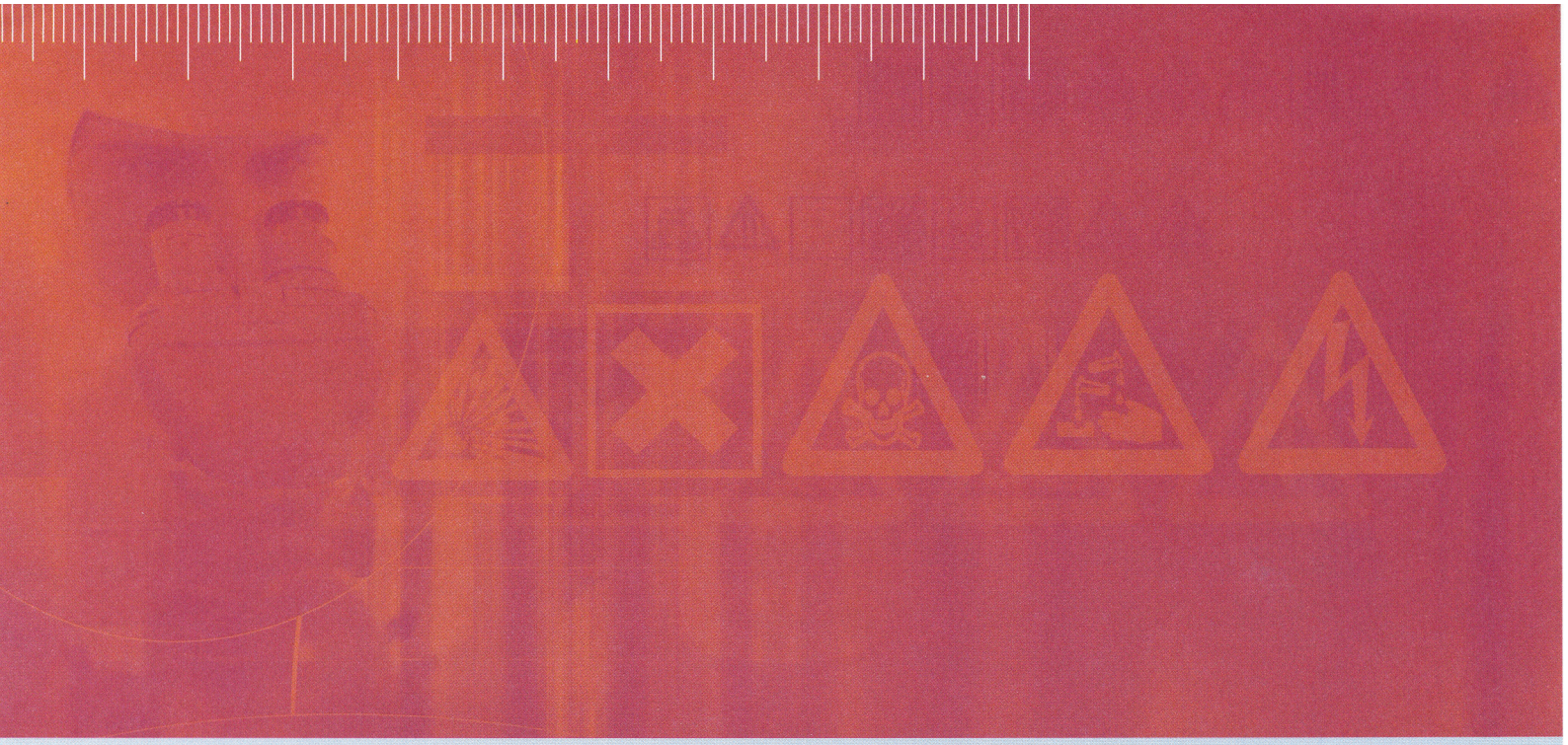

RAPPORT D'ÉTUDE 29/02/2016

INERIS-DRC-15-152407-12400A

Retour d'expérience des travaux de caractérisation des inégalités environnementales réalisés en région

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Retour d'expérience des travaux réalisés en région de caractérisation des inégalités environnementales

Rapport réalisé pour le Ministère de l’Environnement, de l’Energie et de la Mer.

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Julien Caudeville	Nathalie Velly	Martine Ramel
Qualité	Ingénieur de l'unité Impact sanitaire et expositions	Responsable de l'unité Impact sanitaire et expositions	Responsable du Pôle Risque et Technologies Durables
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME **8**

1. INTRODUCTION ET OBJECTIF **9**

1.1 Définition des inégalités environnementales 9

1.2 Prise en compte dans les politiques publiques 9

1.3 Types de zones de surexposition et évaluation de l'exposition 10

1.4 Déclinaison du concept d'exposome dans les politiques publiques 12

1.5 Objectifs 13

2. ANALYSE DES ETUDES D'INTERET **13**

2.1 Description générale des études 14

2.2 Processus général 15

2.3 Définition des objectifs de l'étude 16

2.4 Démarche générale de construction des indicateurs 17

2.5 Inventaire, analyse et acquisition des bases de données 18

3. TRAITEMENT DES DONNEES **21**

3.1 Echelles et résolutions spatiales d'analyse 21

3.2 Spatialisation des données 23

3.3 Traitement des variables d'exposition 25

3.4 Transformation en score de risque 28

3.5 Prise en compte des variables populationnelles 33

4. CONCLUSION **36**

5. ANNEXES **37**

ANNEXE 1 38

GLOSSAIRE

- Analyse spatiale : Raisonnement qui permet de déduire les caractéristiques d'un phénomène localisé en croisant des données géographiques.
- Approche de type écologique : Terme désignant toute étude ou analyse basée, non pas sur une ou plusieurs population(s) sélectionnée(s) individu par individu, mais sur des données populationnelles globales (données agrégées), disponibles par exemple à l'échelle d'une région, d'un pays ou au niveau des IRIS.
- Bruit de fond de pollution : Concentration ambiante représentative pour un élément, un composé ou une substance dans un milieu donné, d'un territoire donné. Elle tient compte des concentrations naturelles (fond pédogéochimique naturel pour les éléments traces métalliques) et de celles provenant éventuellement de sources d'origine anthropique diffuses (comme les pollutions diffuses par engrais ou pesticides liées aux pratiques agricoles usuelles). Il peut aussi être défini comme la concentration habituelle dans un milieu donné, en l'absence de contamination locale.
- Capabilité : Dernière composantes des inégalités environnementales, Amartia Sen définie la capabilité comme la liberté réelle dont disposent les individus pour atteindre les différentes dimensions qui composent leur bien-être.
- Concentration d'exposition : Concentration d'un agent chimique dans le milieu au point de contact avec une personne.
- Données agrégées : Données populationnelles globales disponibles à l'échelle locale (commune par exemple) ou d'un large territoire (d'une région ou d'un pays). La variable d'agrégation peut être une région géographique, mais également d'autres variables comme le statut socio-économique ou une période de temps donnée.
- Dose externe : Quantité de substance en contact avec les barrières de l'organisme (parois intestinales, alvéoles pulmonaires, peau). Elle s'exprime généralement en masse de substance par unité de masse corporelle et par unité de temps.
- Dose Journalière d'Exposition : Dose (interne ou externe) de substance reçue par l'organisme rapportée au poids de l'individu et au nombre de jours d'exposition (dans le cas d'une substance non cancérigène) ou au nombre de jours de la vie entière (dans le cas d'une substance cancérigène).
- Exposition chronique : Exposition persistante, continue ou discontinue, se produisant sur une longue période, allant d'une année à la vie entière.
- Exposome : Vision globale et intégrée de l'historique des expositions aux agents biologiques, chimiques et physiques au cours de la vie y compris pendant la période prénatale.

- Indicateur composite : Combinaison mathématique (ou «agrégation») de plusieurs indicateurs qui représentent différentes dimensions d'un même concept. Il est aussi appelé index, score ou indice agrégé[1].
- Indicateur environnemental : Variable permettant d'évaluer l'état de l'environnement (exemple : concentration en polluant).
- Indicateur sanitaire : Variable permettant de décrire l'état de santé d'une population.
- IRIS : Abrégé de « Îlots Regroupés pour l'Information Statistique ». C'est une unité géographique infra-communale créée par l'INSEE à l'occasion du recensement de la population française de 1999. L'IRIS est la plus petite unité pour laquelle l'INSEE fournit des données statistiques détaillées. Il regroupe en moyenne 2 000 habitants, ce qui est souvent considéré comme l'échelon de base pour les analyses statistiques géographiques.
- Krigeage : Méthode d'interpolation linéaire en géostatistique garantissant le minimum de variance et basée sur un estimateur non biaisé.
- Média d'exposition : Média au contact desquels se trouve la cible étudiée. Dans le cas des populations humaines, il peut s'agir par exemple, de l'air à l'intérieur des habitations, de l'eau du robinet, de la couche de sol superficiel, mais aussi des aliments[2].
- Milieux environnementaux : Les milieux environnementaux désignent l'air, les eaux souterraines, les eaux superficielles, les sols, les sédiments.
- Modifiable Areal Unit Problem (problème des unités géographiques modifiables) : Variabilité des résultats, sur les mêmes données et la même zone d'étude, selon la définition des unités spatiales d'analyse.
- Normalisation : Il s'agit de l'opération permettant de transformer la distribution d'une variable et d'ajuster une série de valeurs (représentant typiquement un ensemble de mesures, par exemple, une variable d'exposition) suivant une fonction de transformation pour comper un ensemble de variables initialement incomparables.
- Pondération : Dans le cas présent, elle correspond à un coefficient multiplicateur appliqué à un indicateur, ou à un sous-indice, afin de lui attribuer un certain poids statistique dans la constitution de l'indice.
- Population spécifique d'étude : Population pouvant être regroupée selon un critère (âge, sexe…) ou présentant une vulnérabilité ou des risques particuliers (personnes âgées, enfants…).
- Résolution géographique d'analyse : Niveau de détail géographique utilisé pour l'analyse (exemple : maille, IRIS, commune, canton…).
- Score de risque : Il s'agit d'une métrique regroupant des indicateurs et/ou des sous-indices de nature variée et qui fournit une information composite ou multiple des différentes dimensions du risque.

1 Freudenberg M: Composite indicators of country performance: a critical assessment. OECD Sci Technol Ind Work Pap 2003, 16:35

2 Bonnard R. Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle. DRC-08—94882-16675B, 2010.

- Spatialisation : Intégration de données dans un espace géographique soit par l'utilisation de référents géolocalisés soit par des méthodes calculatoires utilisant des représentations géométriques.
- Système d'Information Géographique (SIG) : Système informatique permettant, à partir de diverses sources, d'organiser, d'analyser, de combiner et de présenter des informations localisées géographiquement.
- Transfert : Migration de substances dissoutes ou non dans un ou plusieurs milieux (ex : à travers ou à la surface d'un sol, causée par l'eau, l'air et les activités humaines, ou bien par les organismes du sol).
- Valeur toxicologique de référence (VTR) : Valeurs permettant d'établir une relation entre une dose et un effet (effet à seuil de dose) ou une dose et une probabilité de survenue d'un effet (effet sans seuil de dose). Les VTR sont spécifiques d'un effet (généralement l'effet critique), d'une durée d'exposition (aiguë, subchronique ou chronique) et d'une voie d'exposition (orale ou respiratoire).

ABBREVIATION

AASQA : Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air
ACP : Analyse en Composantes Principales
ADEME : Agence Nationale de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ALD : Affection Longue Durée
ARS : Agence Régionale de la Santé
BASIAS : Base d'Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL : Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués
BD ETM : Base de Données Elément Trace Métallique
BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières
CGDD : Commissariat Général au Développement Durable
CIRCE : Cancer Inégalités Régionales Cantonales et Environnement
COPIL : Comité de Pilotage
COTEC : Comité Technique
CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DGFiP: Direction Générale des Finances Publiques
DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques
DJE : Dose Journalière d'Exposition
DREAL : Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIEE : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie
EHESP : École des Hautes Etudes en Santé Publique
ERS : Evaluation des Risques Sanitaires
ESP : Espaces de Santé de Proximité
ETM : Elément Trace Métallique
FNORS : Fédération Nationale des Observatoires Régionaux de la Santé
IAU : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme
ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement
IdF : Île-de-France
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
iREP : Registre Français des Emissions Polluantes
IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information statistique
IRSET : Institut de Recherche en Santé, Environnement et Travail
ITESS : Inégalités Territoriales, Environnementales et Sociales de Santé
ORS : Observatoire Régional de Santé
PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur
PLAINE : Plateforme d'Analyse des Inégalités Environnementales

PM : Particulate Matter
PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information
PNSE : Plan National Santé Environnement
POP : Polluant Organique Persistant
PPPI : Parc Privé Potentiellement Indigne
PRSE : Plan Régional Santé Environnement
RMQS : Base de données du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols
SIG : Système d'Information Géographique
SISE-Eaux : Système d'information en Santé-Environnement sur les Eaux
SNIIRAM : Système national d'information inter-régimes de l'Assurance maladie

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Démarche générale de construction des indicateurs composites de risque 17

Figure 2 : Définition des zones à proximité d'un site ou sol pollués ou potentiellement pollués dans l'agglomération de Nancy. (Action en Lorraine) 24

Figure 3 : Exemple de superposition de concentrations en Cd au niveau de points et de surfaces sur la zone d'étude. (Action en Lorraine) 24

Figure 4 : Exemple de schéma conceptuel autour d'une installation soumise à autorisation 25

Figure 5 : Schéma de modélisation utilisé pour le calcul de l'indicateur d'exposition au sol en Lorraine 28

Figure 6 : Carte représentant l'indice de disparité environnementales (Travaux Muriel Andrieu-Semmel et Emmanuelle Fiard/ARS-DSPE – Source : ARS PACA) 30

Figure 7 : Méthodologies de prise en compte des indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite du risque en Lorraine 31

Figure 8 : Visualisation sur Google Earth des points noirs construits. Les étiquettes présentent la combinaison des facteurs de risque considérés point noir (B : bruit, A : air, S : sol, E : eau). 32

Figure 9 : Méthodologies de prise en compte des indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite du risque en Rhône-Alpes 32

Figure 10 : Indicateur composite en RA visualisé à partir de la plateforme ORHANE – Source : ORHANE) 33

Figure 11 : Défaveur socio-économique (a) et distributions spatiales des concentrations de dioxyde d'azote (NO2, 2002-2009) fournies par ATMO Nord- Pas-de-Calais (b) sur l'agglomération de Lille. Source : EHESP 34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Constitution des groupes de travail associés aux études 16

Tableau 2 : Bases de données utilisées par les études 20

Tableau 3 : Approches adoptées pour la caractérisation des facteurs de risques 26

RESUME

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. La réduction des expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé et des inégalités environnementales constituent deux axes structurants du PNSE 3. Chaque région devra sélectionner, au regard des enjeux spécifiques sur son territoire, les actions qui répondent aux préoccupations majeures de santé environnementale de la population locale. Cette analyse aboutira à l'élaboration de PRSE 3 (Plans Régionaux en Santé Environnement) dont l'une des actions est de caractériser les inégalités environnementales en vue de définir les priorités d'une future politique publique de réduction des expositions.

Dans le cadre de l'action 38 du PNSE 3, dans laquelle l'INERIS est partie prenante, il est prévu de développer et diffuser, via une plate-forme commune, des méthodologies de référence au niveau national pour la caractérisation des inégalités environnementales déclinables localement, tenant compte des situations de vulnérabilité des populations. Dans le cadre de ses missions d'appui à la Direction Générale de le Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, l'INERIS est chargé de réaliser un bilan des différentes méthodologies mises en œuvre, en vue de leur réutilisation dans le cadre des prochains PRSE 3. A l'issue de l'analyse des réponses à un questionnaire (Annexe 1) proposé aux équipes impliquées dans une étude de caractérisation des inégalités environnementales en région (établissements publics, bureaux d'étude, équipes de recherche), le présent rapport constitue un retour d'expérience et permet d'illustrer à travers l'analyse des cinq études retenues, les différentes étapes clefs de construction du diagnostic pour l'identification des zones de surexposition. Il permet également d'identifier les difficultés rencontrées par les équipes, de repérer les axes d'amélioration et de favoriser le partage des connaissances entre les différents acteurs impliqués.

L'étude des inégalités environnementales qui consiste le plus souvent à identifier puis caractériser les zones de surexposition nécessite à la fois d'accéder à des données relatives aux nuisances et pollutions à une échelle fine du territoire ou de les reconstruire et d'élaborer une méthodologie entièrement nouvelle dans le cas de cumuls d'exposition mêlant substances toxiques et agents physiques. Les méthodes et outils d'analyse élaborés ces dernières années doivent intégrer les dimensions comportementale, démographique, géographique et temporelle, pour mieux définir les impacts sanitaires sur des territoires où se superposent diverses sources de pollution. L'application des principes du concept d'exposome territorialisé à l'évaluation de l'exposition peut permettre de répondre à ce besoin. La caractérisation de l'exposome territorialisé implique de développer des approches dynamiques, multidimensionnelles, longitudinales, des systèmes d'information promouvant et accompagnant la recherche dans le contexte des inégalités environnementales de santé et obligeant l'adoption de méthodes transdisciplinaires d'analyse des données.

1. INTRODUCTION ET OBJECTIF

1.1 DÉFINITION DES INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES

L'introduction de la notion d'inégalité environnementale en France au début des années 2000 dérive de celle d' « Environmental Justice » apparue aux Etats-Unis au début des années 80, reprise en Angleterre dans la seconde moitié des années 1990 et aujourd'hui partagée mondialement[3].

Cette notion a émergé comme levier d'action pour répondre au constat d'inégalités très fortes marquant des individus ou des groupes face aux dégradations de l'environnement. Le travail de Laigle[4] définit plusieurs composantes caractéristiques possibles de ces inégalités qui interrogent les liens entre l'environnement et la santé. L'inégalité environnementale y est définie comme une inégalité d'exposition à des risques, pollutions et nuisances, et une inégalité d'accès à des aménités environnementales, en précisant que les aménités et nuisances sont relatives à des cultures et des groupes sociaux. Les inégalités sont liées aux lieux et aux nuisances mais aussi à celles, plus individuelles, qui correspondent à la « capabilité » ou au dynamisme des personnes.

Le terme d'inégalité environnementale d'exposition exprime l'idée que les populations ne sont pas égales face aux pollutions, aux nuisances et risques environnementaux. Cette inégalité opère à différentes échelles (globale, régionale, locale) et ne s'appréhende pas par l'étude d'un seul milieu, mais par l'intégration de données de nature variée sur l'air, l'eau, les sols et l'alimentation. De plus, les facteurs de risques environnementaux sont multiples. Ainsi, à la potentielle surexposition aux substances chimiques sur un territoire, s'ajoutent celles liées au bruit, aux odeurs, aux facteurs physiques ou microbiologiques, d'origines anthropique ou naturelle.

1.2 PRISE EN COMPTE DANS LES POLITIQUES PUBLIQUES

En 2012, le Secrétariat général en charge des ministères sociaux (SGMAS) et le Commissariat général au développement durable (CGDD) ont partagé le constat d'un besoin de coordination et d'échange d'outils et de pratiques entre les services qui, dans les territoires, travaillent à la réduction des inégalités de santé, en agissant sur leurs déterminants sociaux et environnementaux[5]. À travers une série d'exemples dans des territoires divers, cette publication révèle les facteurs de succès et les limites rencontrées pour élaborer des diagnostics multidimensionnels complexes, et des coopérations exemplaires entre institutions. Notamment, cette enquête évoque le besoin d'une méthodologie d'identification et de caractérisation des inégalités territoriales environnementales et sociales de santé.

[3] Charles L. (2009). Inégalités environnementales, inégalités de santé. Air Pur 76, 3-4.

[4] Laigle L. Inégalités et développement urbain, Programme «Politiques territoriales et développement durable », rapport de recherche pour le PUCA – METATTM 2005.

[5] Besse G., Caudeville J., Michelot F. et al. Inégalités territoriales, environnementales et sociales en santé. Regards croisés en régions : de l'observation à l'action. Rapport : Ministère des affaires sociales et de la santé, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014, 68p.

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. La réduction des expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé et des inégalités environnementales constituent deux axes structurants du PNSE 3. Chaque région devra sélectionner, au regard des enjeux spécifiques sur son territoire, les actions qui répondent aux préoccupations majeures de santé environnementale de la population locale. Cette analyse aboutira à l'élaboration de PRSE 3 (Plans Régionaux en Santé Environnement) dont l'une des actions potentielles est de caractériser les inégalités environnementales en vue de définir les priorités d'une future politique publique de réduction des expositions.

Réduire les inégalités environnementales consiste à limiter les nuisances environnementales susceptibles d'induire ou de renforcer des inégalités de santé. Pour ce faire, il est nécessaire d'identifier les zones de surexposition des populations et leurs déterminants, de manière à identifier et prioriser les actions de prévention. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de méthodologie normalisée visant à les identifier. La construction d'indicateurs d'exposition permet cette hiérarchisation et l'analyse constitue un diagnostic pouvant être réalisé à différentes échelles spatiales. Dans ce contexte, l'évaluation de l'exposition peut fournir un cadre méthodologique permettant l'intégration des dimensions environnementales et comportementales relatives à l'exposition des populations.

Pour mieux lutter contre les inégalités environnementales, il est essentiel de mieux connaître les méthodologies sur lesquelles reposent leur caractérisation et de faire évoluer les pratiques pour la mise en œuvre de politiques de réduction de l'exposition. Dans le cadre de ses actions d'appui à la Direction Générale de le Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, l'INERIS est chargé de réaliser un rapport dans l'objectif d'identifier les différents méthodologies mises en œuvre pour caractériser les inégalités environnementales, en vue de leur réutilisation dans le cadre des prochains PRSE 3.

1.3 TYPES DE ZONES DE SUREXPOSITION ET ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Trois types de zones de surexposition peuvent à priori être distingués[6] :

- certaines zones sont spécifiques à un milieu. Elles disposent de mécanismes de gestion dédiée (ex. zones de dépassement des normes de qualité de l'air, masse d'eau en mauvais état chimique, sites et sols pollués, point noir du bruit, etc.). Dans ces zones, la priorité est donnée au respect des valeurs réglementaires et une gestion ad hoc est mise en place,
- sur d'autres zones, le risque est lié à des cumuls d'expositions provenant de différentes sources (air, eau, sol). Dans ce cas de figure, le risque est quantifiable, c'est-à-dire qu'il est possible d'établir un lien entre les données de pollution collectées et les propriétés des substances pour évaluer un effet sanitaire,

[6] Caudeville J., « Caractériser les inégalités environnementales » in Eloi Laurent (dir.), Vers l'égalité des territoires – Dynamiques, mesures, politiques, Rapport pour le Ministère de l'égalité des territoires et du logement, 2013.

La notion d'exposition agrégée est couramment utilisée pour définir l'exposition à une substance chimique via les différentes sources (aliments, eau, air, produits de consommation) et voies d'exposition (ingestion, inhalation, cutanée) dont elle peut être issue. Ainsi, le risque agrégé correspond au risque associé à l'exposition à une unique substance selon différentes voies. Pour ce type, le couplage des systèmes d'information géographique et des modèles d'exposition multimédia constitue l'approche privilégiée.

- Les zones pour lesquelles le risque peut être lié à un cumul d'exposition mêlant substances toxiques et agents physiques, mais difficilement quantifiable faute de méthodologie existante permettant la combinaison des facteurs de risque. Les approches développées dans les études caractérisent ce type de zone.

Les méthodes actuelles d'évaluation des risques considèrent chaque substance isolément. Elles ne permettent pas d'identifier les mélanges de substances auxquels l'homme est exposé et n'intègrent pas les interactions potentielles entre substances dans la manifestation de l'effet adverse. La notion d'exposition combinée ou co-exposition renvoie quant à elle à une exposition simultanée à plusieurs substances via une ou plusieurs voies d'exposition. La difficulté d'évaluer le risque lié à ces expositions combinées réside non seulement dans l'estimation des expositions, car cela nécessite d'identifier les combinaisons/mélanges de substances et les niveaux de contamination de l'ensemble de ces substances présentes dans les différents compartiments environnementaux, mais surtout dans la caractérisation des effets combinés de ces substances. Lorsque les substances d'un mélange n'opèrent pas de manière indépendante mais interagissent entre elles pour produire un effet synergique, antagoniste ou encore potentialisateur, l'hypothèse d'additivité des doses n'est plus valide. Sans la possibilité d'intégrer les relations entre doses et effet des différents facteurs de risque au niveau territorial, et leurs interrelations, des approches plus pragmatiques peuvent être mises en œuvre permettant l'intégration de la variété des facteurs de risque, des situations de transport et de transfert des polluants dans les compartiments environnementaux, dans les milieux d'exposition et aux différentes échelles spatiales (globale, régionale et locale) et temporelles.

1.4 DÉCLINAISON DU CONCEPT D'EXPOSOME DANS LES POLITIQUES PUBLIQUES

Le PNSE3 s'appuie sur la notion d'« exposome » apparue récemment[7] en partant du constat d'un déséquilibre de connaissance des gènes (génome) et celle de l'environnement. L'exposome représente l'ensemble des expositions couvrant la vie entière (incluant la période prénatale) qui peuvent influencer la santé humaine. Il comprend l'ensemble des facteurs de risque d'origine non génétique, à savoir les expositions chimiques, physiques et biologiques, le contexte psycho-social et les régulations du milieu intérieur. Ce constat pousse à des développements méthodologiques dans l'évaluation des expositions, afin d'avoir à disposition des méthodes de caractérisation de l'exposition environnementale d'un individu aussi précises que celles développées pour le génome. Deux approches conceptuellement différentes ont été identifiées pour caractériser l'exposome individuel. On retrouve clairement cette distinction dans le PNSE :

- l'approche descendante (dite top-down) utilise les mesures biologiques individuelles (par exemple, par prélèvements sanguins ou urinaires) afin de caractériser l'exposition individuelle ;

- l'approche ascendante (dite aussi bottom-up) part de l'identification de chaque source d'exposition externe (par exemple, l'air, le sol, la nourriture), de la mesure de contamination dans chacun des milieux et de caractéristiques individuelles (style de vie, consommation…) pour estimer l'exposition individuelle.

Cette approche renvoie aux méthodes employées usuellement en expologie (la modélisation multimédia, notamment). Elles portent sur la connaissance d'expositions spécifiques dans l'environnement, sur l'amélioration des modèles et l'accessibilité des données, sur les études multi-expositions et sur les inégalités environnementales.

Le PNSE 3 rappelle que la notion « implique un changement de paradigme et de prendre en considération toutes les sources de pollution ou d'exposition susceptibles de concourir à l'altération de la santé des individus ». Ce concept initialement développé pour des approches individuelles dans un cadre épidémiologique n'est pas directement applicable dans le cadre de la caractérisation des inégalités environnementales appliquées sur des populations et des territoires. Les évaluateurs de risques doivent caractériser des risques cumulatifs plus larges et plus complexes et développer dans le même temps des outils et des méthodes à la fois robustes et simplifiées pour faciliter la mise en place d'actions adaptées. La notion d'exposome doit devenir opérationnelle pour permettre son intégration dans le cadre de la caractérisation des inégalités environnementales qui s'appuie principalement sur la réutilisation de données produites initialement dans un autre cadre que celui de caractériser l'exposition.

[7] Wild CP: Complementing the genome with an "exposome": the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005, 14:1847–50.

L'« exposome territorialisé » correspond ainsi à l'application du concept d'exposome au contexte de la caractérisation des inégalités environnementales. Il permet une flexibilité suffisante à la construction d'indicateurs d'exposition intégrant différents facteurs de risque à travers la recherche du meilleur compromis entre robustesse scientifique et opérationnalité de gestion. Pour ce faire, l'évaluation des expositions doit désormais être conçue de manière décloisonnée et dynamique. La caractérisation des inégalités nécessite à la fois d'accéder à des données relatives aux nuisances et pollutions à une échelle fine du territoire ou de les reconstruire et d'élaborer des méthodologies entièrement nouvelles dans le cas de cumuls d'exposition de nature chimique, physique, biologique, et aussi de tenir compte du contexte psychologique et socio-économique des populations. La caractérisation de l'exposome territorialisé implique de développer des approches dynamiques, multidimensionnelles, longitudinales, des systèmes d'information promouvant et accompagnant la recherche dans le contexte des inégalités environnementales de santé et obligeant l'adoption de méthodes transdisciplinaires pour l'analyse des données.

1.5 OBJECTIFS

Pour mieux lutter contre les inégalités environnementales, il est essentiel de faire évoluer les pratiques pour la mise en œuvre de politiques de réduction de l'exposition. Dans le cadre de l'action 38 du PNSE 3, dans laquelle l'INERIS est partie prenante, il est prévu de développer et diffuser, via une plate-forme commune, des méthodologies de référence au niveau national pour la caractérisation des inégalités environnementales déclinables localement, tenant compte des situations de vulnérabilité des populations. Dans le cadre de ses missions d'appui à la Direction Générale de le Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, l'INERIS est chargé de réaliser un bilan des différentes méthodologies mises en œuvre, en vue de leur réutilisation dans le cadre des prochains PRSE 3. A l'issue de l'analyse des réponses à un questionnaire proposé aux équipes impliquées dans une étude de caractérisation des inégalités environnementales en région (établissements publics, bureaux d'étude, équipes de recherche), le présent rapport constitue un retour d'expérience et permet d'illustrer à travers l'analyse des cinq études retenues, les différentes étapes clefs de construction du diagnostic pour l'identification des zones de surexposition. Il permet également d'identifier les difficultés rencontrées par les équipes, de repérer les axes d'amélioration et de favoriser le partage des connaissances entre les différents acteurs impliqués.

2. ANALYSE DES ÉTUDES D'INTÉRÊT

Les études relatives à l'identification des zones de surexposition ont été identifiées et analysées via des contacts avec des personnes ressources, au sein des équipes identifiées. Cinq études ont été identifiées :

- L'état des lieux des "points noirs" environnementaux en Lorraine
- Les inégalités environnementales de santé des territoires en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

- L’identification des points noirs environnementaux afin de réduire les zones de cumul d’exposition prioritaires en région Ile-de-France
- Le projet Equit’Area sur six grandes agglomérations françaises
- La Consolidation de la connaissance disponible en terme de bruit et de qualité de l’air afin d’identifier les populations les plus exposées en région Rhône-Alpes

Un questionnaire a été élaboré à leur intention dans l’objectif de recueillir des informations sur les diagnostics correspondant à la caractérisation des inégalités environnementales permettant de déterminer les actions prioritaires, réalisés au niveau régional, prenant en compte les déterminants environnementaux et, au-delà, la vulnérabilité des populations. L’objectif était également d’identifier les facteurs de réussite, les freins et de mesurer les besoins et attentes sur la phase de diagnostic pour favoriser la mise en œuvre d’actions.

2.1 DESCRIPTION GENERALE DES ÉTUDES

La majorité des travaux s’inscrit dans le contexte des PRSE et a eu principalement pour objectif de cartographier des indicateurs de cumuls d’exposition. L’exercice d’identification des zones de surexposition se propose de répondre à la question suivante : quelles sont les zones de cumul de risque dont il faut réduire prioritairement les expositions?

En Région Lorraine, une des actions du PRSE 2, pilotée par l'Etat en région, (Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement – DREAL et l'Agence Régionale de Santé -ARS) et le Conseil Régional de Lorraine, était d’identifier les points noirs environnementaux, afin de mettre en œuvre un programme d’actions ciblées. Pour ce faire, et à la demande du COmité de PILotage (COPIL) du PRSE, un état des lieux, en région Lorraine, des polluants affectant l’eau, l’air et le sol, et considérant l’exposition au bruit, a été mené afin d’élaborer un indicateur composite de risque. L’étude a été réalisée par l’INERIS à partir de l’outil PLAINE (Plateforme d’Analyse des Inégalités Environnementales), la plateforme intégrée pour la cartographie de l’exposition des populations aux substances chimiques.

En Rhône-Alpes (RA), l’action menée par le CEREMA a abouti à la création d’un observatoire régional des points noirs environnementaux air et bruit. L'objectif est d'élaborer un outil commun de façon à mutualiser les données d’entrée permettant de construire une cartographie modélisée des « points noirs environnementaux » et à faciliter la prise en compte croisée des thématiques « air » et « bruit » dans les plans d’actions. Cet observatoire pourra permettre d’identifier les actions à prioriser sur ces zones à enjeux.

L’action 6 du PRSE2 en **Île-de-France (IdF)**, pilotée par l’Observatoire régional de santé d’Île-de-France, consistait à identifier les points noirs environnementaux (PNE) et favoriser l’accès au public des informations relatives aux PNE. Elle a été réalisée par l’Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Île-de-France (IAU) qui devait révéler les inégalités environnementales (objectives et subjectives) à l’échelle de l’Île-de-France et mettre en relief les facteurs qui contribuent à la formation de telles inégalités.

L'étude réalisée en **Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA)** visait à élaborer des outils de description des inégalités de santé liées à l'environnement, afin d'intégrer ce nouvel axe de réflexion dans le cadre de la planification et de la mise en œuvre des politiques en santé publique, à différentes échelles du territoire, en région. Elle s'inscrit dans deux cadres de travail aux orientations communes : le PRSE et le projet régional de santé de l'ARS PACA, dans l'axe stratégique de réduction des inégalités de santé.

Le projet de recherche **Equit'Area** de l'EHESP a pour objectif général d'étudier la contribution d'expositions environnementales cumulées aux inégalités sociales de santé sur de grandes agglomérations françaises. Le projet Equit'Area utilise un design d'étude écologique de type géographique conduit à l'échelle de l'IRIS[8] et se veut également aussi une plateforme pour éclairer l'action publique qui chercherait à réduire ces inégalités sociales de santé. Ce projet s'inscrit en dehors d'un cadre de PRSE.

2.2 PROCESSUS GÉNÉRAL

Pour la plupart des études, quatre grandes étapes ressortent du processus de d'élaboration :

- la définition des objectifs, le partage des différents concepts et les orientations sur les différents facteurs de risque d'intérêt à intégrer,
- l'inventaire et l'analyse des données pour la constitution des indicateurs,
- le traitement des données,
- la construction des indicateurs.

L'ensemble de ces étapes n'est pas réalisé de manière chronologique mais de manière itérative pour permettre une adéquation entre les objectifs, les données disponibles et les méthodes mises en œuvre.

L'objectif des études étant d'identifier des priorités pour une future politique publique de réduction de l'exposition, ces indicateurs doivent être :

- conceptuellement clairs,
- construits à partir d'éléments mesurés/modélisés,
- synthétiques par rapport aux types de risque caractérisés,
- méthodologiquement simples et transparents,
- faciles à interpréter.

La stratégie globale consiste à faire converger les objectifs initiaux et le traitement des données disponibles pour la construction d'indicateurs respectant le meilleur compromis entre robustesse scientifique, opérationnalité pour le gestionnaire et clarté pour le public.

[8] IRIS : Abrégé de « Îlots Regroupés pour l'Information Statistique ». C'est une unité géographique infra-communale créée par l'INSEE à l'occasion du recensement de la population française de 1999. L'IRIS est la plus petite unité pour laquelle l'INSEE fournit des données statistiques détaillées. Il regroupe en moyenne 2 000 habitants, ce qui est souvent considéré comme l'échelon de base pour les analyses statistiques géographiques.

2.3 DÉFINITION DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La difficulté d'une part, d'estimer des effets sur la santé découlant de l'exposition à de multiples facteurs de risques environnementaux et le constat d'autre part des carences de données permettant une représentativité spatio-temporelle suffisante des phénomènes, entrainent la nécessité de simplifier les approches et de poser des hypothèses supplémentaires pour rendre possible l'évaluation. Le choix d'une méthode basée sur des hypothèses simplificatrices doit alors être guidé par les besoins de gestion. Dans cet esprit, la démarche de construction d'indicateurs d'exposition nécessite l'assistance d'un groupe de travail idéalement constitué de producteurs/gestionnaires de données, d'experts thématiques et de gestionnaires régionaux de l'environnement et de la santé (Tableau 1), associé dans le cadre d'un comité de pilotage (COPIL), d'un comité technique (COTEC) ou de partenaires du projet. Ce groupe facilite la définition des objectifs de l'étude, la collecte des données, la sélection des facteurs de risque, le contrôle du suivi de l'adéquation du processus de construction du diagnostic avec les objectifs initiaux de l'étude, la validation des résultats de l'étude et l'apport de toutes les informations nécessaires au bon déroulement de l'étude.

Tableau 1: Constitution des groupes de travail associés aux études

	Partenaires associés, COPIL, COTEC
PACA	DREAL, BRGM, ARS, AASQA, ORS,
IdF	DRIEE, ARS, IAU Île-de-France, Bruitparif, Airparif
Equit'Area	AASQA, CSTB, Bruitparif, INSERM, IRSET
Lorraine	Préfecture, région, ARS, DREAL, DIRECTE, BRGM, Air Lorraine, INERIS
RA	DREAL, région, ARS, Collectivités, DIRCE, SNCF

Dans tous les cas, la définition ou le type de zones de surexposition doivent être précisés par rapport aux questions posées, au contexte régional et aux thématiques d'intérêt définies soit durant le processus de construction du PRSE soit par le COPIL du projet. Un agenda flexible permet également d'articuler le phasage temporel des différentes grandes étapes de l'étude. Il permet d'évaluer les potentielles dérives et de réajuster les efforts sur les aspects les plus essentiels en respectant le principe de parcimonie. Après la définition des objectifs conceptuels, une deuxième étape consiste à définir des objectifs opérationnels adaptés.

2.4 DÉMARCHE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION DES INDICATEURS

En France, des bases de données en santé et environnement ont été développées. La production de ce type de données et les avancées technologiques de l'informatique permettent leur réutilisation dans des cadres conceptuels et avec des objectifs différents de ceux qui ont prévalu à leur mise en place pour caractériser des sources de pollution, la qualité des milieux environnementaux et la contamination des milieux d'exposition. L'utilisation de ce type de données, constituant des photographies de la contamination de l'environnement à un temps donné et en un espace donné, permet de reconstruire l'exposition des populations. L'INERIS a rédigé un rapport[9] sur l'inventaire et l'analyse des bases de données nationales. Ce rapport présente la logique de construction de la liste des bases de données, des illustrations de leur utilisation et de traitement dans un cadre d'expologie. Le recensement des bases de données locales et régionales sera réalisé en 2016.

Les données disponibles ne fournissent pas directement d'information sur l'exposition des populations qui implique des transferts d'agents à partir d'une source vers des individus à travers un milieu environnemental.
Dans ce type d'approche, les données caractérisant les sources et les concentrations environnementales sont utilisées pour construire des indicateurs d'exposition aux agents physiques, chimiques et biologiques sur les territoires considérés.

Pour ce faire, les méthodes utilisées consistent à intégrer et traiter les bases de données géoréférencées environnementales existantes pour construire des indicateurs combinant différentes dimensions du risque permettant l'identification des zones de surexposition.
Pour exemple, la démarche de construction des indicateurs composites du risque en Lorraine est présentée dans la Figure 1. L'ensemble de ces étapes ne sont pas déclinées systématiquement dans les autres études mais sont implicites ou regroupées dans des phases de traitement simplifiées.

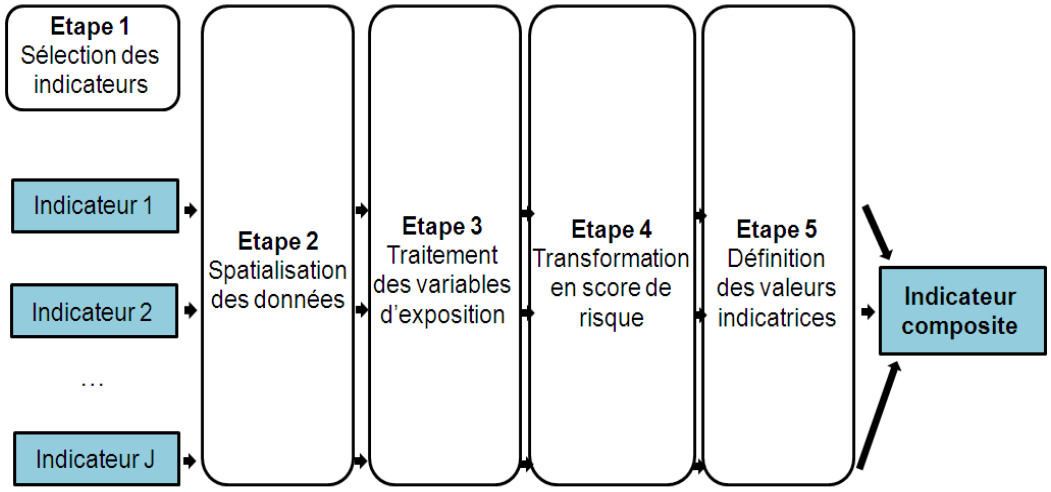

Figure 1 : Démarche générale de construction des indicateurs composites de risque

[9] Caudeville J. Caractérisation des inégalités environnementales : Inventaire des bases de données nationales environnementales et spatialisées. INERIS-DRC-15-152407-11231B, 2015.

Les étapes de construction d'indicateurs sont principalement réalisées dans des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) qui constituent des outils particulièrement adaptés pour le traitement et la construction de variables d'exposition.

2.5 INVENTAIRE, ANALYSE ET ACQUISITION DES BASES DE DONNÉES

Dans certains cas, les initiateurs de l'étude avaient une bonne connaissance des données disponibles pour répondre aux objectifs opérationnels. Dans d'autres cas, un inventaire préliminaire des bases de données environnementales existantes au niveau régional et national a été préalablement réalisé pour fournir une lisibilité sur le type de sources d'informations spatialisées disponibles et intégrables dans un SIG.

Ces inventaires s'attachent à sélectionner les bases de données permettant la construction des indicateurs sur la base de différents critères :

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

Sur la base de ces inventaires préliminaires, une analyse des bases de données peut être effectuée afin d'évaluer leur adéquation avec les objectifs du projet. Au regard des contraintes des études et par rapport au contexte régional, la présélection de polluants doit correspondre au meilleur compromis entre disponibilité, représentativité des données et toxicité de la substance (Tableau 2). Suite à cette étape, le choix des facteurs de risque à étudier et du type de données à considérer est fixé. Des indicateurs plus pragmatiques, comme les indicateurs de source, ou la proximité à des sites potentiellement pollués sont intégrés pour pallier le manque de données et caractériser des zones de risque potentiel. La collecte de données non disponibles sous forme de base informatique spatialisée est généralement exclue des études, au regard des délais impartis.

Certains facteurs de risque, comme le radon par exemple **en Lorraine**, initialement intégrés dans le cahier des charges sont exclus de l'étude en raison de la non mise à disposition des données par les gestionnaires des bases de données. De même, les données relatives aux plans de surveillance, non homogènes et centralisées au sein d'une même base de données, pour des raisons de temps de traitement ou d'homogénéisation, peuvent ne pas être prises en compte. Le choix d'un type de données par rapport à un autre induit différents biais qu'il convient de maîtriser ou, au moins de discuter dans l'interprétation des résultats.

Après l'inventaire des différents types de sources d'informations spatialisées disponibles et la sélection des facteurs de risque de l'étude et du type de données à considérer, la phase d'acquisition de données débute.

Pour l'étude menée **en région PACA**[10], la phase de collecte a mobilisé un temps très variable, selon le type de données exploitées, du fait de l'accessibilité des données au-delà de la nature des traitements opérés : données directement en ligne, signature d'un conventionnement, mise à disposition gracieuse.

[10] Les inégalités environnementales de santé des territoires en région PACA (IEST – PACA). Analyses Recherches et Statistiques PACA. Dossier N°20 – décembre 2014.

A l'issue de ce travail, plusieurs limites ont été relevées dans la perspective d'un approfondissement ou d'une actualisation de ces travaux :

- le choix opéré dans les données : certaines données comme le SO_2 ont été écartées en première approche car elles sont non-discriminantes au niveau régional. En effet, cet indicateur, s'il était jusqu'en 2009 un bon traceur de l'activité de la région de l'étang de Berre très fortement industrialisée, a perdu de son intérêt à partir de 2010, date à partir de laquelle plus aucun dépassement des valeurs sanitaires n'est constaté, suite à la mise en œuvre de mesures de réduction des émissions adaptées,
- la dispersion des organismes détenteurs des données,
- la disponibilité, immédiate ou non, des données,
- le décalage entre les informations qui seraient utiles à documenter les inégalités de santé et les informations effectivement consignées dans les bases de données, du fait de leur vocation opérationnelle,
- les critères de confidentialité conduisant à la secrétisation de certaines données (données Filocom[11]),
- la qualité des données : précision, constance de la typologie des données, régularité de la collecte, fréquence d'actualisation, complétude.

En Rhône-Alpes, la qualité des données et le degré de fiabilité ont été analysés au regard des objectifs de modélisation. En particulier, un travail important a été réalisé de sélection des données de trafic des infrastructures routières issues de comptages, du classement sonore des voies et de sélection des modèles de trafic routier au niveau local.

[11] Base de données sur les logements et leur occupation.

Tableau 2 : Bases de données utilisées par les études

Etude	Données concernées	Nom	Niveau	Exposition caractérisée	Gestionnaire
Lorraine	Bruit	Classement sonore et carte de bruit stratégique	Compartiment environnemental	Bruit, LDEN	Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM)
	Sol	BASOL	Site de contamination	Les principaux, description de leur potentielle présence	MEDDE/ alimenté par DREAL
		Plan d'épandage	Compartiment environnemental	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Chambre d'agriculture
		RMQS, BDETM	Compartiment environnemental	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	GIS SOL, INRA, ADEME
	Eau	Sise'Eaux	Milieu d'exposition	Quelques centaines de polluant et conformité bactériologique	ARS/DGS
	Air	Inventaire des émissions	Source d'émission	ETM, HAP, Benzene, dioxines,PCB, HF, HCl	Air Lorraine
		Modélisation à l'échelle urbaine et régionale	Compartiment environnemental	NO2, PM10, PM2.5, O3	Air Lorraine
PACA	Air	Modélisation à l'échelle urbaine et régionale	Compartiment environnemental	NO2, O3, PM10	Air PACA
	Eau	Sise'Eaux	Milieu d'exposition	Pesticides et conformité bactériologique	ARS/DGS
	Sol	BASIAS	Site de contamination	Recensement des données historique des anciens sites industriels et activités de service	BRGM
		BASOL	Site de contamination	Les principaux, description de leur potentielle présence	MEDDE/ alimenté par DREAL
	HABITAT	FILOCOM	Source de contamination	Parc Privé Potentiellement Indigne	CGDD/SOeS
Equit Area	AIR	Modélisation à l'échelle urbaine	Compartiment environnemental	NO2	AASQA
RA	Air	Modélisation à l'échelle urbaine et régionale	Compartiment environnemental	NO2, PM10	Air Rhône-Alpes
		Inventaire des émissions	Source d'émission	NO2, PM10	Air Rhône-Alpes
	Bruit	Carte de bruit stratégique	Compartiment environnemental	Bruit, LDEN	Acoucité
IdF	Air	Modélisation à l'échelle urbaine et régionale	Compartiment environnemental	PM10, PM2.5, O3, NO2 et benzène	AirParif
	Bruit	Classement sonore et carte de bruit stratégique	Compartiment environnemental	Bruit, LDEN	Bruitparif
	Sol	BASOL	Site de contamination	Les principaux, description de leur potentielle présence	MEDDE/ alimenté par DREAL
	Eau	Sise'Eaux	Milieu d'exposition	Nitrates, fluorures, pesticides et conformité bactériologique	ARS/DGS

3. TRAITEMENT DES DONNÉES

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

3.1 ECHELLES ET RÉSOLUTIONS SPATIALES D'ANALYSE

Le constat en matière d'inégalités environnementales pose un certain nombre de questions, ne serait-ce que par l'évaluation de ce type d'inégalités qui ne correspond pas à la métrique statistique assise sur les divisions administratives incapables de saisir les phénomènes environnementaux. Une approche territoriale, qui revient à un découpage administratif, se révèle peu adaptée à l'évaluation des nuisances environnementales et pose la question de l'échelle pertinente et du choix entre une logique d'aménagement du territoire (ex. région, ville, etc.) et une logique phénoménologique qui considère les compartiments environnementaux comme des ensembles homogènes et cohérents (ex. bassin). Au-delà même de ces considérations épistémologiques, les échelles d'analyse doivent être en adéquation avec les échelles de gouvernance pour assurer leur opérationnalité et leur intégration au niveau décisionnel[12]. Ainsi le choix de l'échelle étudiée, ici régionale, conditionne de nombreux choix, notamment sur les sources de données pertinentes. De même, aux zones d'étude sont associés des contextes économiques spécifiques et des impacts environnementaux associés influençant les facteurs de risque ou les indicateurs à retenir.

Les niveaux géographiques des données mises à disposition peuvent varier selon le support spatial sur lequel est collectée l'information. La plupart du temps, des transformations sont effectuées pour construire les variables à introduire dans le SIG. Elles consistent principalement à homogénéiser, agréger ou désagréger les données, afin d'obtenir des valeurs assignées à l'unité spatiale de l'étude. Il est alors nécessaire de définir une base uniforme à la cartographie et à l'analyse spatiale pour :

- refléter les variations locales du phénomène étudié,
- minimiser le besoin de transformation spatiale des données entre les différentes unités spatiales et limiter ainsi les degrés d'approximation.

Un cadastre avec une résolution fine (200 m par exemple sur des échelles régionales) permet une meilleure appréhension des variations locales du phénomène étudié. Un cadastre avec des résolutions plus larges (1 km ou 5 km de côté) entraîne un lissage des hétérogénéités.

En Rhône-Alpes, les résolutions sont de 10 m² pour les plus fines. Les variables sont également agrégées sur les différents niveaux administratifs (commune, département, région).

[12] Caudeville J., « Caractériser les inégalités environnementales » in Eloi Laurent (dir.), Vers l'égalité des territoires – Dynamiques, mesures, politiques, Rapport pour le Ministère de l'égalité des territoires et du logement, 2013.

En Lorraine, les paramètres de résolution des cartes ont été discutés avec le COPIL. Un maillage de 200 m de côté à été sélectionné permettant une précision suffisante pour l'identification des zones de surexposition et d'intégrer le contour des communes dans la carte de représentation de l'indicateur de risque composite.

En Ile-de-France, la résolution d'analyse est de 500 m de côté.

En PACA, le niveau spatial d'analyse correspond au découpage de la région en 133 zones correspondant aux Espaces de santé de Proximité (ESP), inspirés des cantons regroupés de la Fédération Nationale des Observatoires Régionaux de la Santé (FNORS). Ce découpage correspond au besoin des gestionnaires de Schéma Régional d'Organisation des Soins de disposer de territoires affinés (infra-départementaux), afin d'étudier avec une précision et une pertinence accrues des phénomènes parfois très localisés.

Dans l'étude **Equit'Area** qui concerne 6 grandes agglomérations métropolitaines, la résolution d'analyse correspond aux « Îlots Regroupés pour l'Information Statistique » (IRIS), unité géographique infra-communale créée par l'INSEE à l'occasion du recensement de la population française en 1999. L'IRIS est la plus petite unité pour laquelle l'INSEE fournit des données statistiques détaillées. Elle est donc la résolution la plus fine pour la construction des indicateurs socio-économiques de l'étude. Par ailleurs, cette résolution correspond au niveau géographique le plus large du projet Equit'Area, son utilisation ne nécessite donc aucune transformation géographique supplémentaire, ce qui a guidé le choix la résolution.

Le choix de l'unité géographique peut considérablement influer sur les résultats d'analyse, appelé problème de l'unité géographique modifiable (Modifiable Areal Unit Problem - MAUP), défini comme la variabilité des résultats sur les mêmes données et la même zone d'étude, entraîne deux effets statistiques sur les valeurs des données spatiales. Le premier est un effet d'échelle défini comme les variations que subissent les données lorsque l'on change de niveau d'observation. Le second effet statistique, appelé effet de zonage, intervient quant à lui lorsque l'on change la forme de ces unités spatiales, et souligne ainsi le rôle des découpages territoriaux sur les résultats.

L'analyse des structures spatiales des données et des résolutions des couches spatiales obtenues permet la caractérisation des échelles de variabilité locale et régionale des phénomènes étudiés. L'existence de différentes échelles spatiales d'analyse selon les bases de données entraine une hétérogénéité des résolutions à intégrer. Un enchevêtrement de supports géographiques issus de l'intersection de l'ensemble des couches permet de conserver l'intégrité des hétérogénéités locales.

Différents systèmes zonaux de référence sont définis en fonction des différents objectifs d'utilisation des résultats et sur lesquels l'ensemble des indicateurs est discrétisé et agrégé :

- l'enchevêtrement des résolutions d'analyse : permet de conserver l'hétérogénéité des variabilités locales ;
- le carroyage (maille régulière) : favorise l'opérationnalité de l'étude au niveau décisionnel pour la mise en œuvre d'un programme d'actions ciblées ;
- le niveau administratif : favorise la communication au public.

3.2 SPATIALISATION DES DONNÉES

Pour permettre leur combinaison, l'ensemble des indicateurs doit être agrégé sur un support géographique commun, la résolution d'analyse ou grille de référence, permettant d'associer les contours géographiques à une table dans laquelle les variables d'intérêt sont décrites. Différents types de méthodes spatiales peuvent être utilisés en fonction du type de données et du support géographique sur lesquelles les informations sont associées. Les points, les lignes et les polygones constituent les couches d'information géographique qui peuvent être superposées dans un Système d'Information Géographique (SIG).

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

$$I_M = \frac{\sum_m I_m \times s_{mM}}{s_M}$$

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

I_m : Indicateur sur la résolution initiale m,

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

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

La proximité des populations à des sources polluantes, construite à partir des bases de données Basias et Basol, est systématiquement analysée dans les cas étudiés à l'aide de la méthode des « buffers ». Basée sur l'estimation d'un rayon d'influence autour d'une source de contamination, cette méthode a permis de construire une information géographique de présence de source sur des unités géographiques considérées « sous l'influence des sources» avec celles ne l'étant pas (Figure 2). La diversité des sites et le manque d'informations disponibles dans les bases de données, imposent de choisir une taille de rayon calibrée au regard d'une dispersion représentative de la contamination de l'ensemble de ces sites. Un rayon trop large a tendance à lisser la variabilité des indicateurs construits, tandis qu'un rayon trop restreint renforce les hétérogénéités.

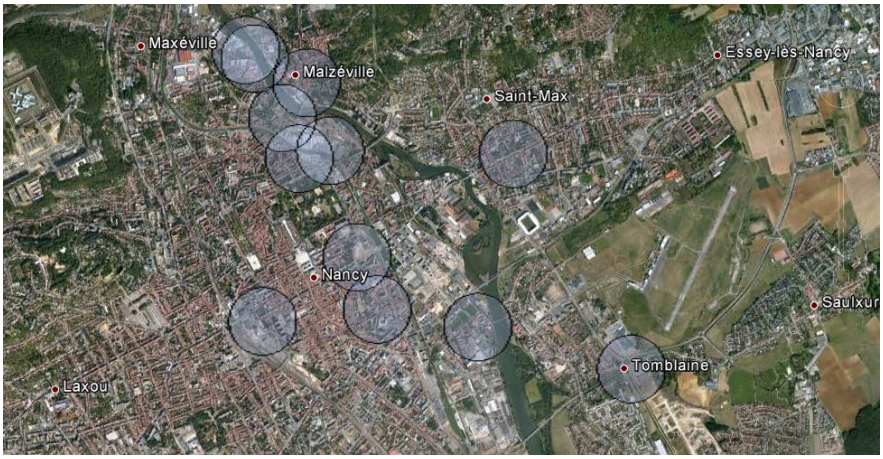

Figure 2 : Définition des zones à proximité d'un site ou sol pollués ou potentiellement pollués dans l'agglomération de Nancy. (Action en Lorraine)

Les objets géographiques constituent la dimension spatiale de l'information, et la dimension attributaire des données est renseignée dans des tables indissociables des objets graphiques dans le SIG. Par un mécanisme de jointure et grâce à un identifiant unique qui sert de clef, les informations environnementales peuvent être jointes aux informations intégrées dans le SIG. Ainsi, les données de concentration dans les eaux de distribution de la base Sise'Eaux ont été associées aux unités de distribution qui desservent les populations au niveau communal **en Lorraine et en PACA**.

En Lorraine, une base de données a été constituée rassemblant environ 8 000 résultats d'analyses pour chacun des polluants (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn) répartis de manière hétérogène sur l'ensemble de la région (Figure 3). Pour les données de concentration dans les sols, géoréférencées à partir des coordonnées des points d'échantillonnage, des méthodes d'interpolation spatiale ont été mobilisées. Le krigeage est un algorithme d'interpolation en géostatistique permettant d'estimer les concentrations là où elles n'ont pas été mesurées, en prenant en compte la variabilité spatiale décrite par le modèle ajusté. Les méthodes géostatistiques présentent l'avantage d'associer aux cartes d'estimation une carte de variance de l'erreur d'estimation appelée variance de krigeage.

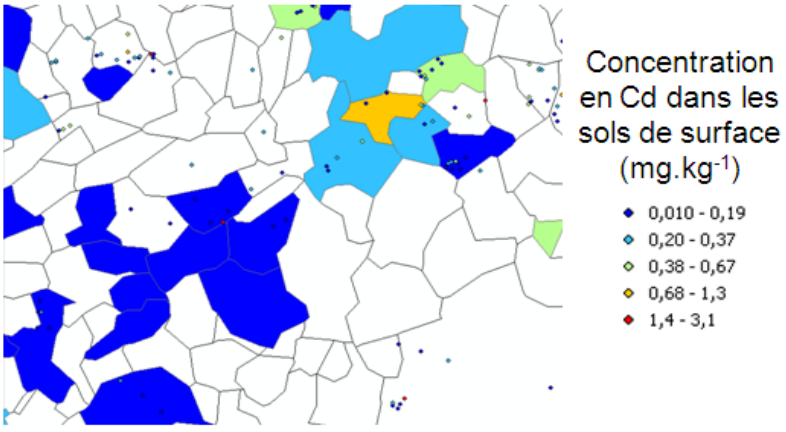

Figure 3 : Exemple de superposition de concentrations en Cd au niveau de points et de surfaces sur la zone d'étude. (Action en Lorraine)

De manière générale, différentes approches peuvent être abordées pour construire ou traiter des variables selon les objectifs de l'étude et le type de données disponible par le développement de techniques d'analyse spatiale ou l'exploitation de covariables. Ces quelques exemples précédents présentent des méthodes d'analyse spatiale simples mais permettant la construction de variables spatialisées pertinentes pour l'analyse. Un prochain rapport sera publié en 2016 sur des méthodes de traitement de données spatiales plus sophistiquées.

3.3 TRAITEMENT DES VARIABLES D'EXPOSITION

Cette étape consiste à transformer les bases de données environnementales spatialisées en variables d'exposition. Trois niveaux d'approche correspondant au niveau du schéma conceptuel d'exposition (Figure 4) peuvent être envisagés, au vu des données disponibles :

- la caractérisation de la contamination des milieux,
- la quantification de l'exposition à travers la démarche d'évaluation des risques,
- la détection de zones à risque par la construction d'indicateurs de contexte. Cette troisième approche, construite à partir de données de source, permet d'intégrer une information plus qualitative.

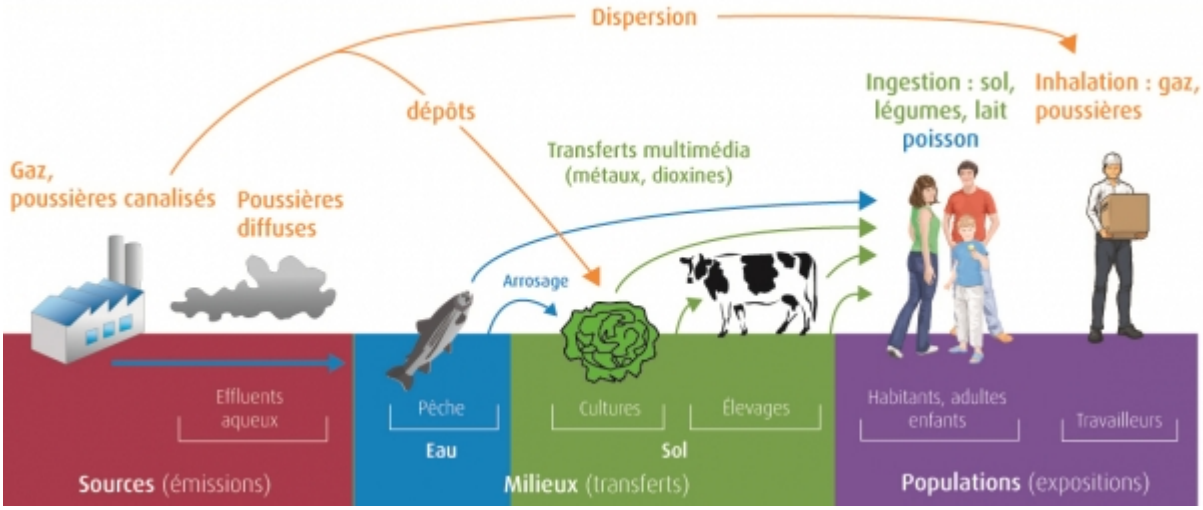

Figure 4 : Exemple de schéma conceptuel autour d'une installation soumise à autorisation

Le *Tableau 3* présente les différentes approches adoptées dans les études analysées pour caractériser les facteurs de risques ou compartiments environnementaux d'intérêt.

Tableau 3 : Approches adoptées pour la caractérisation des facteurs de risques

Facteur de risque ou compartiment environnementale	**Lorraine**	**IdF**	**RA**	**Equit'Area**	**PACA**
Air	Source d'émission et concentration dans l'air	Concentration dans l'air	Concentration dans l'air	Source d'émission et concentrations dans l'air	Concentration dans l'air
Eau	Milieu d'exposition	Milieu d'exposition			Milieu d'exposition
Sol	Source de contamination et évaluation de l'exposition	Source de contamination			Source de contamination
Bruit	Exposition	Exposition	Exposition		
Habitat					Source d'exposition

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

Pour la quasi-totalité des études, des indicateurs d'exposition ont été estimés par l'utilisation de données de géolocalisation des sources (sol, air, ICPE). La présence, l'absence ou le nombre de sites pollués ou de sources polluantes constituent les indicateurs les plus simplifiés et doivent être interprétés comme une approximation de la densité des sources. Un simple comptage du nombre de sites peut dissimuler de grandes variations des expositions réelles et potentielles. Pour les rejets atmosphériques, les risques sanitaires sont mieux appréhendés en utilisant les quantités émises par les sites polluants.

En Lorraine, le cumul des émissions a été estimé au niveau de la grille de référence sur la base d'un score correspondant à la somme des quantités de polluants émis pondérés par un coefficient relatif à la toxicité des substances défini par l'US EPA.

En PACA, l'indicateur Parc Privé Potentiellement Indigne (PPPI) a été utilisé pour caractériser l'exposition relative aux sources domestiques. Le PPPI est un outil de pré-repérage des logements indignes qui permet de hiérarchiser les territoires en fonction du nombre et de la densité du PPPI de chacun, et de caractériser les situations d'habitat indigne.

<u>Compartiment atmosphérique (Lorraine, IdF, RA, PACA, Equit'Area)</u>

Le compartiment atmosphérique est celui qui a le plus fait l'objet de travaux. Dans le cadre de l'application des directives sur la qualité de l'air (2008/50/CE et 2004/107/CE), la surveillance est réalisée sur tout le territoire par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) réparties au niveau régional. L'identification des zones de dépassement repose sur la combinaison de données journalières d'observation et de modélisation.
Ces approches utilisent la modélisation déterministe de la dispersion atmosphérique des contaminants, pour prédire les concentrations sur l'ensemble des zones considérées. Ces modèles déterministes peuvent nécessiter un grand nombre de données d'entrée : caractéristiques de site, données météorologiques et données d'émission. Toutefois, les estimations disponibles correspondent aux polluants réglementaires suivis (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2), ce qui constitue un nombre de paramètres très limité.
La variable est caractérisée en termes d'exposition moyenne sur une période (lorsqu'on calcule par exemple la moyenne annuelle de la concentration d'une substance sur une ou plusieurs année) ou l'exposition à des 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).

Eau de consommation (Lorraine, IdF, PACA)

Pour l'eau de consommation, l'approche a consisté à identifier les zones pour lesquelles sont observés des paramètres non conformes pour une consommation régulière de la population sur la base de règle de dépassement de critères de potabilité. L'utilisation de cette approche permet de pallier les biais d'utilisation des concentrations directes des substances dans le cadre d'une évaluation de l'exposition classique (concentrations inférieures aux limites de quantification, représentativité temporelle, nombre de paramètre à prendre en compte, mélange des eaux réalisé à différents niveaux du réseau). On peut ainsi construire une métrique basée sur le comptage des non conformités des différents paramètres suivis dans la base SISE'Eaux sur chacune des zones d'études.

Sol (Lorraine)

L'INERIS a développé ses propres outils à partir des équations disponibles dans la littérature pour évaluer les niveaux d'exposition et de risque à partir de contamination environnementale[13]. L'outil de modélisation MODUL'ERS pour l'étude en Lorraine est utilisé notamment pour calculer les risques associés à l'ingestion de végétaux et de sol à partir des cartographies de concentrations estimées dans les sols. Le schéma de modélisation est présenté dans la Figure 5. Ici, les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont utilisées pour pondérer l'exposition des différents polluants pour construire un indicateur synthétique de concentration des sols.

[13] Bonnard R. Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle. DRC-08-94882-16675B, 2010.

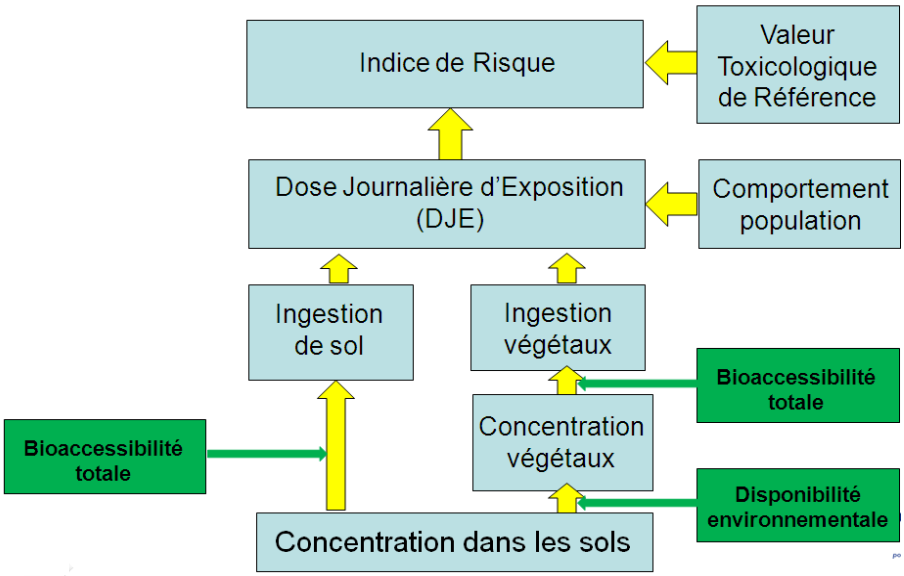

Figure 5 : Schéma de modélisation utilisé pour le calcul de l'indicateur d'exposition au sol en Lorraine

Bruit (Lorraine, RA, IdF)

L'indice Lden (Day Evening Night Level) a été utilisé par l'ensemble des études caractérisant le bruit. Au niveau européen, il 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, selon la formule suivante :

$$L_{den} = 10.\log\left(\frac{12}{24}.10^{\frac{Ld}{10}} + \frac{4}{24}.10^{\frac{Le+5}{10}} + \frac{8}{24}.10^{\frac{Ln+10}{10}}\right)$$

La méthode de calcul est conforme à la norme NF-S-31-133 « Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques ». Les calculs sont réalisés pour différents types de bruit (routier, ferré, aéronefs et industriel, par exemple, en Rhône-Alpes). 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.

3.4 TRANSFORMATION EN SCORE DE RISQUE

Les approches de caractérisation des zones de cumul d'exposition considèrent des facteurs de risque et des effets sanitaires multiples. Le concept d'exposome territorialisé ne se limite pas à l'identification des facteurs de risque liés aux seules substances chimiques ayant les mêmes modes d'actions, les mêmes organes cibles ou les mêmes effets. Les différents facteurs de risque chimiques, physiques, biologiques ou psychosociaux peuvent générer une diversité d'effets sur la santé. De

même, un agent physique, chimique ou biologique peut provoquer un ensemble d'effets biologiques. Enfin, un effet sanitaire peut être multifactoriel. Evaluer les risques pour ce type d'approche est considérablement plus compliqué méthodologiquement que pour l'évaluation de l'exposition agrégée ou pour l'évaluation des expositions associées à un effet spécifique. A défaut de valeurs toxicologiques ou de valeurs d'études épidémiologiques exprimant l'association entre un facteur de risque et un effet sanitaire qui permettraient de combiner les différentes expositions, la démarche de construction d'un score de risque correspond au besoin de simplification de l'information multivariée à travers sa réduction en un nombre unique sur l'ensemble des entités géographiques étudiées. Cette approche implique le développement d'un score de risque à partir des variables d'exposition correspondant à diverses dimensions du risque. L'objectif recherché à travers la construction ou l'analyse d'indicateurs est la représentation simplifiée d'un ou plusieurs phénomènes sur une échelle relative à partir d'informations chiffrées conformément à un ou plusieurs critères d'appréciation (quels types de facteur pris en compte, substances, etc…).

Un travail d'inventaire des démarches engagées en France et à l'étranger, ainsi qu'une revue bibliographique des méthodes d'élaboration d'indices de multi-exposition/cumul d'expositions en France et à l'étranger à été réalisé par le bureau d'étude SEPIA-Santé. Au final, il n'existe pas de méthodologie et peu d'expérience combinant les différents types de risque.

Construire une métrique commune n'est pas seulement un processus analytique, il permet l'intégration de jugements subjectifs comme, par exemple, les hypothèses permettant de relier deux ou plusieurs échelles de risque, définies durant un processus délibératif intégrant gestionnaires locaux, producteurs de données et experts thématiques. La normalisation ou la catégorisation d'indicateurs correspond au moyen d'obtenir des métriques comparables palliant l'existence de relation dose-effet tenant compte des interactions des facteurs de risque entre eux. Alors qu'une première famille de méthodes permet une meilleure prise en compte de l'intensité du risque spécifique à un milieu, la deuxième famille de méthodes privilégie l'identification des zones de cumul d'expositions des différents facteurs de risque.

En PACA, deux indicateurs ont été utilisés pour décrire les inégalités environnementales à l'échelle de l'Espace de Santé de Proximité (ESP) :

- l'indice de disparités environnementales, élaboré suite à un traitement des données par analyse en composantes principales (ACP),
- les profils environnementaux de territoires, élaborés suite à un traitement des données par classification ascendante hiérarchique (CAH).

L'ACP est une technique statistique couramment utilisée pour l'analyse de données multi-variées. Elle consiste à synthétiser un grand nombre d'informations, en transformant des variables quantitatives corrélées en variables indépendantes, nommées composantes principales. D'une manière générale, l'ACP cherche à établir des liaisons entre groupes d'individus plus ou moins homogènes. L'intérêt de ce traitement est de proposer une pondération des différentes variables normalisées, étape essentielle dans l'élaboration d'un indice de disparités environnementales. Le premier axe, ou la première composante, qui résume la plus grande quantité d'informations contenues dans les données a été retenu comme indice de disparités environnementales de cette étude. Dans chaque ESP, la combinaison linéaire des variables normalisées pondérées par leur influence sur la constitution de cet axe factoriel fournit la valeur de l'Indice de Disparités Environnementales (IDE) (Figure 6). Cette méthode consiste à poser une hypothèse d'antagonisme des effets entre les variables spatialement corrélées. La CAH s'est révélée être l'analyse statistique la plus adaptée par rapport à l'ACP pour caractériser la situation environnementale des territoires de la région PACA. Dans l'ACP, les variables corrélées sont prises en compte avec des poids réduits, ce qui ne correspond à aucune réalité biologique (hypothèse d'antagonisme des expositions). De même, l'intégration de variables anti-corrélées dans l'analyse conduit à l'estimation de coefficients négatifs, inversant le sens des variables concernée dans l'indicateur composite (la faveur devient défaveur et inversement).

La CAH a permis de mettre en évidence des groupements plus tranchés que ceux produits par l'indice de disparités environnementales, et d'établir des profils environnementaux des territoires (PET) qui pourront être réutilisés par les acteurs. L'Agence régionale de santé Provence-Alpes-Côte d'Azur a publié cette étude[14].

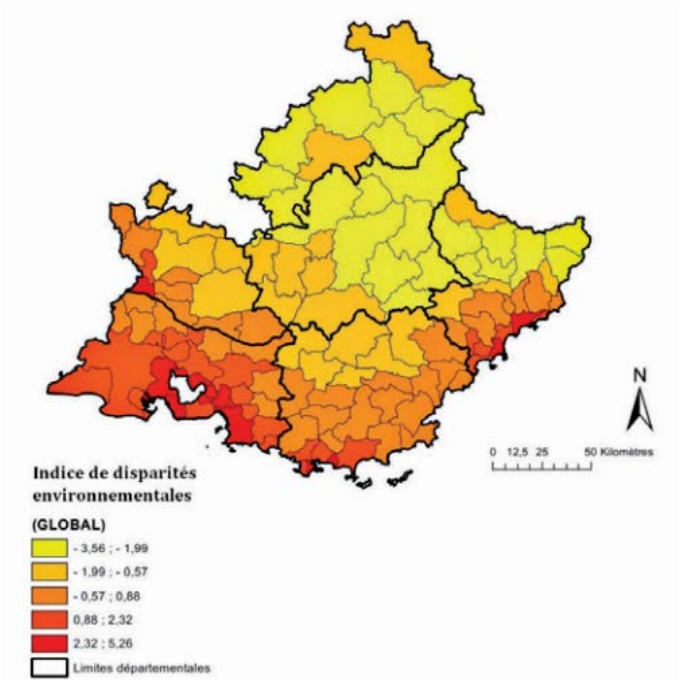

Figure 6 : Carte représentant l'indice de disparité environnementales (Travaux Muriel Andrieu-Semmel et Emmanuelle Fiard/ARS-DSPE – Source : ARS PACA)

[14] Les inégalités environnementales de santé des territoires en région Paca (IEST-PACA). Dossier, Analyses, recherches et statistiques PACA, n° 20, 2014-12, 12 p.

En Lorraine, sur la base de cartes de risque établies à partir de données de bruit et de contamination aux substances chimiques des compartiments environnementaux étudiés (eau, air, et sol), deux méthodes de combinaison des indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite du risque ont été proposées au COPIL. La Figure 7 présente ces deux méthodologies proposées pour définir les pondérateurs et les groupements relatifs aux indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite à partir des variables normalisées.

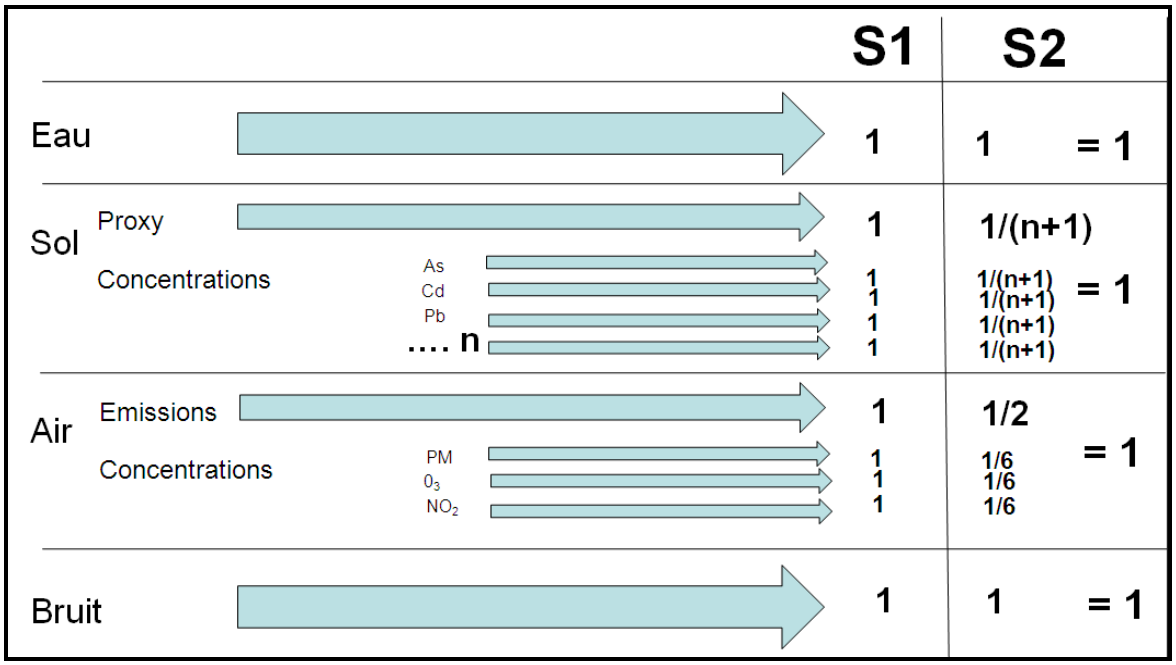

Figure 7 : Méthodologies de prise en compte des indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite du risque en Lorraine

- La méthodologie S1, proposait d'intégrer chacune des variables d'exposition et chacun des polluants investigués comme un facteur de risque propre. Elle propose donc de prendre tel quel les indicateurs de risques établis précédemment et permet une meilleure prise en compte des valeurs toxicologiques potentiellement utilisées pour construire les variables d'exposition ;
- La méthodologie S2, proposait de normaliser les indicateurs de risque pour obtenir des contributions équivalentes pour l'eau, l'air, le sol et le bruit sur l'ensemble de la région. Cette contrainte d'équivalence est déclinée sur l'ensemble des sous-indicateurs. Par exemple, pour l'indicateur Air, des contributions équivalentes sont attribuées aux indicateurs construits à partir des concentrations et celui à partir des émissions.

C'est cette dernière méthode qui a été sélectionnée permettant une meilleure caractérisation du cumul des différents facteurs de risque en accord avec le cahier des charges initial de l'étude.

Les travaux ont été présentés à la journée publique de restitution des travaux des groupes de travail en charge de l'élaboration du PRSE 2[15]. Une publication scientifique de description de l'étude est actuellement en cours de rédaction. L'appropriation des résultats nécessite la production d'outils supplémentaires au-delà de la simple cartographie des variables. Des outils opérationnels de visualisation des zones de surexposition ont été construits pour permettre une meilleure opérationnalité. Les cartes sont exportées en format kml pouvant être importées dans Google Earth, facilitant la navigation et l'identification des zones détectées (Figure 8). De même, l'analyse des déterminants de l'exposition est facilitée par des outils ad hoc construits sur Excel permettant d'associer aux zones de points noirs les contributions relatives des différents types de risque et des polluants impliqués.

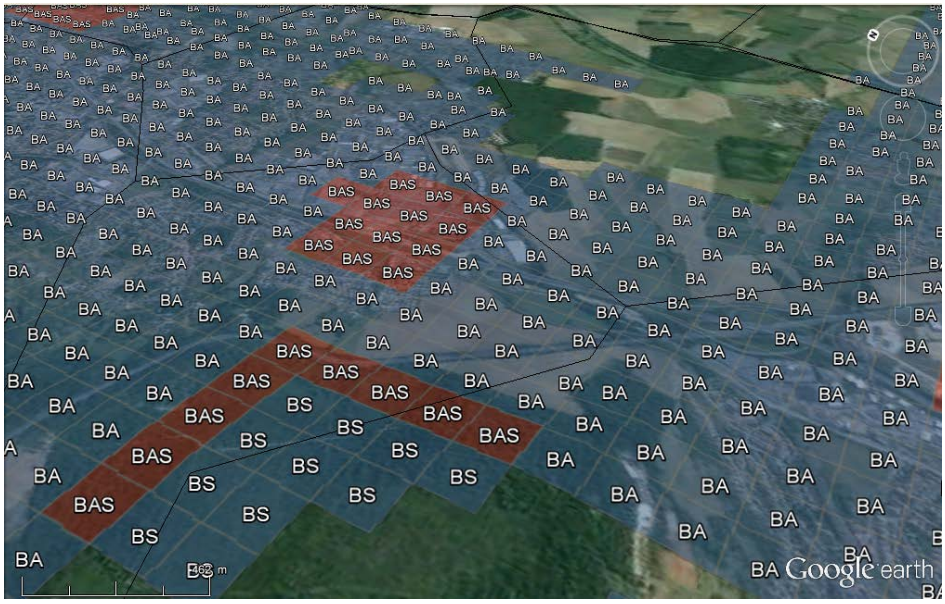

Figure 8 : Visualisation sur Google Earth des points noirs construits. Les étiquettes présentent la combinaison des facteurs de risque considérés point noir (B : bruit, A : air, S : sol, E : eau).

En Rhône-Alpes, le calcul correspond à la moyenne des indicateurs air et bruit après transformations des variables classifiées selon des intervalles égaux (Figure 9).

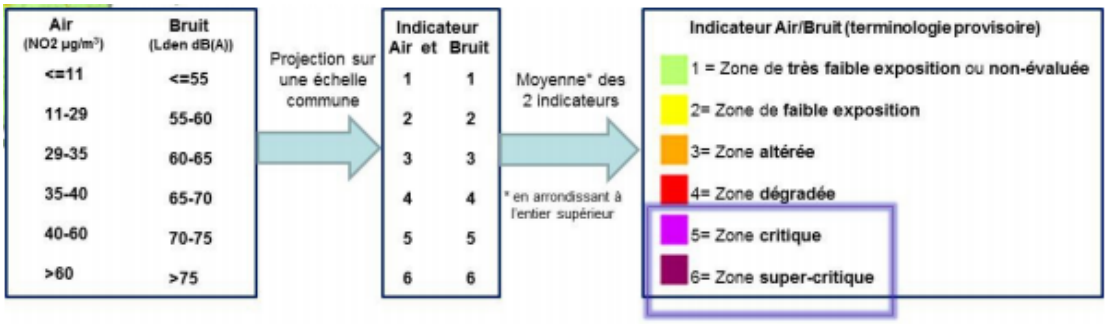

Figure 9 : Méthodologies de prise en compte des indicateurs de risque pour la construction de l'indicateur composite du risque en Rhône-Alpes

[15]http://www.lorraine.eu/files/live/sites/www/files/contributed/documents/Conseil%20R%C3%A9gional/Vie,%20attractivit%C3%A9%20et%20%C3%A9quit%C3%A9%20des%20territoires/sant%C3%A9/Pr%C3%A9sentation%20points%20noirs%20environnementaux%20-%20DREAL.pdf

La plateforme ORHANE (Observatoire RhônAlpin des nuisances environnementales) permet la diffusion des résultats (Figure 10) et des méthodologies[16].

Figure 10 : Indicateur composite en RA visualisé à partir de la plateforme ORHANE – Source : ORHANE)

En Ile-de-France, après plusieurs essais de méthode, le score retenu correspond à la somme des présences des variables d'exposition préalablement binarisées (0 ou 1) en fonction de critères définis par le COPIL. Un rapport de description de l'étude est actuellement en cours de rédaction.

Sur la base du score de risque spatialisé sur la zone d'étude, une priorisation des mesures de gestion peut être réalisée en adéquation avec les leviers de l'action.

Un besoin d'appropriation

3.5 PRISE EN COMPTE DES VARIABLES POPULATIONNELLES

L'action 39 du PNSE 3 propose d'utiliser les outils d'analyse des inégalités environnementales pour croiser des modèles d'exposition et des données populationnelles. Le texte précise ce dernier terme comme données de biosurveillance, épidémiologiques, vulnérabilités sociales et sanitaires. Dans les études analysées dans le cadre de ce rapport, différents types de données populationnelles ont été mobilisées pour différents objectifs.

L'étude Equit'Area utilise des indicateurs socio-économiques et des indicateurs de santé dans l'objectif d'étudier la contribution d'expositions environnementales cumulées aux inégalités sociales de santé (Figure 11). Les méthodes statistiques mises en œuvre utilisent les analyses multidimensionnelles et des modèles de type multiniveau permettant la combinaison de données collectées à différents niveaux (individuel et agrégé). Un index de défaveur socio-économique a été construit à partir de 19 variables socioéconomiques et démographiques du recensement de l'INSEE. Les données sanitaires ont été recueillies sur le terrain par des enquêteurs formés à cet effet auprès des services d'État civil des mairies des communes composant les différentes zones d'étude. Equit'Area ouvre accès à un nombre croissant de résultats et de données au fil de leur analyse et de leur publication à travers le site internet http://www.equitarea.org/.

[16] http://ra2013.air-rhonealpes.fr/orhane-observatoire-rhonalpin-des-nuisances-environnementales/

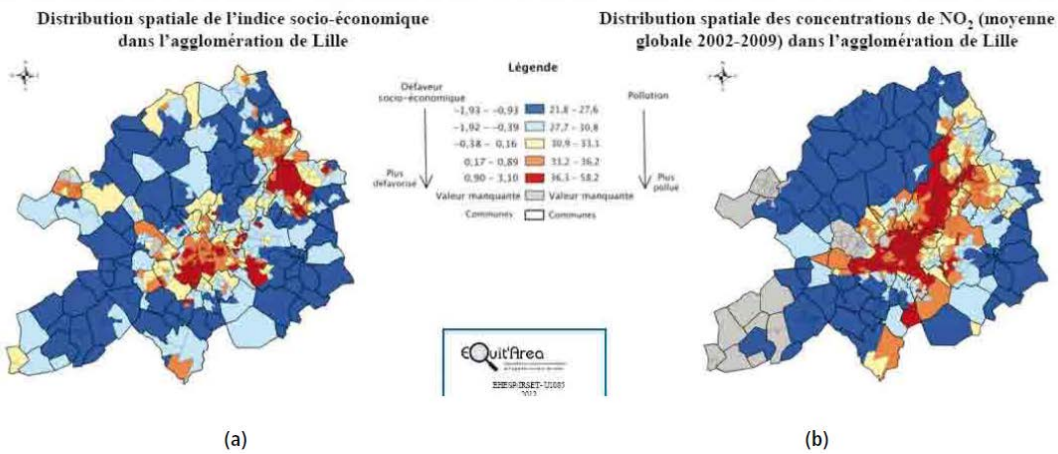

Figure 11 : Défaveur socio-économique (a) et distributions spatiales des concentrations de dioxyde d'azote (NO2, 2002-2009) fournies par ATMO Nord- Pas-de-Calais (b) sur l'agglomération de Lille. Source : EHESP

De même, **en Lorraine**, une seconde étape permettant de hiérarchiser les zones de surexposition utilisera prochainement indicateurs socio-économiques (FDep08) et sanitaires. L'INERIS a dernièrement développé un outil permettant l'analyse du cumul et des interrelations des inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé[17].

L'étude **en IdF** utilise les données de l'INSEE pour intégrer la vulnérabilité des populations comme population spécifique d'étude dans un second exercice de hiérarchisation des zones de surexposition (nombre d'individus âgés de 0 à 5 ans, nombre d'individus âgés de 65 ans et plus, nombre de ménages à bas revenus). **En RA**, le nombre d'habitants est utilisé comme pondérateur du score de risque. L'effectif de la population résidente est estimé sur un maillage fin grâce au croisement d'un ensemble de référentiels et de bases de données (BD Topo, BD Parcellaire, BD Bâti pour certaines grandes agglomérations, données de recensement de l'INSEE et les fichiers fonciers de la base Majic3).

Aux échelles régionales, le choix des données s'oriente préférentiellement vers des données provenant de bases régionales ou nationales. Les données de recensement de l'Insee fournissent des informations statistiques sur la population et ses caractéristiques à partir desquelles des indicateurs socio-économiques, comportementaux et démographiques sont construits. De nombreuses bases de données sont disponibles pour approcher l'état de la santé de la population : mortalité, ALD, PMSI, Sniiram, voire celles des registres lorsque ceux-ci existent. Ces données, disponibles, année par année, permettent une vision territorialisée des problématiques de santé à partir du niveau géographique le plus fin renseigné dans ces bases (code commune ou code postal)[18].

[17] Saib M.S., Caudeville J., Beauchamp M., et al. Building spatial composite indicators to analyze environmental health inequalities on a regional scale. *Environmental Health* 2015,**14**:68

[18] Chapitre pour le rapport « Inégalités territoriales, environnementales et sociales en santé. Regards croisés en régions : de l'observation à l'action. » Besse Geneviève, Caudeville Julien, Michelot François et al. Rapport : Ministère des affaires sociales et de la santé, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013-09-05, 52 p.

De la même manière que pour les indicateurs environnementaux, les indicateurs populationnels doivent être sélectionnés sur la base de la pertinence des variables qui les composent et de la satisfaction des critères de représentativité identifiés, notamment aux échelles spatiales étudiées.

4. CONCLUSION

Ce premier rapport constitue un retour d'expérience sur les différentes études de caractérisation des inégalités environnementales réalisées dans le cadre du PRSE 2. Il permet d'illustrer à travers l'analyse des cinq études retenues, les différentes étapes clefs de l'identification des zones de surexposition.

L'utilisation de données spatiales ne répondant pas initialement exactement aux objectifs de l'étude, entraîne des biais d'utilisation liés au géocodage, à la disponibilité et à la qualité des données ou l'absence d'accompagnement par des métadonnées. Dans les bases de données de gestion environnementale, l'ensemble des polluants ou facteurs de risque d'intérêt n'est pas mesuré. Une approche plus qualitative, utilisant des indicateurs issus de la géolocalisation des sources, permet de contourner partiellement ce problème. De même que pour les indicateurs de proximité, les approches quantitatives utilisant les mesures environnementales posent un certain nombre de questionnements. Ainsi, la caractérisation de l'exposition par la prise en compte unique des niveaux de pollution ne reflète pas la réelle exposition des individus. L'exposition réelle des individus peut se montrer très différente de par leurs comportements dans la zone représentée. La considération unique des compartiments environnementaux ne permet pas de prendre en compte la relation entre l'individu et le milieu d'exposition mais peut toutefois constituer un bon indicateur de l'exposition que subissent les populations.

Plusieurs types d'incertitudes sont introduits dans ces approches. Ces incertitudes dépendent principalement 1) des méthodes de combinaison des indicateurs qui impactent la capacité des métriques utilisés de refléter les phénomènes caractérisés et 2) de la représentativité des données correspondant à la qualité des données disponibles à reproduire, d'une certaine façon, les caractéristiques du phénomène sur les territoires caractérisés.

Dans le cas des données qualitatives, les indicateurs de proximité construits sont plus difficiles méthodologiquement à combiner avec des données quantitatives. Les COPIL, COTEC ou groupes de travail associés permettent le choix d'hypothèses nécessaires pour pallier les difficultés ou impossibilités méthodologiques à l'évaluation du cumul de l'exposition dans ce contexte territorial. Toutefois, l'utilisation d'hypothèses simplificatrices et notamment le choix de la méthode de combinaison entraîne un impact sur la pertinence de l'indicateur final.

L'incertitude, inhérente à ce type d'exercice, peut être réduite et mieux caractérisée en collectant plus de données et par le développement de techniques permettant l'amélioration de la représentativité spatiale des données d'entrée pour pallier le caractère ponctuel des données (comme les mesures de concentration dans les sols de surface par exemple).

Dans ce type d'approche basée sur l'utilisation d'hypothèses simplificatrices, la confrontation des résultats avec les connaissances pragmatiques des gestionnaires locaux est nécessaire pour nuancer la confiance donnée à l'évaluation. L'assistance d'un COPIL intégrant les gestionnaires permet une meilleure appropriation des résultats et facilite la mise en place des mesures de gestion.

Aucune méthodologie ne permet d'intégrer dans les approches cartographiques les effets synergiques à l'exposition de plusieurs substances (effet cocktail) ou de plusieurs facteurs de risque (pour lesquels il n'existe pas toujours de consensus scientifique sur les relations entre exposition et effets sur la santé). Les approches développées utilisent des hypothèses d'équivalence, des approches statistiques simplifiées ou empiriques pour combiner les différents facteurs de risque. Ces méthodes sont mises en œuvre avec la volonté d'intégrer d'autres déterminants de l'exposition non pris en compte dans les approches classiques sont guidées par le besoin d'atteindre le meilleur compromis entre représentativité des données et robustesse des méthodes en adéquation avec les objectifs formulés de l'étude.

Aussi, la caractérisation des inégalités environnementales nécessite à la fois d'accéder à des données relatives aux nuisances et pollutions à une échelle fine du territoire ou de les reconstruire et d'élaborer une méthodologie entièrement nouvelle dans le cas de cumuls d'exposition mêlant substances toxiques et agents physiques. Les méthodes et outils d'analyse élaborés ces dernières années doivent intégrer les dimensions comportementale, démographique, sociétale, géographique et temporelle pour mieux définir les impacts sanitaires sur des territoires où se superposent diverses sources de pollution.

L'application des principes du concept d'exposome territorialisé à l'évaluation de l'exposition peut permettre de répondre à ce besoin. La caractérisation de l'exposome territorialisé implique de développer des approches dynamiques, multidimensionnelles, longitudinales, des systèmes d'information promouvant et accompagnant la recherche dans le contexte des inégalités environnementales de santé et obligeant l'adoption de méthodes transdisciplinaires d'analyse des données.

D'autres travaux, au-delà de la description et de l'analyse des données disponibles, viseront à proposer un cadre méthodologique commun pour poursuivre les études dans cette thématique des inégalités environnementales.

5. ANNEXES

Repère	Désignation	Nb/Format pages
1	Inventaire des bases de données nationales, environnementales et spatialisées	07 A4

ANNEXE 1

Questionnaire de recueil d'information sur les diagnostics de caractérisation des inégalités environnementales

QUESTIONNAIRE

Retour d'expériences sur les travaux de caractérisation des inégalités environnementales réalisés en région

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. La réduction des expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé et des inégalités environnementales constituent deux axes structurants du PNSE 3. Chaque région devra sélectionner, au regard des enjeux spécifiques sur son territoire, les actions qui répondent aux préoccupations majeures de santé environnementale de la population locale. Cette analyse aboutira à l'élaboration de PRSE 3 (Plans Régionaux en Santé Environnement) dont l'une des actions est de caractériser les inégalités environnementales en vue de définir les priorités d'une future politique publique de réduction des expositions.

Un retour d'expérience sur les études réalisées dans le cadre du PRSE 2

Dans le cadre de l'action 38 du PNSE3, dans laquelle l'INERIS est partie prenante, il a été prévu de développer et diffuser, via une plate-forme commune, des méthodologies de référence au niveau national pour la caractérisation des inégalités environnementales déclinables localement, tenant compte des situations de vulnérabilité des populations. Pour mieux lutter contre les inégalités environnementales, il est essentiel de mieux connaître les méthodologies sur lesquelles reposent leur caractérisation et de faire évoluer les pratiques pour la mise en œuvre de politiques de réduction de l'exposition. Dans le cadre de ses actions d'appui à la Direction Générale de le Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, l'INERIS est chargé de réaliser un rapport dans l'objectif d'identifier les différents méthodologies réalisées pour caractériser les inégalités environnementales permettant une réutilisation dans le cadre des prochains PRSE 3.

Vous avez été identifié comme ayant réalisé une expérience dans ce domaine qui mérite d'être valorisée. A ce titre, nous vous proposons de vous associer à cette démarche à travers ce présent questionnaire.

Celui-ci s'attache à recueillir des informations sur les diagnostics permettant de déterminer les actions prioritaires, réalisés au niveau régional, prenant en compte les déterminants environnementaux et, au-delà, la vulnérabilité des populations. L'objectif est également d'identifier des exemples d'actions orientées à partir de ces études. Enfin, ce questionnaire cherche à identifier les facteurs de réussite, les freins et de mesurer les besoins et attentes sur la phase de diagnostic pour favoriser la mise en œuvre d'actions.

A l'issue de l'analyse de vos réponses, un rapport méthodologique sera rédigé dans l'objectif de favoriser le partage des connaissances entre les acteurs participant au processus de caractérisation et de réduction des inégalités environnementales.

Caractérisation des inégalités environnementales au niveau régional

Titre _

Initiateur du projet _

Objectif(s) _

_ _

_ _

_ _

Partenaire(s) éventuel(s) associé(s) _

_ _

_ _

Situation actuelle ☐ Travail en cours ☐ Travail terminé

Si terminé, est-il disponible ? ☐ Oui ☐ Non

Si disponible, lien de téléchargement _

(ou précisez auprès de qui se le procurer, numéro de téléphone ou mail) _ _ _ _

_ _

_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Quelles sources de données avez-vous utilisées dans la mise en œuvre de ce travail ? Quel a été le processus de sélection de ces données ?

_ _

_ _

_ _

_ _

_ _

_ _

_ _

Avez-vous utilisé une méthodologie générale pour mener ce travail ?

☐ Oui ☐ Non

Si oui, précisez cette méthodologie

Quelles méthodologies avez-vous utilisées pour traiter et spatialiser les données ? Sur quelles échelles et résolutions spatio-temporelles avez-vous travaillé ?

Quelles méthodologies avez-vous utilisées pour construire la métrique d'exposition d'analyse ?

Quels outils avez-vous utilisés dans la mise en œuvre de ce travail ?

Quels indicateurs avez-vous construits/utilisés dans la mise en œuvre de ce travail ?

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Avez-vous intégré des variables populationnelles dans l’analyse (vulnérabilité, démographie, santé, statut socio-économique…)? Si oui comment les avez-vous intégrées dans l’analyse ?

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Avez-vous évalué les incertitudes associées à la construction d’indicateurs dans l’analyse ? Comment ont-elles été utilisées ?

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Sous quelle forme les résultats ont-ils été présentés (cartes, tableaux...) ? Cela a-t-il été suffisant pour permettre l’appropriation des résultats pour la mise en place d’actions ?

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _
_ _ _ _ _ _ _ _ _ _

D’autres acteurs ont-ils été associés à la démarche plus générale au-delà de la seule production du document (producteurs de données, gestionnaires de l’environnement ou de la santé, experts thématiques…) ?

☐ Oui ☐ Non

Si oui,

- qui et sous quelle(s) forme(s) ont-ils été associés ?_ _

_ _

_ _

_ _

_ _

ces partenariats ouvrent-ils des perspectives d'une meilleure prise en compte de la santé-environnement, notamment dans des politiques sectorielles ?_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

_ _

_ _

_ _

_ _

Avez-vous connaissance de travaux menés dans d'autres régions ayant abordé l'analyse des inégalités environnementales?

☐ Oui ☐ Non

Si oui, précisez les références de ces travaux (titres, organismes, personnes référentes, liens de téléchargement si disponible en ligne ou façon de se procurer ce document) :

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _

Quelles sont selon vous les modalités nécessaires d'association des acteurs (concernés) pour mettre en œuvre un diagnostic intégrant les inégalités environnementales, et au-delà les inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé ?

_ _

_ _

_ _

_ _

_ _

Dans l'idéal, de quoi auriez-vous besoin pour la réalisation de tels travaux ?

_ _

_ _

_ _
_ _
_ _

Ces diagnostics ont-ils permis l'orientation des priorités territoriales d'action ? Si non, quels sont les freins identifiés ?

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer un commentaire général sur les méthodes de diagnostic et les leviers d'élaboration des politiques publiques concourant à la réduction des inégalités environnementales.

_ _
_ _
_ _
_ _
_ _

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : http://www.ineris.fr