outil permet d'identifier les territoires affectés de manière disproportionnée par plusieurs sources de pollution.

En 2021, l'Ineris a donc entamé la construction des indicateurs par ceux dits d'exposition concernant l'eau destinée à la consommation humaine, le bruit, les PM_{2,5}, l'ozone, le radon et les émissions atmosphériques. La méthodologie utilisée pour construire ces indicateurs est celle proposée dans le rapport de restitution des échanges du groupe de travail et rédigé par l'Ineris en 2020. En l'absence de données disponibles pour l'indicateur concernant l'eau destinée à la consommation humaine, cet indicateur n'a pas pu être intégré à l'indicateur agrégé. Son intégration modifiera probablement les cartes notamment au vu de la pondération finale de cet indicateur. L'indicateur lié au bruit, quant à lui, n'a pu être construit que pour une partie du territoire francilien. Pour les quatre autres indicateurs, une première version de leur construction à l'échelle de la métropole est présentée dans le présent rapport.

5.2 Perspectives

Des travaux complémentaires seront nécessaires afin de finaliser la construction de l'indicateur lié aux émissions atmosphériques, notamment une comparaison des résultats en fonction de la résolution spatiale des données d'entrée utilisée et la transformation des résultats de l'indicateur individuel

Une agrégation des indicateurs disponibles selon la méthodologie proposée par le groupe de travail a été testée avec les indicateurs individuels disponibles et construits à fin 2021. La construction des indicateurs de « pressions environnementales » et leur intégration dans l'indicateur composite sont prévues pour 2022.

Concernant ces derniers, la collecte des données d'entrée a été entamée en 2021 et continuera en 2022 pour les indicateurs liés aux « pressions environnementales ». En effet, certaines bases de données (BASOL, S3IC, BNVD) nécessaires à la construction des indicateurs de « pressions environnementales » sont actuellement en cours de refonte et ne seront disponibles qu'en 2022. Ces indicateurs sont soit des indicateurs individuels (un seul paramètre) soit des indicateurs agrégés (plusieurs paramètres résumés dans une variable).

Les premières tentatives de construction des indicateurs ont montré plusieurs limites qu'il conviendra de lever si cet indicateur doit être remis à jour régulièrement :

- La pertinence des cartographies présentées dans le présent rapport repose sur la qualité des données d'entrée. Ainsi, une mise à disposition de données complètes sur l'ensemble du territoire et avec des temporalités similaires permettrait de diminuer les incertitudes, idéalement selon un format ad hoc y compris pour tous les indicateurs relatifs aux « pressions environnementales »;
- Les données d'entrée doivent être homogènes et disponibles sur l'ensemble du territoire ;
- Les champs utilisés dans les bases de données pour la construction des indicateurs doivent rester identiques au cours du temps. En effet, le remaniement de base de données d'entrée avec la disparition de certains champs utilisés rendrait un suivi dans le temps impossible pour un indicateur construit selon une méthodologie fixée;
- Idéalement, les bases de données devraient être mise à jour annuellement et à défaut avec un pas de temps entre les mises à jour les plus réduit possible;
- A l'issue de la construction de l'ensemble des indicateurs individuels ou agrégés et de la construction de l'indicateur IQUALE, les différents coefficients pondérateurs pourront éventuellement être discutés et ajustés;
- Des analyses de sensibilité sont envisagées pour évaluer l'impact d'une éventuelle modification des pondérations, l'impact de la méthode d'agrégation retenue et la normalisation entre 0 et 1 appliquée aux indicateurs. D'autres approches de normalisation des données permettant de mieux restituer les tendances temporelles devront également être investiguées;
- A l'instar de l'indicateur californien, une mise à disposition des cartographies individuelles en complément de l'indicateur composite IQUALE est considérée ;
- A plus long terme, cet indicateur pourrait, à partir de données environnementales et à condition qu'elles existent et soient disponibles, tendre vers une représentation de la notion d'exposome c'est-à-dire de l'ensemble des expositions environnementales suspectées d'avoir un lien avec la santé humaine auxquelles un individu est exposé au cours de sa vie.

6 Tables des sigles et abréviations

DROM Départements et Régions d'Outre-Mer (Guadeloupe, Guyane, Martinique, La

réunion, Mayotte)

TOM Territoire d'Outre-Mer

7 Références

- Beauchamp, M., Malherbe, L., Meleux, F., & Létinois, L. (2016). LCSQA Note de Synthèse sur le développements récents en matière de cartes analysées des résultats de modélisation (Numéro DRC-16-152350-11840A).
- Brainard, J. S., Jones, A. P., Bateman, I. J., Lovett, A. A., & Fallon, P. J. (2002). Modelling environmental equity: Access to air quality in Birmingham, England. *Environment and Planning A*, 34(4), 695-716. https://doi.org/10.1068/a34184
- Chakraborty, J., & Armstrong, M. P. (2013). Exploring the Use of Buffer Analysis for the Identification of Impacted Areas in Environmental Equity Assessment. http://dx.doi.org/10.1559/152304097782476951 24(3), 145-157. https://doi.org/10.1559/152304097782476951
- Gouvernement Français. (2021). Un environnement, une santé 4ème Plan National Santé Environnement.
- Haut Conseil de la Santé Publique. (2021). Rapport relatif aux indicateurs composites en santéenvironnement Janvier 2021.
- HCSP. (2018). Avis relatif à un projet d'indicateur global de la qualité de l'eau destinées à la consommation humaine.
- Ineris. (2018). *Inventaire des bases de données nationales environnementales et spatialisées* (Numéro INERIS-DRC-18-152407-11231D).
- Ineris. (2020a). 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. (2020b). Expositions au chrome hexavalent Synthèse des données disponibles : sources, émissions, exposition et toxicité pour l'homme.
- Jerrett, M., Burnett, R. T., Kanaroglou, P., Eyles, J., Finkelstein, N., Giovis, C., & Brook, J. R. (2001). A GIS Environmental justice analysis of particulate air pollution in Hamilton, Canada. *Environment and Planning A*, 33(6), 955-973. https://doi.org/10.1068/a33137
- Malherbe, L., & Ung, A. (2009). LCSQA Modélisation et Traitements Numériques Travaux relatifs à la plate-forme nationale de modélisation PREV'AIR: Réalisation de cartes analysées d'ozone (2/2).
- McLeod, H., Langford, I. H., Jones, A. P., Stedman, J. R., Day, R. J., Lorenzoni, I., & Bateman, I. J. (2000). The relationship between socio-economic indicators and air pollution in England and Wales: implications for environmental justice. *Regional Environmental Change*, *1*(2), 78-85. https://doi.org/10.1007/pl00011536
- Mitchell, G., & Dorling, D. (2003). An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A*, *35*(5), 909-929. https://doi.org/10.1068/a35240
- Morello-Frosch, R., Pastor, M., & Sadd, J. (2001). Environmental justice and southern California's « riskscape » The distribution of air toxics exposures and health risks among diverse communities. *Urban Affairs Review*, *36*(4), 551-578. https://doi.org/10.1177/10780870122184993
- Zanin, C. (2006). DISCRÉTISATION. HAL Open Science, halshs-001, 4 p.

8 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Description des résolutions spatiales et temporelles des données utilisées pour construire les indicateurs
- Annexe 2 : Fiche méthodologique liée à l'indicateur Bruit
- Annexe 3 : Fiche méthodologique liée à l'indicateur liés aux émissions atmosphériques
 Annexe 4 : Cartes des indicateurs individuels pour la zone francilienne étudiée Discrétisation en percentiles

Annexe 1 : Description des résolutions spatiales et temporelles des données utilisées pour construire les indicateurs

Mise à jour du tableau issu du rapport « 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, 2020a)

| Groupes | Indicateurs individuels ou agrégés | Résolution spatiale | Années | Aspect dynamique ²⁰ |
|-------------------|---|--|---|---|
| | Eau potable | Unité de distribution/Communes | 2019 ou agrégé sur fenêtre temporelle | Oui |
| | Concentrations de PM2.5 dans l'air ambiant | Maille 4x4 km² | 2019 ou agrégé sur fenêtre temporelle | Oui |
| | Concentrations d'ozone dans l'air ambiant | Maille 4x4 km² | 2019 ou agrégé sur fenêtre temporelle | Oui |
| Exposition | Potentiel radon | Communes | 2010 puis remise à jour | Remise à jour prévue mais sur des pas de temps long |
| | Bruit | Agglomérations (routes, voies ferrées, aéroport et/ou industrie) et réseaux routiers et ferrés | Tous les 5 ans : 2007, 2012, 2017, 2022 | Variable selon la remise à jour des différentes sources |
| | Emissions atmosphériques | Mailles ou Communes | 2007 et 2012 | Variable selon la remise à jour des différentes sources |
| | Installations de stockage et de production de déchets dangereux | Point | Dernière mise à jour des bases | Non |
| | Installations de traitement de déchets solides | Point | Dernière mise à jour des bases | Non |
| Pressions | Sites industriels | Point | Dernière mise à jour des bases | Non |
| environnementales | Site toxique en réhabilitation | Point | Dernière mise à jour des bases | Non |
| | Menace des eaux souterraines | Point | Dernière mise à jour des bases | Non |
| | Eau de surface dégradée | Point | 2019 ou agrégé sur fenêtre temporelle | Oui |
| | Achats pesticides | Parcelle agricole | 2019 | Oui |

²⁰ Sensibilité de l'indicateur à caractériser une évolution temporelle du phénomène d'intérêt

Annexe 2 : Complément lié à l'indicateur Bruit

Données disponibles (fichier .shp, .dbf et .prj) le 01/10/2021 via le lien suivant : http://cdr.eionet.europa.eu/fr/eu/noise/colt5vp4w/2017/envyb18g/index_html?&page=1

Tableau : Données disponibles (Lden) sur le site EIONET

| | Routes | Rails | Aéroport | Industrie |
|---------------------------|------------------------|-------------|------------------|-----------|
| Aubergenville | Х | Х | X | |
| Beauchamp | Х | Х | Х | |
| Bordeaux | Х | Х | Х | Х |
| Brest | Х | | Х | Х |
| Brunoy | Х | Х | Х | |
| Cannes | Х | Х | X | X |
| Cergy | X | Х | | |
| Clermont-Ferrand | X | Х | X | X |
| Courcouronnes | X | Х | X | |
| Dijon | X | Х | X | X |
| Grenoble | X | Х | | X |
| Le Pecq | X | Х | | |
| Lille | X | Х | X | X |
| Lyon | X | Х | X | X |
| Marseille métropole | X | Х | X | X |
| Marseille Provence | Х | | | |
| Montmorency | X | Х | | X |
| Nantes | X | Х | X | X |
| Nice | X | Х | X | X |
| Orléans | X | Х | | |
| Orsay | X | Х | X | |
| Paris | Х | Х | X | |
| Rennes | | Problème de | e téléchargement | |
| Roissy en France | X | Х | X | |
| Sainte Geneviève des bois | Х | Х | Х | |
| Saint Etienne | X | Х | X | X |
| Strasbourg | Problème de projection | | | |
| Torcy | X | Х | X | |
| Tours | Х | Х | X | X |
| Trappes | Х | Х | | |
| Versailles | Х | Х | Х | |

Exemple de carte de bruit issue des données EIONET pour la ville de Nantes



Annexe 3 : Complément lié à l'indicateur d'émissions atmosphériques

Tableau A : 80 mailles kilométriques (1x1 km²) dont l'indice individuel concernant les émissions atmosphériques est supérieur à 0,1

| Identifiant de la maille1x1 | Données d'émission pondérées par le poids toxique (ITW) | | | | | Moyenne | Indice Emis |
|--------------------------------|---|---------|---------|------------|--------------|----------|----------------|
| km² | as_pond | cd_pond | ni_pond | cr_vi_pond | hap_tot_pond | pondérée | Atmo |
| 719495 | 28% | 3% | 1% | 67% | 0% | 7,34 | 1,00 |
| 585207 | 25% | 17% | 1% | 55% | 0% | 7,13 | 0,97 |
| 798848 | 4% | 2% | 1% | 93% | 0% | 6,95 | 0,95 |
| 364484 | 56% | 3% | 1% | 39% | 0% | 6,31 | 0,86 |
| 665189 | 45% | 3% | 0% | 52% | 0% | 5,72 | 0,78 |
| 449185 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 5,67 | 0,77 |
| 300469 | 1% | 0% | 1% | 98% | 0% | 5,49 | 0,75 |
| 358186 | 42% | 2% | 1% | 54% | 0% | 5,34 | 0,73 |
| 425775 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 5,23 | 0,71 |
| 803106 | 8% | 16% | 2% | 71% | 0% | 5,01 | 0,68 |
| 720535 | 58% | 4% | 1% | 36% | 0% | 4,81 | 0,66 |
| 788900 | 81% | 6% | 3% | 8% | 0% | 4,75 | 0,65 |
| 419393 | 24% | 3% | 17% | 56% | 0% | 3,82 | 0,52 |
| 628891 | 26% | 1% | 1% | 72% | 0% | 3,81 | 0,52 |
| 869594 | 30% | 3% | 1% | 65% | 0% | 3,75 | 0,51 |
| 773678 | 29% | 6% | 3% | 61% | 0% | 3,39 | 0,46 |
| 583080 | 8% | 1% | 82% | 9% | 0% | 3,39 | 0,46 |
| 486438 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 3,34 | 0,45 |
| 879107 | 36% | 3% | 5% | 56% | 0% | 2,88 | 0,39 |
| 813751 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 2,76 | 0,38 |
| 822262 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 2,72 | 0,37 |
| 232361 | 8% | 1% | 82% | 9% | 0% | 2,64 | 0,36 |
| 854173 | 37% | 1% | 18% | 43% | 0% | 2,59 | 0,35 |
| 925890 | 54% | 1% | 1% | 43% | 0% | 2,59 | 0,35 |
| 827570 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 2,45 | 0,33 |
| 571100 | 54% | 3% | 2% | 39% | 0% | 2,43 | 0,33 |
| 303951 | 25% | 2% | 2% | 71% | 1% | 2,41 | 0,33 |
| 926955 | 54% | 41% | 0% | 5% | 0% | 2,33 | 0,32 |
| 586305 | 94% | 3% | 2% | 0% | 0% | 2,27 | 0,31 |
| 616375 | 96% | 0% | 0% | 3% | 0% | 2,21 | 0,30 |
| 599036 | 1% | 3% | 8% | 88% | 0% | 1,98 | 0,27 |
| 774742 | 29% | 6% | 3% | 61% | 0% | 1,96 | 0,27 |
| 732647 | 64% | 4% | 2% | 29% | 0% | 1,88 | 0,26 |
| 451313 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,88 | 0,26 |
| 527972 | 39% | 3% | 2% | 56% | 0% | 1,88 | 0,26 |
| 541812 | 10% | 4% | 62% | 23% | 0% | 1,74 | 0,24 |
| 542874 | 13% | 1% | 3% | 83% | 0% | 1,74 | 0,24 |
| 747542 | 74% | 5% | 2% | 18% | 0% | 1,72 | 0,23 |
| 746682 | 96% | 0% | 0% | 3% | 0% | 1,72 | 0,23 |
| 586507 | 16% | 3% | 3% | 75% | 3% | 1,67 | 0,23 |
| 881184 | 21% | 23% | 9% | 44% | 0% | 1,66 | 0,23 |
| 665080 | 15% | 2% | 7% | 76% | 0% | 1,60 | 0,23 |
| 886523 | 35% | 3% | 6% | 55% | 0% | 1,58 | 0,22 |
| 634423 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,54 | 0,21 |

| Identifiant de la maille1x1 | Données d'émission pondérées par le poids toxique (ITW) | | | | | Moyenne pondérée | Indice Emis |
|--------------------------------|---|---------|---------|------------|--------------|---------------------|----------------|
| km² | as_pond | cd_pond | ni_pond | cr_vi_pond | hap_tot_pond | porideree | Atmo |
| 792217 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,50 | 0,20 |
| 589461 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,44 | 0,20 |
| 550248 | 56% | 2% | 2% | 39% | 0% | 1,37 | 0,19 |
| 789962 | 49% | 9% | 2% | 40% | 0% | 1,36 | 0,18 |
| 252999 | 35% | 9% | 10% | 44% | 0% | 1,33 | 0,18 |
| 247261 | 12% | 19% | 50% | 18% | 0% | 1,29 | 0,18 |
| 592905 | 45% | 1% | 4% | 50% | 0% | 1,29 | 0,18 |
| 1151185 | 10% | 4% | 62% | 23% | 0% | 1,26 | 0,17 |
| 923077 | 7% | 11% | 5% | 75% | 0% | 1,21 | 0,16 |
| 749548 | 26% | 1% | 6% | 67% | 0% | 1,19 | 0,16 |
| 582015 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,17 | 0,16 |
| 755092 | 68% | 6% | 3% | 22% | 0% | 1,15 | 0,16 |
| 1012124 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 1,13 | 0,15 |
| 588397 | 99% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1,11 | 0,15 |
| 813754 | 10% | 4% | 62% | 23% | 0% | 1,06 | 0,14 |
| 889071 | 44% | 11% | 2% | 42% | 0% | 1,03 | 0,14 |
| 682101 | 2% | 1% | 1% | 96% | 0% | 1,01 | 0,14 |
| 883392 | 56% | 9% | 3% | 32% | 0% | 0,99 | 0,14 |
| 805232 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 0,99 | 0,13 |
| 576698 | 21% | 7% | 8% | 26% | 38% | 0,96 | 0,13 |
| 696362 | 29% | 6% | 3% | 61% | 0% | 0,96 | 0,13 |
| 424712 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 0,92 | 0,13 |
| 498149 | 25% | 2% | 2% | 71% | 1% | 0,90 | 0,12 |
| 679403 | 70% | 11% | 5% | 12% | 0% | 0,89 | 0,12 |
| 781776 | 10% | 4% | 62% | 23% | 0% | 0,89 | 0,12 |
| 716276 | 56% | 1% | 1% | 42% | 0% | 0,88 | 0,12 |
| 898639 | 24% | 2% | 6% | 67% | 1% | 0,84 | 0,11 |
| 585451 | 9% | 1% | 80% | 10% | 1% | 0,83 | 0,11 |
| 709951 | 8% | 1% | 81% | 9% | 0% | 0,83 | 0,11 |
| 419392 | 26% | 2% | 7% | 65% | 0% | 0,83 | 0,11 |
| 640594 | 3% | 0% | 0% | 97% | 0% | 0,79 | 0,11 |
| 579060 | 8% | 1% | 80% | 9% | 1% | 0,78 | 0,11 |
| 591863 | 11% | 79% | 1% | 9% | 1% | 0,78 | 0,11 |
| 746497 | 7% | 0% | 2% | 91% | 1% | 0,77 | 0,10 |
| 650965 | 48% | 17% | 2% | 30% | 0% | 0,75 | 0,10 |
| 781788 | 17% | 1% | 38% | 43% | 0% | 0,75 | 0,10 |

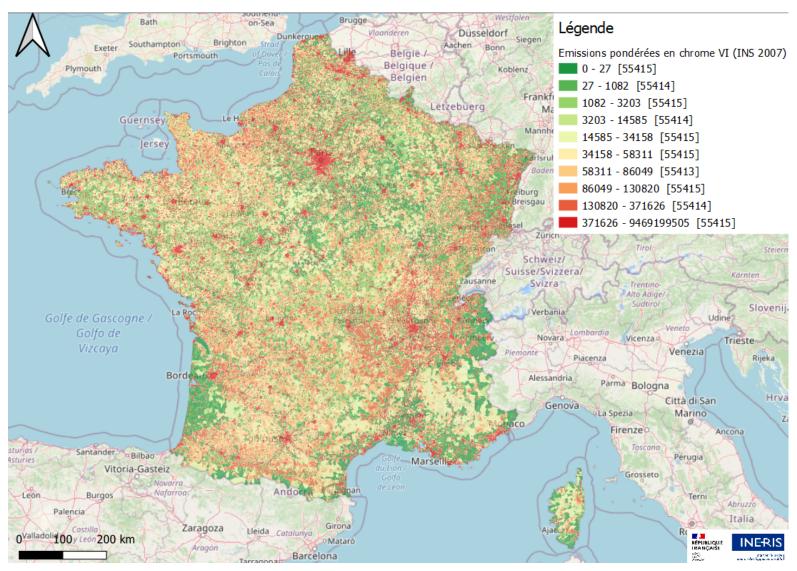


Figure A: Emissions (en kg/an) pondérées par le poids toxique pour le chrome VI – Carte construite en 2021 avec des données de l'INS 2007

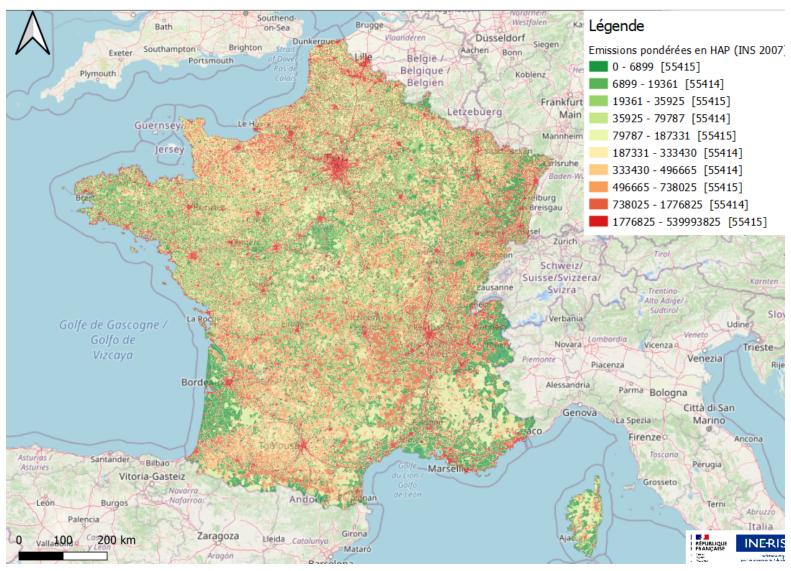


Figure B : Emissions (en kg/an) pondérées par le poids toxique pour les HAP - Carte construite en 2021 avec des données de l'INS 2007

Annexe 4 : Cartes des indicateurs individuels pour la zone francilienne étudiée – Discrétisation en percentiles

