



**EHESP**



---

**Ingénieur Génie Sanitaire**

Promotion : **2008-2009**

Date du Jury : **28 Septembre 2009**

---

**Eléments de faisabilité pour l'étude de  
l'impact du niveau géographique  
retenu sur l'estimation des expositions  
environnementales à risque sanitaire.**

---

**Charline CORRE**

Ingénieur ENSCR

**Lieu de stage** : Observatoire Régional de Santé de Bretagne, ORSB

**Référent professionnel** : Dr Isabelle Tron, médecin de santé publique, directrice de l'ORS Bretagne

**Référent pédagogique** : Séverine Deguen, enseignant chercheur à l'EHESP, DSET

---

# Remerciements

---

Mes remerciements s'adressent en premier lieu au Dr Isabelle TRON, directrice de l'Observatoire régional de santé en Bretagne et médecin de santé publique, pour m'avoir accueillie au sein de son équipe et soutenue dans mon travail.

Je remercie également Séverine DEGUEN, du DSET de l'EHESP, pour avoir contribué à la définition de la problématique de ce mémoire et pour avoir été aussi présente pendant ces quatre mois.

Je tiens à remercier aussi Philippe CLAPPIER de l'ORS Bretagne pour sa disponibilité et son aide, notamment du point de vue méthodologique.

Un grand merci à Cécile FERRAGU, assistante d'études à l'ORS Bretagne, et à Cécilia CAMPION, stagiaire au département Santé environnement de l'InVS, pour m'avoir fait part de leurs travaux en cours ainsi que de nombreux documents utiles à la rédaction de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à Magalie CORRON et Antonin MAHEVAS, respectivement directrice d'Air Breizh et chargé d'étude pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité, leur aide et leur contribution à la réalisation de ce mémoire.

Une pensée aussi pour Laurence POIRIER de l'ORS Bretagne pour l'aide matérielle qu'elle m'a fournie.

Je tiens à remercier enfin et surtout l'ensemble de l'Observatoire pour leur accueil, leur aide, leur gentillesse et leur bonne humeur.

Afin de n'oublier personne, je vous dis un grand merci à tous.

---

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	<b>3</b>
<b>2 METHODOLOGIE</b>	<b>7</b>
<b>2.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>7</b>
2.1.1 RECUEIL ET QUALITE DES DONNEES	7
2.1.2 NON EXHAUSTIVITE DU RECENSEMENT	7
<b>2.2 DEFINITION D'INDICATEURS PERTINENTS</b>	<b>8</b>
2.2.1 NOTION D'INDICATEUR	8
2.2.2 CRITERES DE SELECTION DES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES DU MEMOIRE	9
<b>2.3 DETERMINATION D'ELEMENTS DE FAISABILITE POUR UNE ETUDE DE L'IMPACT DU NIVEAU GEOGRAPHIQUE RETENU SUR L'ESTIMATION DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES A RISQUE SANITAIRE</b>	<b>10</b>
2.3.1 DOCUMENTATION	10
2.3.2 ECHANGES	10
<b>2.4 ATTENDUS DU MEMOIRE</b>	<b>10</b>
<b>3 RESULTATS</b>	<b>11</b>
<b>3.1 IDENTIFICATION ET QUALITE DES SOURCES DE DONNEES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES EXISTANTES – APPROCHE PAR MILIEU</b>	<b>11</b>
3.1.1 AIR AMBIANT	11
3.1.2 HABITAT	18
3.1.3 EAU	27
3.1.4 SITES ET SOLS POLLUES	31
3.1.5 ALIMENTATION	35
3.1.6 ENVIRONNEMENT PROFESSIONNEL	38
3.1.7 BILAN	40

<b>3.2 IDENTIFICATION DES INDICATEURS QUI PEUVENT ETRE ESTIMES – JUSTIFICATION PAR LA LITTERATURE</b>	<b>41</b>
3.2.1 INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX	41
3.2.2 INDICATEURS SANITAIRES	41
3.2.3 BILAN	44
<b><u>4 ELEMENTS DE FAISABILITE POUR L’ETUDE DE L’IMPACT DU NIVEAU GEOGRAPHIQUE RETENU SUR L’ESTIMATION DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES A RISQUE SANITAIRE</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b>4.1 DONNEES ENVIRONNEMENTALES</b>	<b>45</b>
4.1.1 SOURCE	45
4.1.2 MODELISATION DES NIVEAUX DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE AMBIANTE	46
<b>4.2 DONNEES SANITAIRES</b>	<b>47</b>
<b>4.3 ASSOCIATION ENTRE EVENEMENT SANITAIRE ET EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE</b>	<b>47</b>
<b><u>5 INTERPRETATION, DISCUSSION DES RESULTATS</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b>5.1 FAISABILITE</b>	<b>49</b>
5.1.1 RECENSEMENT DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES	49
5.1.2 DIFFICULTES DANS LA PROPOSITION D’INDICATEURS	49
5.1.3 LE CROISEMENT DES INDICATEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX	50
<b>5.2 VALIDITE DE LA METHODOLOGIE</b>	<b>50</b>
5.2.1 SOURCES DES DONNEES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES	51
5.2.2 L’AUTOCORRELATION SPATIALE	51
<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b><u>53</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b><u>LISTE DES ANNEXES</u></b>	<b><u>I</u></b>

---

## Liste des sigles utilisés

---

<b>AASQA</b>	Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air
<b>ADEME</b>	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
<b>AFSSA</b>	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
<b>AFSSE</b>	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement
<b>AFSSET</b>	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
<b>ASN</b>	Autorité de sûreté nucléaire
<b>ATIH</b>	Agence technique de l'information sur l'hospitalisation
<b>BASIAS</b>	Base des anciens sites industriels et activité de service
<b>BEH</b>	Bulletin épidémiologique hebdomadaire
<b>BDQA</b>	Banque de données sur la qualité de l'air
<b>BRGM</b>	Bureau de recherche géologique et minière
<b>BSE</b>	Baromètre santé environnement
<b>CIDB</b>	Centre d'information et de documentation sur le bruit
<b>CIM</b>	Classification Internationale des Maladies
<b>CIRC</b>	Centre international de recherche sur le cancer
<b>CIRCE</b>	Cancer inégalités régionales cantonales environnement
<b>CITEPA</b>	Centre interprofessionnel d'études de la pollution atmosphérique
<b>CNAM-TS</b>	Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés
<b>CNIL</b>	Commission nationale de l'informatique et des libertés
<b>CORPEP</b>	Cellule d'orientation régionale pour la protection des eaux contre les pesticides
<b>COV</b>	Composés organiques volatils
<b>CRAM</b>	Caisse régionale d'assurance maladie
<b>CSHPF</b>	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
<b>DARES</b>	Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques
<b>DGAL</b>	Direction générale de l'alimentation
<b>DGCCRF</b>	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
<b>DIREN</b>	Direction régionale de l'environnement
<b>DO</b>	Déclaration Obligatoire
<b>DRASS</b>	Direction régionale de l'action sanitaire et sociale
<b>DRIRE</b>	Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement
<b>DRT</b>	Direction des relations du travail
<b>DRTEFP</b>	Direction régionale du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle
<b>DSE</b>	Département santé environnement
<b>EDCH</b>	Eau destinée à la consommation humaine
<b>EPER</b>	European Pollutant Emission Register
<b>ESPRI</b>	Epidémiologie et surveillance des professions indépendantes
<b>ESST</b>	Encéphalopathie subaiguë spongiforme transmissible
<b>FNORS</b>	Fédération nationale des observatoires régionaux de santé
<b>HBTS</b>	Habitants
<b>IFEN</b>	Institut français de l'environnement
<b>IFREMER</b>	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
<b>IMD</b>	Indicator of Multiple Deprivation
<b>INERIS</b>	Institut national de l'environnement industriel et des risques
<b>INRS</b>	Institut national de la recherche et de la sécurité
<b>INSEE</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>INSERM</b>	Institut national de la santé et de la recherche médicale
<b>INVS</b>	Institut de veille sanitaire
<b>IQA</b>	Indice de la qualité de l'air
<b>IRIS</b>	Ilots regroupés pour l'information statistique
<b>IRSN</b>	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
<b>LAURE</b>	Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie

<b>LCSQA</b>	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
<b>LDEN</b>	Level day, evening, night
<b>LN</b>	Level night
<b>MEDD</b>	Ministère de l'écologie et du développement durable
<b>MEDDAT</b>	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'aménagement du territoire
<b>µG/L</b>	microgramme par litre
<b>N<sub>2</sub></b>	Diazote
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxydes d'azote
<b>O<sub>2</sub></b>	Dioxygène
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>OQAI</b>	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
<b>ORP</b>	Observatoire des résidus de pesticides
<b>ORS</b>	Observatoire régional de la santé
<b>ORTB</b>	Observatoire régional des transports de Bretagne
<b>OSCOUR</b>	Organisation de la surveillance coordonnée des urgences
<b>Pb</b>	Plomb
<b>PMSI</b>	Programme de médicalisation des systèmes d'information
<b>PNSE</b>	Plan national santé environnement
<b>PNSM</b>	Programme National de Surveillance du Mésothéliome
<b>PRQA</b>	Plan régional de la qualité de l'air
<b>PRSE</b>	Plan régional santé environnement
<b>PSAS</b>	Programme de surveillance air et santé
<b>RCS</b>	Réseau de contrôle de surveillance
<b>RMQS</b>	Réseau de mesures de la qualité des sols
<b>RNO</b>	Réseau national d'observation
<b>RSI</b>	Régime social des indépendants
<b>SAMU</b>	Service d'aide médicale urgente
<b>SANDRE</b>	Service de l'administration nationale des données et référentiels sur l'eau
<b>SIE</b>	Système d'information sur l'eau
<b>SIG</b>	Système d'information géographique
<b>SNSPE</b>	Système national de surveillance des plombémies de l'enfant
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre
<b>TIAC</b>	Toxi-infection alimentaire collective
<b>VHA</b>	Virus de l'hépatite A

---

## Tableaux et figures

---

TABLEAU 1 : QUALITE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES, MILIEU AIR AMBIANT.....	16
TABLEAU 2 : IMPACT DES INTOXICATIONS AU CO EN BRETAGNE EN 2007.....	21
TABLEAU 3 : IMPACT DE L'EXPOSITION AU PLOMB CHEZ L'ENFANT EN BRETAGNE, SYSTEME NATIONAL DE SURVEILLANCE DES PLOMBEMIES DE L'ENFANT (1995-2006).....	21
TABLEAU 4 : QUALITE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES, MILIEU HABITAT .....	25
TABLEAU 5 : QUALITE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES, MILIEU EAU .....	30
TABLEAU 6 : QUALITE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES, MILIEU SITES ET SOLS POLLUES.....	34
TABLEAU 7 : QUALITE DES DONNEES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES, MILIEU ALIMENTATION.....	37

## INTRODUCTION

L'influence de la qualité de l'environnement physique, chimique et biologique sur la santé est une réalité qui s'impose à tous. L'air que nous respirons, à l'extérieur comme à l'intérieur des locaux, l'eau et les aliments que nous ingérons, le bruit et les rayonnements auxquels nous sommes exposés influent de manière plus ou moins directe sur notre santé.

L'OMS estime à environ 15% les pertes de santé liées à l'environnement dans les pays d'Europe de l'Ouest. En conséquence, depuis trois décennies, un vaste débat porte sur les preuves scientifiques montrant les liens entre cancer et environnement. En effet, les modifications de l'environnement pourraient être partiellement responsables de l'augmentation constatée de l'incidence de certains cancers. Cette hypothèse doit faire l'objet d'un effort de recherche constant, portant à la fois sur la mesure de l'exposition des populations à des cancérogènes avérés ou probables, et sur l'existence et la nature du lien causal.

L'aspect socio-économique ne doit pas être oublié. Les inégalités sociales de santé sont bien documentées, mais si certaines de leurs causes sont comprises, d'autres restent discutées. Parmi celles-ci figurent les expositions environnementales.

L'évaluation de l'impact des facteurs environnementaux reste limitée dans bon nombre de cas, en raison d'une absence ou d'une insuffisance de données permettant de quantifier les expositions sur l'ensemble de la vie des populations exposées et de préciser les co-expositions. De plus, la part attribuable à chacun de ces facteurs est difficile à quantifier et est controversée (données quantitatives non exhaustives, estimations de l'exposition à des agents cancérogènes difficile, agents cancérogènes multiples et pas tous identifiés, longue période de latence entre exposition et apparition du cancer, effets non spécifiques, effets synergiques, sensibilité individuelle.... Enfin, l'évaluation des effets des expositions chroniques à de faibles doses doit encore progresser. Il s'agit d'une question importante en termes de santé publique puisque cela concerne une large part de la population.

Pour investiguer cette problématique dans un design d'étude écologique, de nombreuses questions d'ordre méthodologiques doivent être abordées dont le choix de l'unité géographique. En effet, quel est l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire ?

Le fait de travailler à l'échelle régionale, cantonale ou communale a-t-il une influence sur les conclusions à tirer s'agissant des conséquences des expositions environnementales sur la santé humaine ?

Il s'agira d'étudier les conditions à mettre en œuvre pour tenter de répondre à ces questions.

Cette étude débute par la description par milieu d'exposition (eau, air, habitat, sols, alimentation, exposition professionnelle), des sources de pollution et les impacts sanitaires directement associés. Après avoir identifié les sources d'informations, de données environnementales et sanitaires existantes et précisé les caractéristiques des diverses variables disponibles aux différents échelons géographiques, il sera nécessaire d'identifier, de sélectionner et de justifier l'utilisation de variables analysables dans une approche croisée (environnementale et sanitaire) modélisable. Il s'agira ensuite d'identifier et de justifier l'analyse d'un type d'exposition en particulier, pour mener enfin à des éléments de faisabilité pour une étude future de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire. Les résultats seront alors proposés puis interprétés et discutés dans une dernière partie.

# 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le Plan National Santé Environnement (PNSE) a retenu parmi ses objectifs prioritaires la prévention des pathologies d'origine environnementale, notamment les cancers qui constituent aujourd'hui la première cause de décès en France. Le nombre de cas de cancers est passé de 170 000 à 320 000 par an en France métropolitaine entre 1980 et 2005, soit une augmentation de 89% qui résulterait pour près de la moitié de l'accroissement et du vieillissement de la population [1-3].

La progression de l'incidence du cancer en France et dans les pays développés suscite en effet une interrogation sur l'origine de cette croissance et notamment sur l'importance de la composante environnementale de celle-ci [4]. Les modifications de l'environnement pourraient être partiellement responsables de l'augmentation constatée de l'incidence de certains cancers. La mesure de l'exposition des populations à des cancérogènes avérés ou probables, ainsi que la recherche d'un lien causal sont alors primordiales [5-6].

Par ailleurs, le constat des inégalités sociales de santé est aujourd'hui solidement établi dans la plupart des pays industrialisés, et désormais quantifiable [7]. Parmi les facteurs susceptibles d'expliquer les inégalités sociales de santé, les facteurs de risques individuels, le contexte social et psychosocial, et l'accès inégal au système de soins ont été avancés.

La défaveur sociale a été initialement quantifiée par Townsend à l'aide d'un score obtenu en sommant des variables centrées réduites mesurant différentes dimensions écologiques de désavantage social issues de données de recensement. D'autres indices de défaveur ont été ensuite proposés, souvent construits sur la base d'analyses factorielles. Les indicateurs utilisés communément sont ceux de Townsend, de Carstairs, le score de secteur défavorisé de Jarman, et l'IMD 2000 (Indicator of Multiple Deprivation) [8]. Cependant, malgré ces évolutions en matière de quantification de défaveur sociale, en France, aucun indicateur n'a, à ce jour et à notre connaissance, fait l'objet d'un consensus et été analysé à l'échelle nationale (Annexe 1).

Plus récemment, la contribution des nuisances environnementales a été également suspectée. En effet, dans la population générale, les groupes socio-économiquement défavorisés sont souvent plus exposés à des sources polluantes et ont une susceptibilité plus marquée à leurs effets sanitaires, en raison d'un état de santé plutôt dégradé et d'un moindre accès aux soins précoces.

L'analyse des facteurs de risque a longtemps reposé sur les données expérimentales des études de cohorte et cas-témoins. Depuis quelques années on observe une montée en puissance à l'échelle internationale d'une nouvelle approche dite de corrélation

écologique qui permet l'analyse des inégalités géographiques à l'aide des Systèmes d'information géographiques (SIG).

Ces études de corrélation écologique peuvent apporter un éclairage nouveau sur la relation entre pathologie (le plus souvent les cancers) et environnement en prenant en considération l'information fournie par la spatialisation des données. Elles permettent ainsi de mieux s'intéresser aux inégalités spatiales de santé, d'exposition environnementale et de niveaux socio-économiques afin de comprendre l'influence de ces facteurs sur par exemple l'augmentation de l'incidence des cancers.

Le programme Circe [4] a été conçu pour développer une approche de ce type en France. Ce projet consiste en la production de cartes de données lissées de mortalité, la transformation des principales bases de données environnementales en bases de données spatialisées et enfin le croisement des données sanitaires, environnementales et socio-économiques à l'échelle cantonale [9].

Dans une première opération du programme dans le Nord-Pas-de-Calais et à partir des bases de données environnementales géoréférencées, des indicateurs d'exposition environnementale ont été proposés et cartographiés à l'aide de SIG. Les données cantonales de mortalité par cancer ont été cartographiées à partir du CépiDc de l'Inserm ; et l'indice de Townsend a été choisi pour décrire le niveau socio-économique à partir des données Insee.

Cependant ces prémices au programme révèlent plusieurs limites. En effet, le problème de la mobilité des populations à court terme (lieu d'activité différent du lieu d'habitation) ou à long terme (adresse au moment du décès différente du lieu de vie des dernières décennies) n'est pas pris en compte dans une approche collective au niveau du canton. De plus, les données d'exposition sont actuelles, or les cancers ont un temps de latence moyen qui varie de quelques années à une vingtaine d'années environ.

Enfin, la question de l'échelle de l'étude a été également discutée puisque le choix de Circe a porté sur des données cantonales en un premier temps [9], pour une question de disponibilité des informations.

L'échelle communale s'avèrerait-elle plus pertinente pour mener cette étude ?

Pour tenter de répondre à cette question et observer l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire, il s'agit de faire appel aux méthodes d'analyse reliant les variations de deux indicateurs agrégés - un indicateur de l'état de santé de la population et un indicateur du niveau d'exposition à la pollution à différents polluants atmosphériques - à différentes échelles géographiques.

Le choix de l'échelle géographique à laquelle les différentes données sont recueillies, produites ou estimées est, en effet, essentiel à la mise en œuvre d'une étude écologique.

La mise en évidence d'une association entre deux facteurs peut, effectivement, s'avérer moins concluante selon l'unité géographique d'observation retenue (région, département, canton, commune...). L'intensité et le sens de l'association peuvent en effet être fortement modifiés selon la résolution géographique à laquelle les données sont recueillies. [10] Généralement, plus l'unité géographique est fine, plus ses caractéristiques tendent à être homogènes et à se rapprocher des caractéristiques individuelles des personnes qui la composent : plus l'échelle géographique est fine plus l'erreur dans l'estimation des expositions est faible. Alors, l'homogénéité des entités assure une minimisation des biais écologiques qui permet de comparer les associations observées : plus on est plus proche de l'estimation individuelle plus on est plus proche de la vraie force d'association.

Le choix de l'unité géographique est alors une question primordiale pour investiguer la problématique posée dans un design écologique. Ce choix résulte principalement de la disponibilité des données socio-économiques, environnementales et sanitaires à la même échelle géographique. La littérature récente nationale et internationale documente l'existence d'outils de modélisation permettant une estimation à fine échelle d'une part des expositions environnementales et d'autre part d'index de défaveur pour caractériser le niveau socio-économique. Cependant, les systèmes d'information (registres de cancers, de cardiopathie, de mortalité..) qui centralisent les données sanitaires ne permettent généralement pas une analyse aussi fine. En effet, en routine les échelles géographiques fines telle que l'Iris sont peu utilisées. Cela nécessite usuellement un accord de la Cnil (selon la pathologie et la fréquence) pour l'utilisation des données ou un recodage à l'échelle la plus fine, ce qui demande un long travail et n'est pas toujours réalisé. Les informations à l'échelle de la commune sont plus facilement disponibles et donc utilisées plus aisément.

Cependant, transformer des variables écologiques pour les rendre conjointement disponibles à une échelle moins fine (régionale ou nationale), induit une perte d'information et donc de précision et de justesse dans l'estimation du lien écologique. L'échelle cantonale est alors souvent apparue comme un bon compromis entre résolution géographique, disponibilité des données et stabilité statistique.

Des méthodes de lissage sont employées pour atténuer les fluctuations aléatoires liées aux petits effectifs de décès. Certaines études ont donc eu recours à des méthodes ayant pour objectifs d'atténuer le bruit causé par les fluctuations aléatoires pour mieux repérer les grandes tendances des variations spatiales de la mortalité par exemple, et non pas spécifiquement de détecter des discontinuités, par exemple, dans des cantons isolés avec un risque relatif élevé [11].

A ce titre et dans le cadre de ce mémoire, il s'agira de déterminer les éléments de faisabilité pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaires.

Ainsi, le contexte pose différentes problématiques et amène à formuler des hypothèses qui doivent être explorées dans le cadre de ce mémoire. Elles ont trait notamment à :

- l'impact du niveau géographique sur la disponibilité de données et d'indicateurs environnementaux, sanitaires et socio-économiques fiables, comparables, modélisables et reproductibles ;
- la nécessité d'explorer ces données et indicateurs au regard d'hypothèses relatives à la finesse géographique nécessaire pour des analyses croisées fiables permettant d'identifier (éventuellement et selon le niveau géographique) un biais écologique dans les estimations des expositions environnementales et de leur impact sur la santé humaine.

Par ailleurs, dans le cadre du mémoire IGS et au regard de la complexité du sujet d'étude, l'aspect socio-économique ne sera pas davantage évoqué.

Pour mener à bien ce projet, ce mémoire devra suivre les lignes directrices suivantes :

- identifier les sources de données environnementales et sanitaires existantes ;
  - préciser les caractéristiques des différentes variables environnementales et sanitaires disponibles aux différents échelons géographiques ;
  - identifier, sélectionner et justifier l'utilisation de variables analysables dans une approche croisée et modélisable.
- identifier les indicateurs qui peuvent être estimés à partir des données disponibles et les justifier par la littérature et les travaux déjà réalisés ;
- identifier et justifier l'analyse d'un type d'exposition en particulier ;
- déterminer les éléments de faisabilité nécessaires à une étude future sur l'impact du niveau géographique retenu sur l'identification d'un biais écologique dans les estimations des expositions environnementales.

## **2 METHODOLOGIE**

### **2.1 Recherche bibliographique**

Une recherche bibliographique concernant les sources d'informations dans le champ santé environnement doit être menée pour prendre connaissance des données sanitaires et environnementales disponibles.

A la demande de la DRASS, l'ORS Bretagne doit réaliser un état des lieux dans le cadre de la mise en œuvre du PRSE 2. Les travaux exploratoires et les recherches relatives aux indicateurs environnementaux sont utilisés dans le cadre de ce mémoire.

#### **2.1.1 RECUEIL ET QUALITE DES DONNEES**

Le recensement des expositions environnementales ayant un impact sanitaire et les bases de données associées nécessitent de s'appuyer sur une consultation de sources d'informations aussi large que possible afin de rassembler le plus de connaissances pertinentes. La recherche bibliographique classique à travers la consultation des bases de données, des entretiens avec des professionnels et la consultation de l'ensemble de la toile Internet seront les différents canaux de recueil d'informations.

Dans cet afflux important d'informations, il est parfois difficile de faire le tri des connaissances solides. La recherche bibliographique est bien codifiée et les qualités respectives des bases de données sont connues et permettent d'apprécier la fiabilité et la qualité des informations accessibles. Cependant, la sensibilité personnelle pourrait conduire à mettre en avant ou à donner plus de forces à certaines informations par rapport à d'autres. En revanche, la recherche sur Internet peut orienter vers des informations de qualité moindre. Pour contourner cet écueil, la recherche sur Internet doit être ciblée sur la consultation des sites des agences et de services sanitaires et environnementaux nationaux. Au final, quelle que soit la source, les informations recueillies doivent donc présenter une qualité certaine.

#### **2.1.2 NON EXHAUSTIVITE DU RECENSEMENT**

La couverture d'un champ aussi vaste que celui de la santé environnementale mérite la consultation de très nombreuses sources d'informations : bases de données, Internet, entretiens... Sous leur forme complexe, les expositions environnementales identifiées sont très globalisantes, renfermant des situations qu'il serait souhaitable d'isoler (pathologies multifactorielles...). En l'absence d'exhaustivité, le chapitre de ce mémoire correspondant à l'identification et à la qualité des sources de données environnementales et sanitaires, ne pourra être qualifié de représentatif de l'ensemble des facteurs environnementaux ayant un impact sanitaire.

## **2.2 Définition d'indicateurs pertinents**

Pour déterminer des éléments de faisabilité d'une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire, des indicateurs pertinents environnementaux et sanitaires doivent être définis.

### **2.2.1 NOTION D'INDICATEUR**

#### 2.2.1.1 Définition et rôle

Un indicateur est une variable ayant pour rôle de mesurer ou d'apprécier l'état ou l'évolution d'un système ou d'un phénomène généralement complexe et qui ne peut être facilement ou complètement décrit. Un ou plusieurs indicateurs permettent donc d'obtenir facilement une simplification dans la description et l'évaluation d'une situation ou d'un phénomène.

Les indicateurs sont également des outils de communication qui servent à simplifier l'information souvent sous une forme quantifiée pour la rendre plus lisible et signifiante auprès de l'auditoire cible.

Ils peuvent être utilisés avec un objectif de suivi d'un phénomène ou d'une action, d'évaluation d'un programme, de prévision ou encore d'aide à la décision.

#### 2.2.1.2 Critères de choix d'un indicateur

Pour être opérants, les indicateurs doivent satisfaire à un certain nombre de critères. On peut distinguer :

- les critères relatifs à la faisabilité « technique » ou à la « qualité scientifique » à savoir :
  - non biaisé et représentatif ;
  - crédible scientifiquement, fiable et valide ;
  - spécifique et sensible ;
  - fondé sur des données de qualité ;
  - reproductible et comparable dans le temps et l'espace.
- les critères relevant de la faisabilité « politique » à savoir :
  - utile aux besoins des politiques de management ;
  - fondé sur des données faciles à obtenir et à un coût raisonnable ;
  - facilement compréhensible et appliqué par des utilisateurs potentiels.

### 2.2.1.3 Limites des indicateurs

Une limite des indicateurs peut être la perte d'information et l'altération des résultats dues à la formulation d'un indicateur. Par exemple, choisir la moyenne d'une distribution de valeurs comme indicateurs peut masquer des valeurs singulières intéressantes parmi l'ensemble des valeurs.

D'autre part, bien que les indicateurs soient une « simplification » de la réalité, il faut s'assurer que l'interprétation de leur signification ne soit pas une simplification excessive du phénomène étudié.

## **2.2.2 CRITERES DE SELECTION DES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES DU MEMOIRE**

Il s'agit de développer une méthodologie, d'établir une liste de critères sur lesquels se baser pour construire un argumentaire et pourvoir alors identifier, sélectionner et justifier l'utilisation de variables analysables dans une approche croisée et modélisable. D'ors et déjà des critères de sélection sont retenus :

- la disponibilité des données ;
- la pertinence et fiabilité des données ;
- les effets sanitaires :
  - o la spécificité des symptômes et pathologies,
  - o le temps de latence du développement des pathologies,
  - o le niveau de risque attendu<sup>1</sup>.
- le nombre de cas recensés chaque année ;
- l'échelle géographique des données ;
- les critères de santé publique<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> L'impact d'un facteur environnemental sur le risque de cancer par exemple, dépend à la fois de son lien avec ce cancer et de la prévalence d'exposition à ce facteur dans la population. Ainsi, un facteur environnemental conférant une augmentation, même faible ou modérée du risque de cancer aura un impact élevé si ce facteur est très répandu dans la population générale. A l'inverse, un facteur cancérigène même puissant aura un impact faible si peu de personnes y sont exposées.

<sup>2</sup> La recherche de critères de santé publique vise à rassembler les critères développés dans des travaux de nature très diverse afin d'avoir une vision la plus large possible. Des critères indiquant l'importance de santé publique à travers la prise en compte par les pouvoirs publics (textes législatifs et réglementaires, plans d'action, dispositifs de surveillance environnementale...) peuvent être explorés mais on préférera aborder les critères permettant d'apprécier l'importance en santé publique à travers les données scientifiques et sanitaires.

## **2.3 Détermination d'éléments de faisabilité pour une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire**

### **2.3.1 DOCUMENTATION**

La recherche bibliographique et documentaire dans les journaux scientifiques, la littérature grise ou encore sur Internet, est nécessaire à la définition de la stratégie à adopter pour répondre à la problématique soulevée dans ce mémoire et déterminer les éléments de faisabilité de cette étude.

### **2.3.2 ECHANGES**

Des rencontres avec des professionnels permettent également d'échanger et d'ouvrir des perspectives d'études non envisagées dans un premier temps, et éventuellement de profiter des outils dont ils disposent.

Une rencontre avec la directrice d'Air Breizh et un chargé d'étude a donc été organisée de manière à approfondir les connaissances en matière de pollution atmosphérique, de mesure, de modélisation et de spatialisation des données.

Des échanges téléphoniques avec l'animateur du système d'information de la qualité de l'air, de la direction de l'air, du bruit et de l'efficacité énergétique, du département de surveillance de la qualité de l'air de l'Ademe se sont également avérés bénéfiques en terme d'informations sur la Base de données de la qualité de l'air.

Enfin, des entretiens avec Séverine Deguen ont permis une meilleure compréhension de l'analyse statistique dans les designs écologiques afin de proposer une méthode pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu.

## **2.4 Attendus du mémoire**

Par manque de temps, ce mémoire ne pourra pas aboutir à l'étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire. Toutefois, ce travail va s'attacher à proposer des éléments de faisabilité à cette étude.

## **3 RESULTATS**

### **3.1 Identification et qualité des sources de données environnementales et sanitaires existantes – Approche par milieu**

Ce chapitre propose un état des connaissances sur les expositions environnementales et les effets sanitaires qui en découlent ainsi que sur les principales sources de données environnementales et sanitaires existantes, par milieu de vie (Annexe 2).

Par ailleurs, en 2007, la Bretagne s'est portée volontaire pour participer activement au premier Baromètre Santé Environnement (BSE) (Annexe 3) français dans le cadre du PRSE 2005-2008, auquel ce chapitre fera référence. Il s'agit d'une base d'informations transversale très intéressante. Près de 1500 Bretons ont été interrogés sur leurs connaissances, leurs attitudes et leurs comportements dans le domaine de la santé environnementale. 4 Bretons sur 10 estiment alors, du fait de leur environnement, courir des risques pour leur santé et d'être affectés au cours de leur vie d'un cancer.

Les accidents de la vie courante et de la route, ainsi que le tabac n'ont pas été retenus dans cette étude, du fait que les facteurs de risque associés relèvent de composantes environnementales mais aussi comportementales.

#### **3.1.1 AIR AMBIANT**

##### **3.1.1.1 Généralités**

L'exposition à la pollution atmosphérique concerne l'ensemble de la population française, et plus particulièrement les citoyens. Selon l'Institut de veille sanitaire (InVS), chaque jour, un adulte inhale 10 000 à 20 000 litres d'air en fonction de sa morphologie, ses activités... Outre le dioxygène (O<sub>2</sub>) et le diazote (N<sub>2</sub>), qui représentent en moyenne 99% de sa composition, cet air peut également contenir des polluants d'origine naturelle ou anthropique (production d'énergie, industrie, agriculture, transports routiers...).

La pollution atmosphérique est complexe et difficilement mesurable dans sa totalité. Aux classiques et réglementés polluants mesurés en France, considérés comme des indicateurs de la qualité de l'air (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particules en suspension, O<sub>3</sub>, CO, COV et Pb) se sont ajoutés progressivement d'autres substances telles que les organochlorés (dioxines et furanes), les hydrocarbures aromatiques (polycycliques/monocycliques), les métaux lourds et les gaz à effets de serre [12].

### 3.1.1.2 Exposition et effets sur la santé

L'impact de la pollution atmosphérique sur la santé humaine est difficile à appréhender. En effet, la pollution de l'air est complexe, et suivant la nature des polluants les conséquences pour la santé sont variables, même si les différents constituants nocifs agissent souvent en synergie.

L'exposition à la pollution de l'air est hétérogène dans le temps et dans l'espace : elle dépend notamment des lieux fréquentés par l'individu et des activités qu'il y accomplit. Il est également important de noter que les risques individuels sont faibles mais à l'échelle de la population toute entière, les impacts ne sont pas négligeables, car toute la population est exposée. Enfin, l'état de santé et les antécédents pathologiques, qui vont modifier la sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique, sont différents pour chaque individu, et les maladies susceptibles d'être liées à la pollution atmosphérique sont multifactorielles, c'est-à-dire que la pollution atmosphérique n'est que l'un des facteurs parmi d'autres qui contribuent à leur apparition [13-15].

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé peuvent alors se répartir schématiquement en deux groupes :

- les effets d'une exposition à court terme : il s'agit de « manifestations » cliniques, fonctionnelles ou biologiques aiguës survenant dans des délais brefs (quelques jours, semaines) après l'exposition à la pollution atmosphérique ;
- les effets d'une exposition à long terme : il s'agit de la responsabilité de l'exposition à la pollution atmosphérique dans le développement de processus pathogènes au long cours qui peuvent conduire au final à un événement morbide ou même au décès.

La pollution atmosphérique peut être alors à l'origine de la survenue de symptômes respiratoires (toux, hypersécrétion nasale, expectoration chronique, essoufflement), mais elle est aussi un facteur majorant le nombre de crises d'asthme et d'allergies et leurs conséquences [16]. Il n'existe pas de preuve étiologique de relation entre le développement d'asthme et la pollution atmosphérique. Cependant, pour les personnes souffrant déjà de cette pathologie, la pollution atmosphérique provoque des crises d'asthme [17]. Il s'agit donc d'un effet sanitaire imputable à la pollution atmosphérique intéressant à étudier par la suite puisque bien identifié.

Toutefois, les effets de la pollution atmosphérique ne se limitent pas aux pathologies respiratoires. Celle-ci peut également participer à la genèse de pathologies cardiovasculaires (infarctus du myocarde, angine de poitrine ou troubles du rythme cardiaque) et d'irritations nasales, des yeux et de la gorge.

La présence de pesticides dans l'atmosphère est, depuis quelques années, devenue une nouvelle problématique [18-21]. En effet, l'existence de transferts des pesticides vers l'atmosphère a été mise en évidence, grâce entre autre à la découverte de certains d'entre eux au-dessus de zones dénuées d'activités agricoles telles que l'Arctique [22]. Pour autant il reste difficile de quantifier l'exposition des personnes puisque la plupart des études épidémiologiques réalisées concernent les professionnels et les méthodes d'estimation de l'exposition en milieu professionnel sont difficilement transposables en population générale. De plus, l'inhalation est ici la voie d'absorption privilégiée mais la construction d'un indicateur de la pollution phytosanitaire dans l'air ambiant implique des valeurs toxicologiques de référence pour la voie respiratoire qui n'existent pas aujourd'hui. Enfin, il existe une trop grande incertitude liée à l'exposition réelle des individus [23-24]. En effet, à l'heure actuelle, l'exposition des personnes ne peut être totalement quantifiée mais est toutefois approchée.

#### 3.1.1.3 Situation en Bretagne

Selon le BSE, plus de 8 Bretons sur 10 considèrent que la pollution de l'air extérieur représente un risque élevé (53%) voire très élevé (28%) pour la santé des français en général, tout en ayant le sentiment d'être plutôt bien informés sur le sujet.

En France, la loi sur l'air et de l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) de 1996 a rendu obligatoire la surveillance de l'air. Elle est assurée par les Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) dans les régions. L'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) [25] supervise la coordination technique du dispositif qui représente actuellement environ 2 000 analyseurs sur 750 sites.

En Bretagne, l'association Air Breizh [26-27] est chargée de la surveillance de la qualité de l'air, de la diffusion des résultats et des prévisions, de l'information du public et des décideurs lors des dépassements des seuils d'information, de recommandation et d'alerte. Elle dispose de 19 stations de mesure réparties dans les principales villes bretonnes, et d'un parc d'environ une cinquantaine d'analyseurs. 13 polluants font l'objet d'une surveillance permanente. Globalement en 2007, selon le bilan des indices mesurés par Air Breizh, plus de 80% des relevés des indices de qualité de l'air sont considérés bons à très bons dans les principales agglomérations bretonnes.

La mesure des grains de pollens de l'air en Bretagne est quant à elle réalisée depuis 1998 par l'association Capt'Air Bretagne [28]. 5 sites de surveillance sont aujourd'hui installés dans les principales villes bretonnes. En Bretagne, pour l'asthme il y aurait un taux de morbidité de 3,9 pour 100 000 habitants contre 3 pour 100 000 en France.

#### 3.1.1.4 Bases de données disponibles

La qualité de l'air extérieur, peut être documentée par des données d'émissions et d'immission (concentration des polluants dans l'air ambiant).

La Base de données de la qualité de l'air (BDQA) [29] de l'Ademe rassemble les données provenant de 600 stations de mesures automatiques, ainsi que les données de mesures ponctuelles, dans les zones géographiques couvertes par les Aasqa. Cette base a pour objectif la collecte et l'archivage de ces mesures à des fins d'exploitation nationale. L'acquisition de données est automatisée depuis 1985 pour certains polluants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particules, benzène, toluène) ; pour d'autres (HAP, métaux lourds, COV), les données sont intégrées manuellement.

De plus, l'Ifen [30] produit, chaque année depuis 2005 et grâce aux données de la BDQA, un indice d'évolution de la pollution de l'air (Idepa) dans les villes avec des données depuis 2000. Cet indice est décliné par strate de taille d'agglomération (quatre classes) et par polluant (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM<sub>10</sub>).

En Bretagne, dans le cadre du Plan régional de la qualité de l'air (PRQA), la région Bretagne et Air Breizh, en plus de ses autres missions, ont mis en place, des modélisations de la qualité de l'air en Bretagne et un inventaire des émissions atmosphériques (cadastre atmosphérique [31]). Il s'agit, d'un état des lieux spatialisé le plus précis et le plus complet possible des quantités de polluants rejetés annuellement dans l'atmosphère en Bretagne par l'ensemble des sources connues. L'inventaire des émissions est un outil informatique et de sensibilisation du grand public aux questions de la pollution atmosphérique en Bretagne. La représentation cartographique de ces émissions permet, à différentes échelles, la visualisation globale de ces problématiques.

L'ensemble des données disponibles pour la Bretagne est regroupé dans un document rédigé par la DIRE Bretagne [32], qui aborde, outre les rejets atmosphériques, de nombreux autres thèmes tels que l'eau, les déchets, les sols...

Le Citepa [33-34] quant à lui fournit des données concernant les rejets de polluants atmosphériques en France Métropolitaine.

Enfin, le registre français des émissions polluantes (Eper-Irep) [35] informe sur les rejets atmosphériques industriels.

En ce qui concerne les données sanitaires, le centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès de l'Inserm (CépiDc-Inserm), le PMSI, le Samu et SOS Médecin sont des sources d'informations intéressantes et précises, auxquelles de nombreuses études écologiques se réfèrent.

Le CépiDc est chargé de l'élaboration et de la diffusion de la statistique nationale des causes de décès [36]. La recherche de données concernant la mortalité par asthme par exemple, porte sur les statistiques jusqu'en 2006 et sur les décès codés en cause initiale comme mortalité par asthme et en causes multiples comme mortalité liée à l'asthme selon un code de la CIM<sup>3</sup>-10.

Le Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), dispositif faisant partie de la réforme du système de santé français, a pour but la réduction des inégalités de ressources entre les établissements de santé sur la réforme de l'hospitalisation. Ainsi, afin de mesurer l'activité et les ressources des établissements, il est nécessaire de disposer d'informations quantifiées et standardisées. De fait, le PMSI est une banque de données qui concerne les différents actes effectués et pathologies observées dans un établissement de santé. Il est ainsi possible d'obtenir des informations concernant les diagnostics principaux, reliés ou associés, sous couvert d'anonymat <sup>4</sup> (un chaînage des séjours est toutefois possible). Dans le cas de la pollution atmosphérique, les recherches s'orientent plutôt vers les pathologies respiratoires (crises d'asthmes...) en diagnostic principal, relié ou associé.

Le Samu et SOS Médecins peuvent également fournir des informations intéressantes, comme les appels d'urgence par pathologie, par exemple les crises d'asthme.

#### 3.1.1.5 Qualité des données

La qualité des données disponibles et pertinentes pour le milieu « Air » est donnée dans le Tableau 1.

(1) Les mesures regroupées au sein de la BDQA peuvent être visualisées de manière graphique ou tabulaire. Il est possible de consulter les informations sur les associations, les réseaux, les sites et télécharger des fichiers de données. Des statistiques sont fournies : moyenne annuelle, moyenne hivernale, moyenne horaire max, moyenne journalière, moyenne mensuelle... Pour chaque station de mesure de nombreuses informations sont disponibles : coordonnées géographiques (longitude, latitude, coordonnées x, coordonnées y, altitude, carte), caractérisation du site (classe, typologie, secteur, zone d'activité Insee, autres influences, représentativité du site), unité territoriale (région, département, ville, adresse), fonctions du site, objectifs de surveillance et constituants mesurés.

---

<sup>3</sup> Classification Internationale des Maladies, permet le codage des maladies, des traumatismes et de l'ensemble des motifs de recours aux services de santé.

<sup>4</sup> Seuls la date de naissances, les numéros de sécurité sociale et de séjour ainsi que le code postal du lieu de résidence et le sexe du patient sont renseignés.

**Tableau 1 : Qualité des données environnementales et sanitaires, Milieu Air ambiant**

Indicateurs	Bases de données	Echelle géographique	Commentaires
Fréquence de dépassement des seuils légaux	AASQA/MEDD/ ADEME	France métropolitaine Agglomération >100 000 hbts	Indicateur de loi de santé publique française
Proportion de polluants dépassant les seuils établis pour la protection de la santé humaine	IFEN	France métropolitaine (2001-2006)	Seuils établis par la Directive Européenne 2008/50/CE
Concentration moyenne annuelle en NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> dans l'air	INVS/ADEME/ BDQA/ATMO	France métropolitaine Agglomération >100 000 hbts (2000-2006)	Données en µg/m <sup>3</sup> pour 60 agglomérations, population totale. Indicateur de loi de santé publique française. (1)
Indice d'évolution de la pollution de l'air	IFEN	France métropolitaine Agglomération >100 000 hbts	(2)
Emissions de polluants atmosphériques en France Métropolitaine	CITEPA/CORALIE/ SECTEN FORMAT	France métropolitaine (1990-2006)	Emissions et sites d'émissions donnés pour chaque polluant tous les 5 ans de 1990 à 200 et chaque année les années suivantes
Emissions industrielles atmosphériques	EPER/IREP	Pays Européens→Local (2001-2007)	(3)
Cadastre atmosphérique & modélisations	AIR BREIZH	Bretagne→Local	(4)
Taux de mortalité par pathologie standardisé par âge, sexe et strate d'âge (ex : asthme)	INSERM-CEPIDC INSEE	Bretagne à infrarégional selon	Indicateur de loi de santé publique française. (5)
Taux d'hospitalisation par pathologie (ex : asthme)	ATIH/PMSI	effectifs	(6)
Appels d'urgence par pathologie (ex : crise d'asthme)	SAMU/SOS MEDECIN		-

(2) Cet indicateur est décliné par taille d'agglomération (4 classes) et pour 4 polluants différents (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). Il existe des valeurs manquantes à causes de défaillances temporaires. De plus, une autre remarque peut se porter sur la grande disparité des mesures. En effet, quand les échantillons de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>2</sub> ou de O<sub>3</sub> présentent plus de 16 000 valeurs mensuelles, les particules n'en présentent que 9 000 valeurs et le CO 2 000.

(3) Les émissions mentionnées dans la base de données EPER-IREP sont « rapportées » par les industriels, par conséquent elles ne peuvent être assimilées à des mesures *in situ*. De plus, il n'existe que trop peu de données pour la Bretagne.

(4) Il est important de noter la précision du cadastre atmosphérique, des modélisations et par conséquent de la cartographie de l'échelle de la Bretagne à une maille d'1km<sup>2</sup>. Les stations de mesures sont situées en zones urbaines ou périurbaines (les coordonnées Lambert sont fournies par la BDQA), il n'existe donc pas de point de mesure en zone rurale (centre Bretagne), toutefois la modélisation existe pour pallier cette limite.

(5) Dans le cas du taux de mortalité par asthme, seuls les décès ayant pour cause initiale l'asthme sont pris en compte dans la construction de cet indicateur.

(6) Toujours dans le cas de l'asthme, il s'agit des séjours hospitaliers pour asthme et pour déficience respiratoire associés à de l'asthme codés comme diagnostics principal, relié ou associé. Cet indicateur est basé sur l'étude du séjour hospitalier et non sur le patient lui-même. L'hospitalisation pour crise d'asthme ne peut être étudiée spécifiquement car il n'existe pas de différences entre hospitalisation d'urgence et hospitalisation planifiée. Les données PMSI-ATIH [37] ne prennent pas en compte les cas d'urgence qui ne conduisent pas à une hospitalisation [38].

#### 3.1.1.6 Conclusion

Il semble que les données de la qualité de l'air en Bretagne disponibles facilement par les mesures d'Air Breizh via la BDQA soient les plus pertinentes et les plus fiables. En effet, le matériel et les protocoles normés utilisés par les Aasqa permettent de justifier la fiabilité de ces mesures. De plus, même si peu de sites de prélèvement sont disponibles en Bretagne, la capacité d'Air Breizh à fournir des modélisations et un cadastre atmosphérique est telle que les données sont disponibles à des échelles géographiques de plus en plus fines, de l'ordre du kilomètre carré.

Cependant, concernant la pollution atmosphérique, les effets sanitaires sont complexes puisqu'il existe une multitude de composés chimiques et une synergie entre eux. Les pathologies générées sont donc principalement multifactorielles et le temps de latence de développement de ces pathologies est tout à fait variable.

Comme cela a été précisé précédemment, les risques individuels sont faibles, mais à l'échelle de la population toute entière les impacts ne sont pas négligeables, car toute la population est exposée ; il s'agit donc d'une problématique environnementale majeure.

Le nombre de cas d'asthme, de cardiomyopathies et pathologies respiratoires, recensés sur l'année et en Bretagne paraît suffisant pour pouvoir mener notre étude. Les crises d'asthme apparaissent comme étant des effets sanitaires liés à la pollution atmosphérique bien étudiés.

Le choix de l'exposition à la pollution atmosphérique pour la détermination d'éléments de faisabilité pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risques sanitaires paraît être adapté à cette problématique.

### **3.1.2 HABITAT**

#### 3.1.2.1 Généralités

Aujourd'hui, l'Homme passe en moyenne 90% de son temps à l'intérieur des locaux. L'habitat constitue le lieu de vie majeur où les occupants sont exposés à de multiples polluants, essentiellement par inhalation. De nombreux polluants y sont présents à des concentrations plus élevées qu'à l'extérieur. Le ministère de l'équipement, des transports et du logement ainsi que le ministère de l'emploi et de la cohésion sociale ont à ce sujet édité un document intitulé « Bâtiments et santé. Les principaux risques sanitaires » (2002) [39].

#### 3.1.2.2 Exposition et effets sur la santé

Du fait d'une exposition multifactorielle à des niveaux variables, les effets sur la santé des polluants en milieu clos sont divers. Il s'agit essentiellement, à court et moyen termes, d'effets toxiques, infectieux ou allergiques et à long terme, de risques cancérogènes.

Les sources de pollution à l'intérieur d'un logement sont nombreuses et les agents responsables peuvent prendre plusieurs formes : produits chimiques, agents biologiques (bactéries, champignons...) ou encore physiques (radon, bruit, fibres en suspension dans l'air, champs électromagnétiques...).

##### *a) Radon*

Le radon constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation naturelle et est également un facteur de risque reconnu de cancer du poumon (groupe 1 pour le CIRC), après le tabac. Près de 13% des 25 000 décès annuels par cancer du poumon seraient attribuables à l'exposition au radon [1].

La principale source de radon dans l'habitat provient d'émanations des terrains sous jacents et/ou de formations rocheuses souterraines. Les concentrations élevées sont généralement associées aux roches granitiques, à certaines roches volcaniques, à certains schistes. En conséquence, le centre de la France, la Bretagne, les Vosges, les Alpes ou la Corse sont plus particulièrement exposés.

La peau est suffisamment épaisse pour ne pas être affectée par les produits de désintégration des atomes du radon (émetteurs de rayonnements ionisants), mais ce n'est pas le cas des tissus mous, des bronches et des poumons. Les produits de désintégration du radon s'accumulent dans le tissu pulmonaire et l'irradient. Des décennies peuvent s'écouler entre l'irradiation et l'apparition d'un cancer [40].

#### b) *Monoxyde de carbone*

L'intoxication au monoxyde de carbone (CO) est la première cause de mortalité accidentelle par intoxication. Indétectable par nos sens, il agit comme un gaz asphyxiant très toxique prenant la place de l'oxygène dans le sang. Du fait de la pluralité et de la non spécificité des symptômes, l'intoxication par le CO, notamment lors d'exposition chroniques, est très sous-estimée. A partir des données de l'Inserm et de l'extrapolation des chiffres de la région parisienne, il y aurait 300 décès et 6000 hospitalisations par an dus aux intoxications aiguës [41].

Selon la durée d'exposition et la concentration en monoxyde de carbone inhalé, deux types d'intoxication se distinguent et peuvent laisser des séquelles à vie :

- l'intoxication chronique (exposition prolongée à de faibles doses), qui se manifeste par des maux de tête, des nausées et de la fatigue ;
- l'intoxication aiguë (exposition courte à des doses élevées), qui entraîne des vertiges, des troubles du comportement, des pertes de connaissance, le coma ou le décès.

#### c) *Plomb*

Par inhalation de poussières contaminées ou de vapeurs de plomb ou par ingestion de poussières provenant essentiellement de peintures à la céruse (interdites dès 1948), d'eau de boisson ou d'aliments contaminés, le saturnisme est un des effets sanitaires majeurs liés à l'habitat [42].

Bien que tardifs et non spécifiques, les effets induits par une exposition au plomb, même à de faibles doses, sont irréversibles et d'autant plus graves que l'exposition au plomb aura été précoce, importante et continue. Les effets sanitaires sont surtout neurologiques, digestifs et hématologiques. Chez l'enfant, qui présente une plus grande sensibilité que

l'adulte, l'intoxication peut entraîner une déficience persistante des fonctions cognitives<sup>5</sup>, une altération du développement staturo-pondéral, ainsi qu'un retard de croissance et une atteinte des reins. On parle alors de saturnisme infantile. En 1999, l'Inserm a estimé à 150 000 le nombre d'enfants exposés au plomb dans leur logement et à 84 000 les enfants de 1 à 6 ans ayant une plombémie supérieure à 100 µg/L (seuil pour un cas de saturnisme) [43].

d) *Amiante*

Toutes les variétés d'amiante sont cancérogènes. Le caractère cancérogène est fonction du diamètre, de la longueur, de la composition chimique des fibres. Les risques de cancer augmentent avec la durée et l'intensité des expositions. Les principaux effets sanitaires de l'amiante sont le mésothéliome<sup>6</sup>, le cancer broncho-pulmonaire, l'asbestose<sup>7</sup> et des atteintes bénignes comme des plaques pleurales, une pleurésie<sup>8</sup> bénigne ou encore une fibrose pleurale diffuse. En 1999, on estimait entre 600 et 800 cas de mésothéliome par an et environ 2000 cancers du poumon liés à l'amiante. 100 000 décès seraient attendus d'ici 2025 [44-45].

e) *Bruit*

La notion de bruit est subjective. En effet, un même bruit peut être ressenti différemment d'un individu à l'autre selon qu'il soit intense ou non, subi ou non, répétitif ou non. Pourtant, d'après une étude de l'Ifen réalisée en 2001, 54% des Français seraient gênés par le bruit, qui resterait alors considéré comme l'une des premières atteintes à la qualité de vie.

Les conséquences du bruit sur la santé sont diverses, allant des atteintes physiologiques sur l'appareil auditif à forte exposition aux troubles du sommeil, de la vigilance, du système cardiovasculaire, de l'équilibre psychique avec l'augmentation des taux d'hormones du stress, conséquences de l'exposition régulière au bruit.

### 3.1.2.3 Situation en Bretagne

Selon le BSE, en Bretagne, la pollution de l'air intérieur fait partie des thèmes<sup>9</sup> dont le niveau d'information de la population est le plus faible après le radon : plus de la moitié des Bretons s'estime plutôt mal informée des conséquences sanitaires de cette pollution.

---

<sup>5</sup> Fonctions intellectuelles.

<sup>6</sup> Cancer primitif de la plèvre quasi spécifique d'une exposition à l'amiante.

<sup>7</sup> Fibrose interstitielle pulmonaire diffuse et progressive.

<sup>8</sup> Inflammation de la plèvre, membrane qui entoure les poumons, avec ou sans présence de liquide dans la cavité pleurale

<sup>9</sup> Les différents thèmes investis dans le BSE sont : la pollution de l'air extérieur, la pollution de l'air intérieur, la pollution des sols, le bruit, l'utilisation des téléphones portables, le radon dans les habitations, les peintures au plomb, la légionellose, la qualité de l'eau du robinet.

Mais dans le même temps, la moitié également des Bretons perçoit cette pollution comme présentant un risque élevé pour la santé des Français. 1 Breton sur 6 a déjà ressenti les effets de la pollution intérieure sur sa santé ou celle de son entourage.

a) *Radon*

En Bretagne, 20% des décès par cancer du poumon seraient attribuables au radon soit environ 200 morts par an [46].

b) *Monoxyde de carbone*

En moyenne, une quarantaine de personnes auraient été intoxiqués par an entre 2000 et 2004. Le Tableau 2 permet de juger l'impact des intoxications au CO en Bretagne sur une année.

**Tableau 2 : Impact des intoxications au CO en Bretagne en 2007.**

	Côtes d'Armor	Finistère	Ille et Vilaine	Morbihan	Bretagne
Nombre d'affaires	5	16	6	6	33
Nombre de cas	17	38	10	12	77

Source : Drass Bretagne

c) *Plomb*

Le Tableau 3 présente l'impact de l'exposition au plomb chez l'enfant en Bretagne.

**Tableau 3 : Impact de l'exposition au plomb chez l'enfant en Bretagne, Système national de surveillance des plombémies de l'enfant (1995-2006).**

	Bretagne	France
Nombre de plombémies de primo dépistage	111	55 523
Moyenne des taux annuels de mineurs testés / 100 000	1,2	35,4
Nombre de cas de saturnisme lors du primo-dépistage	3	5867
Rendement du dépistage sur la période (en %)	2,7	10,6

Source : Drass Bretagne

La surveillance organisée par l'InVS montre que depuis 1995, 3 cas de saturnisme ont été déclarés (plombémies supérieures à 100 µg/L) en Bretagne. Cependant, très peu de plombémies de dépistage ont été effectuées dans la majorité des régions françaises notamment en Bretagne (111 dépistages réalisés sur la période 1995-2006) contrairement à la région Ile-de-France et à quelques zones urbaines importantes de France [42].

d) *Amiante*

En Bretagne, les affections consécutives à l'inhalation des poussières d'amiante sont issues principalement du secteur de la construction [43].

e) *Bruit*

La Bretagne est l'une des régions de France où la population se disant gênée (30 à 40%) est la moins importante contrairement à l'Île-de-France ou au Nord - Pas de Calais, où jusqu'à 65% de la population se dit gênée. Conformément au niveau national, les sources les plus fréquemment évoquées sont la circulation routière, les bruits du voisinage, les deux roues et les bruits de la rue mais non liés à la circulation [47]. Chacun des quatre départements bretons dispose d'un « Observatoire du bruit » et produit des cartes de bruit stratégiques de nuit (en Ln) et journalières (en Lden).

#### 3.1.2.4 Bases de données disponibles

L'habitat fait l'objet d'une préoccupation récente. Une base de données partagée, « Sise-Habitat » est en cours d'élaboration [1]. Il s'agit de regrouper les données relatives à l'habitat saisies par les acteurs locaux concernés, afin de permettre une vision globale des risques liés à l'habitat et de disposer d'un outil de gestion des procédures. Ce système s'intéresse en particulier à quatre risques : le saturnisme, l'insalubrité, le radon et le monoxyde de carbone. La prise en compte du risque amiante est différée.

En France, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) [48] est également bien impliqué dans cette problématique et a pour mission l'évaluation et la gestion des risques sanitaires liés aux polluants de l'air intérieur. Il informe le public de l'avancée de ses études par des publications, notamment un « inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments » [49] et des études documentaires de synthèse sur les concentrations en polluants dans les environnements clos.

a) *Radon*

Les campagnes de mesures du radon conduites par l'IRSN ont permis d'estimer le niveau moyen annuel de radon dans l'habitat en France. Sur la base des données des campagnes de l'IRSN et des Ddass, les départements présentant une concentration moyenne en radon supérieure à 100 Bq/m<sup>3</sup> (la valeur guide de l'Union Européenne est de 400 Bq/m<sup>3</sup>) ont été identifiés à *risque radon*. Les résultats de ces mesures sont centralisés au niveau de la base de données Appliradon. De plus, des mesures ont été réalisées dans les lieux ouverts au public par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [50-51].

b) *Monoxyde de carbone*

En France, il n'existe pas de valeur limite pour le monoxyde de carbone dans les bâtiments. Depuis 2005, un nouveau dispositif de surveillance et d'alerte est piloté par le Département santé environnement (DSE) de l'Institut de veille sanitaire.

Toutefois, la base de données CépiDc-Inserm permet d'obtenir le nombre de décès, le taux de mortalité brut et standardisé pour les intoxications au CO, pour tout décès ayant pour cause le monoxyde de carbone, hors incendie et suicides et quand la présence de CO a été identifié.

c) *Plomb*

En France, les résultats de la surveillance du saturnisme infantile sont régulièrement publiés par l'InVS *via* le Système national de surveillance des plombémies de l'enfant (SNSPE). L'exposition au plomb peut être également évaluée par l'étude de l'habitat ancien (Pact Arim), des anciens sites industriels pollués (Basol) et de la qualité de l'eau potable (Drass).

d) *Amiante*

Le programme Espri (Epidémiologie et surveillance des professions indépendantes), réalisé par l'InVS et le RSI (Régime social des indépendants) a pour objectif d'identifier les artisans ayant pu être exposés à l'amiante durant leur carrière professionnelle afin de leur proposer un bilan d'exposition et, en fonction des résultats de leur exposition, un suivi médical. Il permet en outre d'obtenir, selon la Drass Bretagne, des données sur les circonstances d'exposition.

Les données concernant les maladies professionnelles régionales bretonnes de l'année 2005 relatives à l'amiante sont réunies dans une étude de l'ORS Bretagne [52], réalisée à la demande de la DRTEFP.

e) *Bruit*

D'après le CIDB (Centre d'information et de documentation sur le bruit) et selon la Directive Européenne 2002/49/CE sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement, les grandes agglomérations de plus de 100 000 habitants sont chargées d'établir leurs cartes de bruit. Les agglomérations concernées sont pratiquement les mêmes que celles visées par les bilans de la qualité de l'air. Routes, voies ferrées, aéroports, industries, telles sont les grandes sources de bruit ambiant ciblées par la directive.

Chaque région est dotée d'un « Observatoire du bruit ». En Bretagne, il décrit le bruit des infrastructures de transport terrestres ainsi que les expositions au bruit aux abords de ces

infrastructures. La réalisation de cartes stratégiques du bruit permet de localiser les zones exposées au bruit, à l'aide de courbes isophones<sup>10</sup>.

#### 3.1.2.5 Qualité des données

Le Tableau 4 synthétise et commente les informations disponibles dans les différentes banques de données.

(1) Les mesures proviennent d'une enquête non exhaustive pour la plupart des départements. Cela devrait être amélioré lors des prochains résultats. Il existe une forte disparité d'expositions au sein d'une même région. De plus, le nombre de cas en Bretagne est trop faible pour pouvoir mener une étude d'impact du niveau géographique choisi.

(2) Tous les décès dus au CO sont pris en compte, sauf suicides et incendies, lorsque du CO a été détecté. Il est également important de remarquer que de nombreux codes font suspecter une intoxication au CO sans pouvoir l'affirmer, car ils mélangent les décès liés au CO et ceux liés à d'autres gaz. À partir des années 2000, aucun code sélectionné en diagnostic principal n'individualisait l'intoxication au CO et le code T58 «effets toxiques du CO» n'était pas systématiquement porté en diagnostic associé lorsque l'intoxication au CO était certifiée (code T58 présent pour seulement 13% des décès dont le certificat mentionne l'intoxication accidentelle au CO [années 2000 à 2004]). La prise en compte des causes de décès inscrites en clair dans le certificat a permis de redresser le nombre de décès «certains» par intoxication au CO de 2000 à 2004 [38].

(3) Le dispositif de surveillance CO se fonde sur une saisie active qui dépend de la participation des personnes susceptibles de signaler les intoxications, laquelle est variable notamment dans le temps.

(4) Le système Oscour est non exhaustif : il ne couvrait que 94 établissements possédant des services d'accueil d'urgence susceptibles d'accueillir des personnes intoxiquées par le monoxyde de carbone au 1<sup>er</sup> septembre 2007. De plus, ce système est également non spécifique : il ne distingue pas les intoxications par le CO selon leur origine, leur lieu de survenue et leur caractère accidentel ou non. Enfin, ce système se fonde sur un recueil passif et automatisé.

(5) Ces données ne sont pas exhaustives ; l'exhaustivité de ce système de surveillance a été évaluée par une enquête à 69 % en 2000. Depuis 2004 l'exhaustivité de ce système de surveillance a été évaluée à 90 %.

---

<sup>10</sup> Courbes de même intensité phonique.

**Tableau 4 : Qualité des données environnementales et sanitaires, Milieu Habitat**

<b>Facteurs environnementaux</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Bases de données</b>	<b>Echelle géographique</b>	<b>Commentaires</b>
Radon	Proportion d'établissements publics ayant un niveau de radon >400 Bq/m <sup>3</sup>	IRSN, ASN, DONNEES CAMPAGNE RADON	France métropolitaine→ niveau local Enquête 1999-2000	(1)
Monoxyde de carbone	Nombre de décès, taux de mortalité brut et standardisé pour l'intoxication au CO	INSERM-CEPIDC/INVS	France métropolitaine	(2)
	Nombre de cas suspectés ou avérés d'intoxication au CO	DISPOSITIF DE SURVEILLANCE CO INVS-DSE	France métropolitaine	(3)
	Nombre de recours à un service d'urgence parmi 94 hôpitaux	SYSTEME OSCOUR	France métropolitaine	(4)
Plomb	Enfants de 1 à 6 ans avec une concentration en plomb dans le sang >100 µg/L	SNSPE/INVS	France métropolitaine	(5)
	Nombre d'enfants examinés pour saturnisme			
	Déclarations de maladies obligatoires du saturnisme chez l'enfant	CSHPF	France métropolitaine	-
Amiante	Surveillance des artisans ayant été exposés à l'amiante au cours de leur carrière professionnelle	INVS/ESPRI	3 Régions Enquête 2005-2007	(6)
Bruit	Emissions (diurnes et nocturnes) sonores des infrastructures sur la base des trafics estimés à l'horizon 2020	OBSERVATOIRES DU BRUIT	France métropolitaine→ niveau local Enquête 2007	(7)
	Perception des effets du bruit sur la santé	INPES	France métropolitaine	(8)
	Analyse des principales sources de bruit gênant dans l'habitat			

(6) Cette étude n'a pas été réalisée sur tout le territoire français mais simplement sur 3 départements. De plus, seules les expositions professionnelles sont abordées et évaluées.

(7) Cette démarche d'enquête se décompose en 2 échéances. En 2007, des cartes de bruit ont été établies pour les grandes infrastructures routières de plus de 6 millions de véhicules par an, (16 400 véhicules/jour) les voies ferrées dont le trafic annuel est supérieur à 60 000 passages de trains, les aéroports, les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Par la suite, et avant le 30 juin 2012, des cartes de bruit doivent être établies pour les grandes infrastructures routières de plus de 3 millions de véhicules par an, (8 200 véhicules/jour) les voies ferrées dont le trafic annuel est supérieur à 30 000 passages de trains par an, les aéroports, les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Les données obtenues sont très précises mais seuls les axes routiers sont pris en compte et ne permettent donc pas une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

(8) Ces indicateurs sont basés sur la perception du bruit par la population. Il ne s'agit pas d'une mesure précise puisque l'impact du bruit sur la santé est alors mesuré par un « effet perçu ». De plus, des facteurs individuels comme le niveau sociodémographique ou les caractéristiques d'un logement, peuvent influencer la sensibilité à un environnement bruyant.

#### 3.1.2.6 Conclusion

La pluralité et la non spécificité des symptômes et pathologies liées à l'habitat ne facilitent pas l'estimation des expositions aux facteurs environnementaux décrits précédemment.

La plupart des données disponibles ne sont pas exhaustives. De plus, il existe des disparités dans les différentes campagnes de mesures physiques ou de recensement de pathologies réalisées uniquement dans certaines régions françaises, comme l'enquête non exhaustive de l'IRSN au sujet du radon. Il est également nécessaire de souligner que la qualité des données sanitaires est soumise aux déclarations des médecins. Enfin, il faut ajouter qu'en Bretagne le nombre d'intoxications au monoxyde de carbone et de saturnisme (Tableaux 2 et 3) ne sont pas suffisants pour pouvoir mener une analyse. En effet, le faible nombre de cas associé à des données peu sûres pourraient induire des erreurs dans les estimations des expositions. L'exposition à des facteurs environnementaux liés à l'habitat n'est donc, à priori, pas l'angle d'étude le plus judicieux pour mener ce projet.

### 3.1.3 EAU

Il s'agit ici de s'intéresser particulièrement aux eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) ; par conséquent aux eaux de distribution et aux eaux superficielles et souterraines.

#### 3.1.3.1 Généralités

L'eau est une ressource abondante mais non illimitée, et fragile, car soumise à une utilisation et une pollution croissantes, du fait de la progression démographique, de la pression économique et des effets du changement climatique [1].

La qualité de l'eau dépend de facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.) et d'activités humaines produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans les milieux aquatiques [53]. La France dispose de ressources en eau dont les plus vulnérables se dégradent notamment vis-à-vis de certains paramètres de qualité et dans certaines zones du territoire. Les origines de cette dégradation sont agricoles, industrielles et domestiques. Les polluants peuvent se disperser localement dans les nappes aquifères quand les installations sont mal isolées, provenir de rejets dans les eaux superficielles ou migrer dans les nappes profondes.

#### 3.1.3.2 Exposition et effets sur la santé

L'eau obéit à un cycle complexe marqué par une interdépendance entre les ressources superficielles ou souterraines soumises aux activités humaines et des déchets produits par l'Homme. L'eau peut ainsi contenir des contaminants microbiologiques induisant des dangers à court terme, ou des contaminants chimiques responsables de risques avérés ou suspectés à plus ou moins long terme. La contamination peut se faire par ingestion, par contact ou par inhalation d'aérosols [54].

##### a) *Risque microbiologique*

Le risque microbiologique est le principal risque sanitaire lié à l'eau. Généralement, il se traduit par des gastroentérites aiguës pour les agents bactériens et viraux et par des pathologies parasitaires spécifiques (leptospirose...). Néanmoins, des problèmes sanitaires autres que digestifs, moins fréquents mais parfois graves, comme des affections ophtalmologiques et oto-rhino-laryngologiques peuvent également apparaître [1]. Les épidémies d'origine hydrique sont cependant très rares en France.

##### b) *Risque chimique*

Le risque chimique est lié à l'exposition, notamment par ingestion, à faible ou très faible dose, d'éléments toxiques pendant une très longue période, qui peuvent être responsable de la survenue d'effets sur la santé à moyen ou long terme. C'est la présence de plomb,

de nitrates ou de pesticides qui est le plus souvent responsable d'effets sanitaires indésirables.

La toxicité du plomb s'exprime au niveau de différents organes cibles entraînant chez l'enfant des troubles neuropsychiques [55].

En ce qui concerne les effets des nitrates [56], dont l'augmentation des teneurs dans les eaux est particulièrement liée aux pratiques agricoles et d'élevage, ils sont encore sujets à controverse [1]. Si leur effet chez les nourrissons a été clairement prouvé (syndrome du bébé bleu), leur rôle cancérigène chez l'Homme au niveau de l'estomac n'a jamais été formellement démontré.

Les pesticides quant à eux, sont d'une toxicité mal connue. La complexité du problème résulte du grand nombre de molécules utilisées et de leur transformation en métabolites dont la détection dans l'eau est difficile. Malgré cela des études [57-58] ont permis de dégager des informations sur des effets cancérigènes (avec toutefois quelques controverses persistantes), des effets reprotoxiques (infertilité masculine, malformations congénitales...) et des effets neurologiques pourtant moins documentés (troubles neuropsychologiques, maladie de Parkinson...).

#### 3.1.3.3 Situation en Bretagne

En Bretagne, plus de 80 % des eaux brutes utilisées pour produire de l'eau potable proviennent des eaux de surface et pour le reste des eaux souterraines. L'agriculture bretonne est la source principale d'émission dans l'eau de nombreux polluants : pesticides, nitrates, phosphore, azote ou résidus de médicaments à usage vétérinaires. Cependant, les autres secteurs d'activités sont également des sources émettrices non négligeables (industries, stations d'épuration...).

La qualité des eaux est une préoccupation majeure en Bretagne, et de ce fait, de nombreux sites Internet regroupent informations et bases de données spécifiques à cette région [59-63] permettant de mieux appréhender l'exposition de la population à ce milieu.

Selon le BSE, 76% des Bretons ont le sentiment d'être bien informés sur la qualité de l'eau et ses effets sur la santé, mais globalement il existe une relative défiance, même chez les personnes se considérant bien informées. Ainsi, près d'1 Breton sur 2 ne boit pas l'eau du robinet.

#### 3.1.3.4 Bases de données disponibles

Le portail national du Système d'information sur l'eau (SIE) français s'appelle Eau France, et est géré par le Sandre [64]. Les données sur la qualité des cours d'eau sont accessibles grâce aux portails des agences de l'eau. L'agence Loire-Bretagne gère, au sein d'une base de données appelée Osur [65], l'ensemble des informations recueillies

dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux de surface du bassin Loire-Bretagne. Des données brutes et non traitées peuvent être importées.

Mis en place dans le cadre de la directive cadre sur l'eau, le Réseau de contrôle de surveillance des eaux (RCS) est destiné à donner l'image de l'état général des eaux à la commission européenne. Il suit une logique de « suivi des milieux aquatiques » avec des valeurs seuils définissant un bon état. 87 stations situées en rivières permettent le suivi de l'ensemble des eaux de surface de Bretagne.

La Diren publie quant à elle des tableaux de bord et des cartes qui permettent de constater les évolutions relatives à la reconquête de la qualité des eaux en Bretagne, d'informer le public et de dialoguer avec les associations de protections de la nature [66]. La Diren a également mis en ligne un site dédié à la qualité des eaux et permet ainsi un accès permanent à la qualité des cours d'eau de Bretagne. Il s'agit d'un outil moderne et précis, fournissant des données sur tous les cours d'eau de Bretagne et de nombreux paramètres physico-chimiques. Différents thèmes sont abordés : les situations quantitatives et qualitatives de la ressource en eau, les programmes engagés pour sa préservation...

La Corpep [67] s'attache à coordonner l'acquisition de données pour connaître la situation en matière de contamination de l'eau et du milieu aquatique par les produits phytosanitaires. Elle dresse des constats de pollutions accidentelles et de contaminations diffuses des eaux de surface, et cherche à évaluer les effets de la contamination sur les divers usages de l'eau, pour la production d'eau potable mais aussi vis à vis du milieu naturel, en étudiant la présence de produits phytosanitaires dans différents compartiments de l'écosystème aquatique. La Corpep fournit des cartes de risque phytosanitaire pour la Bretagne.

Le RNES (Réseau national de suivi des eaux souterraines), réseau de connaissance de l'évolution spatio-temporelle de la qualité des nappes qui intègre dans ses objectifs la réponse aux exigences de la Directive-Cadre sur l'Eau, a été mis en oeuvre en 2001. Il recherche et mesure les paramètres physico-chimiques classiques et les micropolluants (organiques et minéraux). En 2007, le RNES était doté de 344 stations de mesure.

Dans chaque département, un contrôle réglementaire relevant de la compétence de l'Etat est exercé par le service santé environnement de la Ddass/Drass [68]. Cette mission porte sur l'ensemble de la distribution d'eau depuis le point de captage jusqu'au robinet du consommateur. Les résultats d'analyses de ces contrôles font l'objet d'une interprétation sanitaire et d'une gestion par le service Santé environnement. Ils sont diffusés très largement et en particulier auprès des maires et des distributeurs d'eau.

Enfin, l'Ifen dispose également de diverses bases de données environnementales régionales intéressantes [30].

Pour terminer, il s'agit de remarquer que le peu de données sanitaires concernant les pathologies liées à l'eau reflète la faible spécificité de ces maladies. L'InVS [69-70] fournit toutefois *via* des tableaux et graphiques le nombre de cas des maladies à déclaration obligatoire : légionellose, leptospirose, botulisme...

### 3.1.3.5 Qualité des données

Le Tableau 5 permet de distinguer les bases de données les plus pertinentes.

**Tableau 5 : Qualité des données environnementales, Milieu Eau**

Bases de données	Indicateurs	Echelle géographique	Commentaires
OSUR WEB	Qualité eaux de surface	Régionale-Communale Cours d'eau Bassin versant	(1)
RCS	Qualité des cours d'eau	Cours d'eau	
DIREN	Qualité des eaux de surface & des eaux souterraines	Cours d'eau et nappes	
DRIRE	Rejets des industries dans les eaux	Installation industrielle	(2)
CORPEP	Pesticides dans cours d'eau	Cours d'eau	(3)
RNES	Qualité des eaux souterraines	Nappe d'eau souterraine	(1)
DRASS	EDCH	Communale	(4)
IFEN	Qualité des eaux de surface & des eaux souterraines & EDCH	Régionale	(1)(4)
INVS	Evolution du nombre de cas de maladies hydriques à DO de 1996 à 2008 Taux d'incidence de maladies hydriques à DO de 1996 à 2008	France	(5)

(1) Il s'agit de données précises concernant de nombreux paramètres physico chimiques de la qualité des eaux. Les informations sont disponibles pour la grande majorité des cours d'eau de la Bretagne.

(2) Les données sont fournies par les industries et il ne s'agit donc pas de mesures *in situ*.

(3) Le réseau de la Corpep comprend actuellement 10 stations réparties chacune sur une des rivières suivantes : l'Arguenon, l'Aven, l'Evel, la Flume, le Gouessant, le Meu, la Rance, la Seiche, l'Horn et l'étang de Sainte Suzanne à Saint Coulomb. Ainsi, ces stations ne couvrent pas toute la Bretagne. Cependant, une carte du risque phytosanitaire pour la Bretagne est réalisée chaque année et représente le risque de contamination des

eaux par les produits phytosanitaires exprimé en trois niveaux : risque faible, risque moyen et risque fort.

(4) Les données sont issues de mesures portant sur l'ensemble de la distribution d'eau depuis le point de captage jusqu'au robinet du consommateur conformément à la réglementation en vigueur. La fréquence et les types d'analyses réalisées sont fonction de l'origine et de la nature des eaux, des traitements et de l'importance de la population desservie. Les échantillons d'eau prélevés en des points représentatifs du réseau sont analysés dans les laboratoires agréés pour les analyses d'EDCH. Les résultats de ces contrôles font l'objet d'une interprétation sanitaire et d'une gestion par le service Santé Environnement. Ils sont diffusés très largement et en particulier auprès des maires et des distributeurs d'eau.

(5) Il s'agit de données fiables car les maladies hydriques décrites dans cette base de données sont des pathologies soumises à DO.

#### 3.1.3.6 Conclusion

En Bretagne, la majorité des données environnementales disponibles concernent les cours d'eau. De nombreuses informations et propriétés physico-chimiques de l'eau très précises sont disponibles.

Toutefois, il est difficile de s'intéresser aux expositions environnementales liées à l'eau. En effet, les effets sanitaires sont soit peu spécifiques, soit trop peu nombreux pour pouvoir mener à bien une telle étude. De plus, peu de données sanitaires sont disponibles concernant les maladies hydriques. En effet, des informations sont accessibles pour des pathologies comme la Légionellose ou la Leptospirose mais en aucun cas sur des maladies aussi peu spécifiques que les gastro-entérites liées à l'ingestion d'eau souillée.

Ainsi, étudier les données environnementales et sanitaires relatives à l'eau pour déterminer des éléments de faisabilité d'une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire ne paraît pas justifié.

### 3.1.4 SITES ET SOLS POLLUES

#### 3.1.4.1 Généralités

Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltrations de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pour les personnes ou l'environnement (Définition du Ministère de l'aménagement de territoire et de l'environnement, 1996).

Les pressions de plus en plus fortes exercées sur les sols (contamination chimique, enfouissement des déchets, etc.), associées à leurs capacités de régénération limitées (rétention des polluants, épuration moindre, etc.), ont conduit à les considérer comme un milieu susceptible d'être à l'origine de risques sanitaires.

#### 3.1.4.2 Exposition et effets sur la santé

La question de la pollution des sols ne fait l'objet d'une prise de conscience que depuis une vingtaine d'années [71]. Le recensement récent en France des sites et sols pollués [72-73] a permis d'identifier les substances nocives les plus présentes dans ces sites. Ces polluants sont principalement de nature chimique. Certains métaux lourds ou métalloïdes sont connus pour leur pouvoir neurotoxique (ex : le plomb) ou cancérigène (ex : l'arsenic, le cadmium ou le chrome VI) par ingestion et/ou inhalation. Certains hydrocarbures, en particulier le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont reconnus pour leurs effets CMR (cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques<sup>11</sup>). Enfin, beaucoup de solvants halogénés ou leurs produits de dégradation sont reconnus comme substances très toxiques, toxiques et nocives, parfois cancérigènes (ex : le trichloroéthylène).

L'exposition à la pollution peut être directe (par ingestion du sol) ou indirecte *via* les eaux souterraines, les eaux superficielles, les envols de poussières, les transferts vers les produits alimentaires et les émissions de vapeur. Les expositions potentielles concernent essentiellement les personnes présentes sur les sites pollués ou à proximité [74].

L'estimation des expositions fait appel à la modélisation des transferts et à la mesure effective des polluants. Les cas d'effets sur la santé imputables sans ambiguïté à la pollution des sols sont rares. Des plombémies élevées ont parfois été mesurées, mais souvent, sans que l'on puisse distinguer la part due au site pollué de celle due aux émissions actuelles du site industriel ou de celle du bruit de fond local.

#### 3.1.4.3 Situation en Bretagne

La pollution des sols en Bretagne a plusieurs origines [47]. L'agriculture, avec l'épandage de lisiers contenant des traces de métaux et fertilisation azotée ou phosphorée participe activement à cette pollution et également à l'eutrophisation des eaux continentales et littorales. Il est important de noter que la Bretagne est la région où la quantité annuelle d'azote vendue par hectare de surface fertilisable est la plus importante (196 kg/ha en 2004, Ifen). De plus, les boues des activités industrielles et les boues des stations

---

<sup>11</sup> CMR : Composés soit toxiques pour la reproduction, pouvant entraîner entre autres des possibilités de stérilité, soit/et cancérigènes, pouvant entraîner un cancer, soit/et mutagène, entraînant des mutations génétiques.

d'épuration épanchées sur des sols agricoles peuvent être contaminées par des micropolluants.

La Bretagne présente la particularité d'avoir peu de sites industriels pollués. De plus, la fermeture et la réhabilitation des décharges sauvages, a notablement réduit les risques de pollution des sols.

#### 3.1.4.4 Bases de données disponibles

Basias (Base des anciens sites industriels et activité de service) est une base de données faisant l'inventaire de tous les sites industriels ou de services, anciens ou actuels, ayant eu une activité potentiellement polluante. Développée par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) pour le MEDD elle est accessible librement sur internet. A terme, quand tous les départements seront inventoriés, Basias pourrait contenir plus de 300 000 sites. D'ors et déjà, 14 276 sites sont répertoriés pour la Bretagne.

Basol est une base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Le recensement est réalisé par les préfetures et les DRIRE, et est actualisé en continu. 62 sites bretons sont inscrits sur la base de données publiques Basol. Depuis 2005, les sites n'appelant plus d'action de la part des pouvoirs publics chargés de la réglementation sur les installations classées, ont été transférés de Basol à Basias.

Le réseau RMQS (Réseau de mesure de la qualité des sols) [75] repose sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 kilomètres de côté, calée sur le Réseau européen de suivi des dommages forestiers. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations seront effectués tous les dix ans au centre de chaque maille. La première campagne de prélèvement s'est achevée à la fin de l'année 2008.

Dans le cadre du Gissol (système d'information des sols de France), l'Inra d'Orléans et l'Ifen ont tenté de déterminer des indicateurs environnementaux pertinents sur la base de la maille du RMQS (Indiquasol-indicateurs de la qualité des sols) [76]. Les indicateurs choisis permettent, d'une part, d'interpréter l'ensemble des mesures sur les sols effectué au sein du RMQS (relation pressions / états des sols) et, d'autre part, de diffuser l'information à d'autres utilisateurs et à d'autres dispositifs environnementaux.

Toutes les opérations réalisées sur un site pollué sont détaillées dans le « Manuel du Réseau de mesures de la qualité des sols » [77]. Au 23 janvier 2009, seuls 9 points de mesures étaient disponibles en Bretagne.

### 3.1.4.5 Qualité des données

Le Tableau 6 rassemble les informations des diverses bases de données citées précédemment.

**Tableau 6 : Qualité des données environnementales, Milieu Sites et sols pollués**

Bases de données	Indicateurs	Echelle géographique	Commentaires
BASIAS	Nombre de sites potentiellement pollués	France métropolitaine → échelle locale (plus d'un site par commune)	(1)
BASOL	Nombre de sites pollués	France métropolitaine	(2)
RMQS- INDIQUASOL	Nombre de sites pollués Qualité des sols (pH, rapport C/N, plomb chrome...)	France métropolitaine Maille de 16km*16km soit 25600 ha	(3)

(1) Cette base de données fournit des informations avec des localisations précises (coordonnés Lambert). De nombreux sites sont présents en Bretagne ainsi que l'état d'occupation des sols, ce qui rend potentiellement possible une étude. Les sites potentiellement pollués sont inscrits dans cette base de données. L'inscription d'un site à cet inventaire ne signifie donc pas qu'il soit forcément pollué. L'état d'avancement du recensement est inégal du point de vue géographique. En effet, certaines régions ont totalement fini de renseigner la base de données quand des villes n'ont pas commencé.

(2) Tout comme Basias, les données issues de Basol sont extrêmement précises. Cependant, seuls 32 sites Basol sont surveillés en Bretagne ce qui rend difficile toute étude concernant l'impact du choix de l'unité géographique retenu. Enfin, il faut être méfiant quant aux doublons possibles en les bases de données Basias et Basol.

(3) La maille de 16 km<sup>2</sup> est une unité d'étude assez fine pour permettre une étude comparative. Toutefois, il existe encore trop peu de points de mesures en Bretagne.

### 3.1.4.6 Conclusion

Il est important de noter que l'inconvénient principal de l'exposition aux sites et sols pollués est l'absence de réelles pathologies spécifiques. En effet, il n'est pas possible de déceler avec certitude si des effets neurotoxiques ou cancérigènes sont dus à une exposition aiguë ou chronique à des sites ou sols souillés ; de plus, il n'existe aucune banque de données sanitaires disponibles à ce sujet.

La Bretagne ne compte que peu de sites et sols pollués, cependant, Indiquasol permet de recueillir de nombreuses données concernant ces milieux. Il faut d'ailleurs ajouter que ces données sont disponibles à une échelle géographique très fine (16 km \* 16 km).

Toutefois, le manque de données sanitaires fiables et spécifiques, amène à abandonner les estimations des expositions aux sites et sols pollués pour cette étude.

### **3.1.5 ALIMENTATION**

Le choix a été fait de ne pas dissocier les produits de la mer, les produits d'origine alimentaire, les produits laitiers, les légumes et les fruits, les céréales et les boissons (hors eau) en différentes classes. L'alimentation sera ainsi traitée dans sa globalité. Il a été également décidé de traiter les eaux d'alimentation (eau du robinet principalement) à part (Chapitre 3.1.3).

#### **3.1.5.1 Généralités**

Les contaminations environnementales des aliments peuvent être multiples. Un grand nombre de polluants chimiques, biologiques, ou physiques, provenant de l'air, de l'eau ou des sols, peuvent se retrouver dans les plantes et les produits animaux. Les maladies d'origine alimentaire sont habituellement infectieuses ou toxiques [1]. On parle de Tiac (Toxi-infection alimentaire collective) lorsque plusieurs personnes sont touchées [78].

#### **3.1.5.2 Exposition et effets sur la santé**

##### *a) Contaminants d'origine chimique*

Les contaminants d'origine chimique sont très variés. Il peut s'agir de métaux (mercure, plomb, cadmium...), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, d'engrais, de pesticides, d'effluents domestiques. Les sources de pollution sont également nombreuses : émissions industrielles, pratiques agricoles, traitement des déchets. Le risque est d'autant plus grand que certains aliments concentrent les éléments chimiques (les moules accumulent le plomb, le poisson le mercure, le lait de vache les dioxines...)

##### *b) Contaminants d'origine biologique*

Les contaminants d'origine biologique sont essentiellement des microorganismes (bactéries, virus, parasites). Les accidents alimentaires d'origine bactérienne sont généralement responsables de toxi-infections alimentaires. La contamination alimentaire peut être également virale (VHA, gastroentérites...) ou parasitaire (toxoplasmose). Les infections se transmettent alors le plus souvent par la consommation d'eau et d'aliments contaminés par des matières fécales. Enfin, il existe aussi le risque lié aux prions menant à des encéphalopathies subaiguës spongiformes transmissibles (ESST) telle la maladie de Creutzfeld-Jacob chez l'Homme ou la « vache folle » chez le bovin.

### c) Contaminants d'origine physique

Les cas de contaminations physiques sont plus rares et dus à des radioéléments naturels (ou artificiels) comme l'uranium.

#### 3.1.5.3 Situation en Bretagne

En France, pour la période 2006/2007 et selon l'InVS, 2003 Tiac auraient été déclarées, impliquant 855 malades, 1560 hospitalisations et 10 décès. Le nombre de Tiac déclarées dans les départements bretons serait plus élevé par rapport aux autres départements français [79].

#### 3.1.5.4 Bases de données disponibles

La recherche de données concernant les infections alimentaires, dans la base de données du CépiDc-Inserm porte sur les statistiques jusqu'en 2006 et sur les décès codés en cause initiale ou en causes associées selon un code de la CIM-10 correspondant aux pathologies attribuables à des agents infectieux . Pour chaque pathogène, le nombre de décès codés en causes initiales et associées peuvent être extrait de la base.

La liste des maladies à DO (Déclarations obligatoires) est fixée par décret. 24 maladies sont actuellement à déclaration obligatoire auxquelles se rajoute le signalement des infections nosocomiales depuis 2001. 6 maladies potentiellement d'origine alimentaire sont à DO : les Tiac, le botulisme, la brucellose, la listériose, les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes et le choléra. Les données concernant ces maladies sont disponibles sur le site de l'InVS sous l'onglet « bases de données » [69].

Le Réseau Sentinelles est un système de surveillance composé d'environ 1200 médecins généralistes sentinelles répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain. Les données du Réseau Sentinelles peuvent être utilisées pour les estimations concernant les agents pathogènes à l'origine de diarrhées aiguës et pour l'hépatite A. Chaque semaine, des cartes des situations épidémiologiques (varicelles, gripes, gastroentérites...) sont disponibles sur le site Sentiweb.

Enfin, la seule base de données environnementales concernant l'alimentation actuellement disponible est la base Bappet [80], dont l'objectif est de regrouper sur un support unique des informations documentaires relatives à la contamination des plantes potagères par les éléments traces métalliques dans différents contextes de pollution. Ces informations sont issues principalement des publications scientifiques récentes. La base a

---

<sup>13</sup> Moyenne glissante : Type de moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées de données, le plus souvent des séries temporelles, en supprimant les fluctuations transitoires de façon à en souligner les tendances à plus long terme.

été conçue pour mettre les données à disposition des opérateurs en charge des diagnostics environnementaux par le biais de critères discriminants.

S'agissant des données de contamination des aliments, des prélèvements de produits de consommation courante sont régulièrement effectués par la DGCCRF et la DGAL, en vue du dosage de divers contaminants.

### 3.1.5.5 Qualité des données

Le Tableau 7 présente les caractéristiques des banques de données choisies.

**Tableau 7 : Qualité des données sanitaires et environnementales, Milieu Alimentation**

Indicateurs	Bases de données	Echelle géographique	Commentaires
Nombre décès liés à une maladie infectieuse et/ou parasitaires	CEPIDC-INSERM	Régionale à infrarégionale selon effectifs	(1)
Nombre de déclarations obligatoires concernant des pathologies liées à l'alimentation	DECLARATION OBLIGATOIRE	Communale	(2)
Nombre de patients déclarés souffrant d'une pathologie liée à l'alimentation	RESEAU SENTINELLE	Communale	(3)
Contamination des plantes potagères par les éléments traces métalliques	BAPPET	France métropolitaine et non métropolitaine	(4)

(1) La validité de cette source de données repose que la qualité d'information fournie par le médecin dans le certificat adressé au CépiDc-Inserm (InVS morbidité et mortalité). Les sources d'erreur à ce niveau tiennent au fait que la cause du décès peut être difficile à déterminer, que le certificateur n'est pas toujours le praticien qui avait en charge le patient avant son décès ou que les résultats des examens permettant de préciser la cause de la mort (examen microbiologique) ne sont pas toujours disponibles. Par ailleurs, la CIM-10 ne fournit pas de code spécifique pour toutes les pathologies liées à l'alimentation. Certaines des infections, comme celle à *Campylobacter*, sont codées au sein d'un code plus général. Toutefois, il est intéressant de noter que les données sont disponibles à l'échelle nationale, régionale, départementale et également à l'échelle des « grandes villes ».

(2) La DO reposant sur la participation volontaire des médecins n'est pas toujours exhaustive. Cette exhaustivité est différente selon les maladies.

(3) Les patients qui consultent un autre médecin qu'un médecin généraliste pour la pathologie étudiée ne sont pas inclus dans les estimations de consultations. De plus, les médecins du réseau Sentinelles sont bénévoles et volontaires et acceptent une charge de travail supplémentaire pour la surveillance. Il s'agit donc d'une sélection de médecins

motivés qui peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble des médecins généralistes. Enfin, les estimations sont basées sur les données communiquées par un faible nombre de médecins. Ce faible nombre compromet la représentativité du réseau et induit des erreurs pour lesquelles aucune correction ne peut être appliquée. Pour les pathologies peu fréquentes, cela entraîne une incertitude importante des estimations faites à partir des données observées.

(4) Les informations recueillies proviennent principalement de publications scientifiques récentes. Une mise à jour de la base est envisagée avec une fréquence d'environ 2 ans. Une notice d'utilisation est mise à disposition.

#### 3.1.5.6 Conclusion

Contrairement aux autres milieux précédemment abordés, les bases de données concernant l'alimentation sont principalement sanitaires et non pas environnementales. Les bases de données sanitaires relatives à l'alimentation révèlent toutes le même point faible : la qualité des données est fonction de la participation des médecins, des informations fournies et d'un codage adapté. Il est alors légitime de se poser la question de la pertinence et de la fiabilité de ces informations...

### 3.1.6 ENVIRONNEMENT PROFESSIONNEL

#### 3.1.6.1 Généralités

Bien que la nature des tâches, les pénibilités physiques et les formes modernes d'organisation du travail puissent être à l'origine de stress et de maladies, des facteurs conditionnent la santé au travail et interagissent parfois avec les agents environnementaux (physiques, chimiques et biologiques) présents dans les milieux professionnels [81].

#### 3.1.6.2 Exposition et effets sur la santé

Les principaux facteurs auxquels sont confrontés les professionnels sont le bruit, les produits cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques. Les effets sur la santé peuvent être divers : cancers, pathologies respiratoires, allergies, affections dermatologiques, troubles neuropsychiques, troubles de la reproduction etc....Toutefois, les effets sanitaires des expositions professionnelles dépendent du secteur d'activité et de la tâche effectuée [82].

Malgré les informations disponibles concernant les expositions professionnelles à des facteurs environnementaux, il n'est pas possible d'en déduire facilement l'impact sanitaire global sur la santé de la population active française. En effet, la plupart des maladies induites par ces expositions ne sont pas spécifiques (sauf exceptions comme le mésothéliome imputable à l'amiante), de plus elles sont souvent multifactorielles.

Enfin, calculer la part imputable au travail en France suppose de disposer de données fines sur leur répartition dans la population, couplées à des estimations sur les expositions vie entière non disponibles à ce jour. Toutefois, une estimation de ces calculs a été faite par l'InVS pour certains cancers attribuables à des expositions professionnelles [83].

Il est important de noter qu'il existe une sous déclaration considérable des maladies professionnelles. Il est également nécessaire d'ajouter que certaines maladies apparaissent souvent longtemps après que l'exposition ait cessé. De fait, le lien n'est pas toujours fait avec les expositions professionnelles passées. L'impact sanitaire ne peut donc se baser uniquement sur le simple décompte des maladies professionnelles indemnisées.

#### 3.1.6.3 Situation en Bretagne

La DRTEFP [84], dans son étude de 2008 [85] aborde les relations et les conditions de travail en Bretagne. Il apparaît que les maladies professionnelles reconnues en 2006 et liées à des facteurs environnementaux sont l'amiante et les cancers broncho pulmonaires primitifs (6% des maladies professionnelles) ainsi que la surdité (1%). De plus, il est à noter que le secteur agro-alimentaire est, de loin, le secteur où le nombre de maladies professionnelles est le plus élevé (41,4%) [86].

#### 3.1.6.4 Bases de données disponibles

Des informations d'ensemble sur les expositions au travail sont disponibles grâce à l'enquête Sumer (Surveillance médicale des risques professionnels) menée en 1987, puis en 1993-1994 et en 2002-2003 [87] par la DRT et la Dares. La base Colchic [88] rassemble, quant à elle, près de 500 000 données sur les expositions professionnelles au risque chimique en France, soit près de 440 000 mesures d'exposition et 56 000 résultats d'analyses de produits chimiques faites par les laboratoires interrégionaux des Cram [89] et par ceux de l'IRSN [90]. De plus, la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des travailleurs Salariés (Cnam-TS) fournit également des statistiques sur le thème des expositions et des maladies professionnelles. Enfin, l'employeur, par l'intermédiaire des services compétents, évalue et si nécessaire mesure les niveaux d'expositions des travailleurs. Les résultats de cette évaluation sont consignés sur un support approprié et sont régulièrement mis à jour.

#### 3.1.6.5 Qualité des données

Les statistiques de la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (Cnam-TS) ne fournissent que des éléments de comparaison par secteur, sur l'ampleur réelle des impacts sanitaires. De plus, les documents sur les risques et les expositions

existants dans les entreprises (expositions à des produits CMR, bruit...) ne sont pas centralisés et ne font actuellement pas l'objet d'exploitation [91].

#### 3.1.6.6 Conclusion

Le dispositif actuel de recensement des expositions professionnelles, auprès des services de l'Etat, ne permet pas une exploitation fiable et représentative de la situation, notamment en Bretagne. Il n'y a pas, à ce jour et à notre connaissance, de base de données satisfaisante permettant de connaître l'exposition des travailleurs. De plus, il ne faut pas négliger le problème des multi expositions et des sous-déclarations comme cela a été remarqué précédemment, qui faussent les évaluations des expositions. L'objectif de ce mémoire est la détermination d'éléments de faisabilité pour une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire. Or, il n'existe aucune base de données spatialisée, chacune d'entre elles fournissant des informations par secteur d'activité.

#### 3.1.7 BILAN

Les critères de sélection des indicateurs environnementaux et sanitaires retenu précédemment (3.2.2.) justifient le choix de se focaliser sur le milieu « Air ambiant » pour la détermination d'éléments de faisabilité d'une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire. En effet, il s'agit d'un milieu de vie bien documenté, par des sources fiables et disponibles, telle que le cadastre atmosphérique d'Air Breizh (Annexe 4) -qui permet d'avoir accès à des informations à des échelles géographiques extrêmement fines de l'ordre du kilomètre carré- ou encore les données de la BDQA qui est alimentée, entre autres, par le réseaux des stations de mesure d'Air Breizh (Annexe 5) et disponibles très facilement *via* Internet. Le matériel et les protocoles normés utilisés justifient la fiabilité des données.

En ce qui concerne les effets sanitaires liés à la pollution atmosphérique, ils paraissent très complexes et liés à divers polluants pouvant de surcroît agir en synergie. Cependant, depuis quelques années la littérature permet de justifier un lien de cause à effet entre l'exacerbation de crises d'asthme et la qualité de l'air. Cette pathologie a l'avantage d'avoir un temps de latence très faible et un nombre de cas recensé élevé.

Enfin, la question du risque attendu de la pollution de l'air ambiant pour la population est tout à fait intéressante puisque les risques individuels sont faibles, mais à l'échelle de la population tout entière les impacts ne sont pas négligeables. L'air « extérieur » ou « ambiant » est donc à priori un bon angle d'étude pour notre problématique. Des indicateurs environnementaux et sanitaires doivent être désormais définis et estimés à partir des données disponibles et justifiés par la littérature.

## **3.2 Identification des indicateurs qui peuvent être estimés – Justification par la littérature**

### **3.2.1 INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX**

S'agissant des effets à court terme, la majeure partie des enquêtes écologiques relatives à la pollution atmosphérique mettent en évidence des corrélations significatives entre les données sanitaires et des indicateurs environnementaux, le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les particules fines (PM), les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub> = NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO), le plomb (Pb), l'ozone (O<sub>3</sub>), les composés organiques volatils dont le benzène [92] [93].

Généralement, c'est la concentration moyenne annuelle (modélisée grâce aux valeurs journalières) en NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> dans l'air ou les dépassements de la valeur limite d'immission horaire qui sert de références. C'est d'ailleurs par ces indicateurs que les Aasqa justifient la qualité de l'air.

### **3.2.2 INDICATEURS SANITAIRES**

Les indicateurs de santé utilisés dans les études écologiques relatives à la pollution atmosphérique sont nombreux [92] et concernent la mortalité (toutes causes non accidentelles, causes respiratoires et cardiovasculaires), les activités médicales (admissions hospitalières d'urgence pour causes respiratoires ou cardiovasculaires), pharmaceutiques (consommation de médicaments spécifiques), professionnelles ou autres [94].

#### **3.2.2.1 Hospitalisations**

Le recensement des admissions hospitalières est très souvent utilisé comme indicateur sanitaire pour la pollution atmosphérique [95-97], et est d'ailleurs conseillé par l'InVS [15], à partir des données du PMSI.

S'agissant de l'asthme, dans une étude menée par la FNORS [1], une procédure de chaînage des séjours, grâce à un identifiant unique et anonyme pour chaque patient, a été appliqué pour comptabiliser le nombre d'enfants de moins de 15 ans différents hospitalisés dans l'année (et non le nombre de séjours enregistrés dans l'année). Toutefois, plusieurs biais peuvent limiter l'interprétation de ces données. Le diagnostic principal est celui qui a mobilisé le plus de ressources. Il ne correspond pas au motif d'admission. Les séjours définis comme en rapport avec l'asthme sont ceux ayant un code d'asthme (CIM 10 : J45-J46) en diagnostic principal, ainsi que ceux ayant un code d'insuffisance respiratoire aigu en diagnostic principal (CIM 10 : J960) avec un code

d'asthme en diagnostic associé. De plus, chez l'enfant de moins de 5 ans, on note une association fréquente avec des pathologies infectieuses (pneumopathies et bronchiolites). Pour l'insuffisance respiratoire aiguë associée à un asthme, l'absence de hiérarchisation dans les diagnostics associés ne permet pas de savoir si l'asthme était la cause de l'insuffisance respiratoire. Enfin, comme cela a été remarqué précédemment (4.1.1.5), le PMSI n'enregistre pas les passages dans les services d'accueil des urgences, ni les consultations externes.

Ces indicateurs d'hospitalisations, avec les limites qu'ils comportent, peuvent être intéressants pour suivre les tendances sur plusieurs années, ou pour décrire les séjours hospitaliers pour asthme.

### 3.2.2.2 Interventions médicales

Le recensement du nombre d'interventions de SOS Médecins ou du Samu ayant pour motif une crise d'asthme, par exemple, permet également de fournir des données sanitaires fiables concernant la pollution atmosphérique, comme cela a déjà été pratiqué dans diverses études [98-99]. L'avantage majeur de cet indicateur réside dans le fait que les données soient disponibles à une échelle géographique très fine.

Cependant, il s'agit d'un travail long et difficile que de récupérer ces informations auprès des structures concernées. De plus, s'agissant des crises d'asthme, il existe de nombreux facteurs de confusion et de variation potentiels : données météorologiques, comptes polliniques, grippe, vacances, jours fériés... [98].

Pour terminer, des études [96-97] font référence à la notion de sévérité et de sensibilité dans la population, ou encore des motifs comportementaux - atteindre un état suffisamment sévère pour nécessiter un recours aux urgences prend un certain temps - qui pourraient fausser les données obtenues. Toutefois, selon Laurent *et al.* [100], l'exacerbation des crises d'asthme donnant lieu à appel aux services mobiles d'urgence (donc dans une situation proche des recours aux services d'urgence hospitaliers) se manifesterait plutôt le jour même.

SOS médecins couvre 80% du territoire en milieu urbain et périurbain et traite la majorité des appels parvenant au Samu nécessitant un avis médical rapide. Il est donc important de regrouper les informations provenant de ces deux structures.

N.B : Hors données du PMSI, les indicateurs sanitaires par région, par département ou par commune sont à prendre avec précaution. En effet, les signalements d'urgence, les déclarations obligatoires etc. correspondent au département ou commune de domicile de chaque cas et ne prennent pas en compte la possibilité d'un domicile hors région, les déplacements professionnels ou encore les voyages. De même se pose le problème des patients domiciliés dans une autre région ou un autre pays présents dans la région

pendant leur période d'exposition. La répartition géographique des cas n'est donc qu'en partie le reflet de la répartition des expositions.

Pour conclure, le recensement des interventions médicales pour le recueil de données sanitaires peut donc s'avérer intéressant, sous réserve de pouvoir se procurer facilement les informations précises souhaitées auprès des structures concernées.

### 3.2.2.3 Ventes de médicaments

Un indicateur sanitaire représenté par les ventes de médicaments à visée respiratoire peut être également proposé [101-102]. Cet indicateur contient une information originale relative à la prévalence des cas soignés en ambulatoire, particulièrement pertinente dans l'étude des facteurs environnementaux puisque l'indicateur ne se limite alors pas aux cas les plus graves (mortalité, admissions hospitalières). De plus, ces données sanitaires, disponibles *via* l'Assurance maladie, sont particulièrement sensibles et permettent l'étude d'unités géographiques relativement modestes [101]. Ces données sont également très précises.

Dans son étude de 2008 concernant le remboursement de médicaments antiasthmatiques [103], l'approche de la prévalence et le contrôle de l'asthme, l'Assurance Maladie analyse les données de remboursement du régime général, qui couvre 56,5 millions de personnes (soit environ 88% de la population Insee). Ces résultats sont alors extrapolés à l'ensemble des régimes d'assurance maladie afin d'avoir une estimation pour la population française.

Il est à ce stade important d'ajouter que la littérature justifie l'association entre prise à la demande de bronchodilatateurs et pollution atmosphérique [104]. Enfin, cet indicateur est modulable et peut être adapté à de nombreux problèmes concernant la population générale ou des groupes particuliers.

En revanche, la vente de médicaments à visée respiratoire est affectée par le rythme des jours ouvrés (dimanche et jours fériés pas de ventes) et par le fait que l'Assurance maladie ne tient pas compte des ventes de médicaments non remboursés.

### 3.2.2.4 Mortalité

Les données de mortalité (totale non accidentelle, pour causes respiratoires ou cardiovasculaires, autres) proviennent des certificats de décès collectés en France par l'Inserm codifiées selon la Classification Internationale des Maladies et centralisés au service commun d'information sur les causes de décès. L'Inserm fournit ainsi les comptes journaliers de décès depuis 1979 concernant :

- la mortalité totale non accidentelle ;
- la mortalité par maladies de l'appareil circulatoire ;

- la mortalité par maladies de l'appareil respiratoire.

Cependant, en aucun cas ces données ne sont spécifiques à la pollution atmosphérique, ce qui rend difficile leur utilisation.

### **3.2.3 BILAN**

Les indicateurs environnementaux doivent être estimés à partir des données d'exposition fournies localement par les Aasqa. Les polluants mesurés en routine retenus sont : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les particules (PM<sub>10</sub> et Fumées noires), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>). Pour chaque polluant, les moyennes journalières (moyenne arithmétique des valeurs horaires mesurées de 0h à 24h) doivent permettre de construire des séries journalières sur plusieurs années. Pour l'ozone, c'est la valeur maximale des moyennes glissantes<sup>13</sup> sur 8 heures qui doit être retenue car ce polluant présente des niveaux élevés pendant les périodes d'ensoleillement et des niveaux très faibles la nuit [15].

Dans la mesure du possible, les indicateurs sanitaires sont quant à eux estimés à partir des recueils de cas d'appels d'urgence pour crise d'asthme (Samu et SOS médecins). C'est, en effet, le meilleur choix à faire si l'on considère que l'étude future de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire doit être menée à une échelle spatiale fine. Par conséquent, chaque adresse d'appel devra être géoréférencée.

Il s'agit donc de mener une étude qui permettra de mettre en relation à une résolution spatiale fine des concentrations ambiantes journalières de polluants avec des indicateurs de crise d'asthme.

## **4 ELEMENTS DE FAISABILITE POUR L'ETUDE DE L'IMPACT DU NIVEAU GEOGRAPHIQUE RETENU SUR L'ESTIMATION DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES A RISQUE SANITAIRE**

Dans le cadre de ce projet, il s'agit de produire des estimations de qualité de l'air aux résolutions géographiques et temporelles souhaitées grâce à Air Breizh, et de collecter des données sanitaires relatives aux crises d'asthme par SOS médecins et le Samu, pour ensuite évaluer l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

Pour répondre à cette problématique, ces informations doivent satisfaire à deux conditions :

- être disponibles à une unité géographique suffisamment fine pour permettre de cerner les éventuels contrastes de pollution atmosphérique entre les diverses unités ;
- disposer de suffisamment de cas d'évènements sanitaires pour pouvoir mener ce travail, ce qui suggère de ne pas se situer à une échelle géographique trop fine.

Enfin, le pas de temps choisi doit être suffisamment fin pour permettre d'appréhender les associations à court terme entre la pollution atmosphérique et la survenue de crise d'asthme.

### **4.1 Données environnementales**

#### **4.1.1 SOURCE**

Air Breizh, Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne, a pour mission principale de mesurer en continu les polluants urbains nocifs dans l'air ambiant en Bretagne et d'informer les services de l'Etat, les élus, les industriels et le public, notamment en cas de pic de pollution.

En effet, en tant qu'Aasqa, Air Breizh étudie l'évolution de la qualité de l'air et vérifie la conformité des résultats par rapport à la réglementation. Elle gère, de plus, l'information quotidienne de la population ainsi que le déclenchement, le maintien et l'arrêt des procédures d'information du public en cas de dépassement des seuils de recommandation et d'alerte pour les principaux polluants atmosphériques (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>). Pour cela le réseau de surveillance se compose d'une vingtaine de stations fixes de mesure réparties sur l'ensemble de la Bretagne (Annexe 5).

Air Breizh a accepté dans le cadre de ce projet de produire des cartographies des estimations de qualité de l'air en Bretagne aux résolutions géographiques qui nous sont nécessaires. Toutefois, le temps imparti pour ce projet n'a pas été suffisant pour obtenir les données souhaitées.

Les résolutions géographiques choisies doivent être suffisamment fines pour permettre de cerner les éventuels contrastes de pollution atmosphérique entre les unités géographiques, et différentes l'une de l'autre pour pouvoir évaluer l'impact du niveau géographique choisi sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

N.B. : Il est important de rappeler à ce stade que le programme Circe a été réalisé à l'échelle du canton et que la problématique de ce mémoire consiste finalement à se demander si les premiers résultats de cette étude, obtenus dans le Nord-Pas-de-Calais, auraient été différents si le projet avait été réalisé à une échelle plus fine. C'est donc la commune et non pas l'Iris qui a été choisie. En effet, avant de montrer si il y a ou pas une différence significative entre une étude réalisée à l'échelle du canton et une autre réalisée à l'échelle de l'Iris, il convient tout d'abord d'étudier les éventuels biais entre des études à l'échelle du canton et de la commune.

#### **4.1.2 MODELISATION DES NIVEAUX DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE AMBIANTE**

##### 4.1.2.1 Sélection des polluants

La modélisation des niveaux de pollution atmosphérique à l'échelle de la commune et du canton doit porter sur les principaux polluants atmosphériques cités précédemment soit : NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, sur une base horaire.

##### 4.1.2.2 Modèle utilisé

La modélisation des niveaux de pollution atmosphérique ambiante est réalisée à l'aide du modèle *ADMS Urban* (*Atmospheric Dispersion Modeling System*). Il s'agit d'un modèle déterministe<sup>15</sup> de type gaussien qui a pour objet de simuler la dispersion de polluants dans une zone d'étude et de tracer des cartes de répartitions des concentrations de différents polluants, dont la résolution est de l'ordre du mètre.

Les données d'entrée sont :

- les sources d'émissions : surfaciques, linéaires et ponctuelles provenant du cadastre atmosphérique (Annexe 4) ;

---

<sup>15</sup> Un modèle déterministe ne fait pas appel à des lois de probabilité

- les données de météorologie, principalement la force et la direction du vent mais aussi les classes de stabilité de l'atmosphère ;
- le modèle peut également prendre en compte la réactivité chimique des différentes espèces entre elles et les effets de déposition des polluants ;
- l'influence de la rugosité de surface et du bâti est aussi prise en compte.

Les applications d'*ADMS Urban* sont très diverses puisqu'elles vont de l'étude d'impact de la construction d'une nouvelle infrastructure autoroutière, jusqu'à la prévision à plusieurs jours de la qualité de l'air à l'échelle de la rue, du quartier, de la ville ou de l'agglomération.

## **4.2 Données sanitaires**

Dans la mesure du possible et pour une étude menée en Ile et Vilaine, les données sanitaires doivent être collectées auprès du Service d'Aide Médicale Urgente de l'Ile et Vilaine (Samu 35) et SOS Médecins Rennes. Ce sont, en effet, les structures les plus à même de fournir les informations nécessaires à cette étude et ont déjà fait preuve d'efficacité lors d'autres projets, notamment Paisarc+ [98]. Chaque appel, parvenu aux deux services sur la même période que l'étude de la pollution atmosphérique, pour lequel le motif « crise d'asthme » a été notifié par les régulateurs doit être intégré dans l'étude. Les bases de données du Samu et de SOS Médecins comportent, pour chaque sujet, la date d'appel aux services d'urgence ainsi que l'adresse d'appel, qui doit être géoréférencée dans le canton ou la commune où se trouvait le patient. Ces bases doivent être fusionnées avec exclusion des doublons.

## **4.3 Association entre évènement sanitaire et exposition environnementale**

L'association entre les appels pour asthme et la pollution atmosphérique peut être évaluée par des modèles cas-croisés. Cette approche consiste à comparer l'exposition d'un sujet précédant immédiatement la survenue de l'évènement sanitaire à l'exposition de ce même sujet au cours d'une (ou plusieurs) périodes à distance de l'évènement [98].

La mise en relation des indicateurs environnementaux et sanitaires nécessite, dans un premier temps, d'écarter l'influence de facteurs de confusion et de variation : temporels (tendances à moyen/long terme, cycles saisonniers ou hebdomadaires), météorologiques (température, hygrométrie, pression barométrique), infectieux (épisodes de grippe, par exemple), allergéniques (allergènes naturels, pollinisation) et d'autres cofacteurs pouvant biaiser les estimations, en ayant recours à des modélisations [90].

Les associations entre les différentes variables météorologiques et polliniques disponibles et les appels pour asthme, doivent être par la suite testées dans des modèles multivariés (grippe, vacances et jours fériés pris en compte, etc). Les variables qui se révèlent les plus associées aux appels pour asthme doivent être introduites en faisant varier la durée de la fenêtre temporelle d'exposition considérée.

Il s'agit alors de chercher une association entre l'apparition d'un évènement sanitaire et le niveau de pollution atmosphérique pour deux échelles géographiques. S'il n'existe pas d'impact du choix de l'unité géographique, alors les forces d'associations doivent tendre vers la même valeur dans les deux situations (échelle fine et échelle plus grossière). Si, au contraire, il existe une différence significative entre les forces d'association des deux niveaux géographiques, c'est qu'il existe une composante supplémentaire dans la variabilité des valeurs et donc un impact du choix de l'échelle géographique dans l'étude de la relation entre évènement sanitaire et niveau de pollution atmosphérique.

En effet, dans un modèle de régression linéaire où  $Y$  est la variable à expliquer (l'apparition d'évènements sanitaires) et  $x$  la variable explicative (la pollution atmosphérique), on trouve la relation :

$$Y = ax + b + \omega\rho + \varepsilon$$

$a$  reflète l'association entre l'évènement sanitaire et le niveau de pollution atmosphérique.

$\omega\rho$  représente une partie de la variabilité : l'autocorrélation spatiale.

$\varepsilon$  représente les « résidus », qui ne peuvent être expliqués simplement.

La variabilité des cas n'est pas toujours simplement expliquée par les niveaux de pollution ( $Y = ax + b$ ). La présence d'une structure spatiale peut également justifier cette variabilité. L'unité statistique ici n'est plus l'individu mais l'unité géographique et il peut exister une corrélation entre elles et donc un terme supplémentaire d'autocorrélation spatiale (Annexe 6). En effet, lors d'une étude géographique, le niveau de pollution pour une unité donnée dépend du niveau des unités géographiques voisines. Une méthode statistique spécifique est donc nécessaire pour prendre en compte la dépendance spatiale.

Il s'agit alors de calculer des coefficients d'autocorrélation spatiale pour les niveaux de pollution et l'apparition d'évènements sanitaires à échelle fine et à échelle plus grossière, de les cartographier, de les comparer et de conclure quant à l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions à risque sanitaire.

## **5 INTERPRETATION, DISCUSSION DES RESULTATS**

### **5.1 Faisabilité**

Ce mémoire a porté sur deux axes :

- une partie « prospective » qui a consisté à recenser le maximum de données concernant les expositions environnementales et les évènements sanitaires qui y sont liés ;
- une partie « opérationnelle » dont le but était de proposer des éléments de faisabilité pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu dans l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

Des difficultés et des limites ont été rencontrées dans la réalisation de ces travaux.

#### **5.1.1 RECENSEMENT DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES**

Les expositions environnementales recensées ont fait l'objet d'une recherche des connaissances disponibles sur un certain nombre de critères traduisant l'importance de santé publique à travers des indicateurs scientifiques classiques tels que le niveau de risque, la nature des effets attendus...

De nombreuses bases de données permettent de décrire spatialement la qualité de notre environnement. Mais l'utilisation de ces bases se heurte cependant à quelques difficultés :

- il est souvent difficile d'estimer la qualité des données fournies (précision, échelle, ...), ces bases ayant été constituées à des fins réglementaires ;
- il existe certains problèmes de géoréférencement (le centre de la commune à la place des coordonnées du site) ;
- seules les données récentes sont généralement disponibles, ne permettant pas une estimation des expositions passées.

Enfin, les critères renseignés par les indicateurs scientifiques sont nombreux. Une des grandes difficultés rencontrée est alors de pouvoir distinguer les connaissances qui font l'objet de consensus de celles qui font l'objet de controverses. Il convient également de pouvoir apprécier la richesse des données disponibles. Il est préférable de disposer d'informations issues d'une synthèse plutôt que de s'appuyer sur une seule connaissance.

#### **5.1.2 DIFFICULTES DANS LA PROPOSITION D'INDICATEURS**

L'un des critères essentiels dans la détermination d'indicateurs est bien entendu la disponibilité et la qualité des données susceptibles de renseigner ces indicateurs. Pour

chacun des indicateurs proposés dans le cadre de ce mémoire, une analyse a été réalisée pour discerner leurs limites. Les problèmes récurrents liés aux données sont les suivants :

- La qualité des données
  - l'exhaustivité du recueil des variables d'un paramètre ;
  - la qualité de l'échantillonnage ;
  - des disparités géographiques dans le recueil d'informations
  - des méthodes de mesures souvent non standardisées.
- L'accessibilité des données

Même si le travail a été conduit méthodiquement, il est facilement envisageable d'avoir omis certaines informations. En effet, des difficultés d'accès à l'information sont également à recenser, du fait principalement de la multiplicité des interlocuteurs et des organismes susceptibles de produire ou produisant de l'information en santé environnement, mais également de la disponibilité des interlocuteurs eux-mêmes et de leurs outils.

### **5.1.3 LE CROISEMENT DES INDICATEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX**

L'incertitude scientifique existante sur les relations entre un ou plusieurs facteurs de risques environnementaux et une pathologie pose des problèmes. Ces incertitudes peuvent porter sur les effets de l'exposition à de faibles doses de certains agents environnementaux, le caractère multifactoriel de certaines pathologies ou encore les effets sur la santé des interactions entre polluants.

A titre d'exemple, l'un des impacts attendus de l'objectif de réduction de l'exposition des populations au radon est une diminution de l'incidence et de la mortalité liées au cancer du poumon. Cependant, outre le problème de l'échelle de temps entre une exposition et la survenue d'un cancer, le cancer du poumon est dû principalement au tabac, puis au radon, à la pollution atmosphérique ou encore aux expositions professionnelles.

## **5.2 Validité de la méthodologie**

Le manque de temps n'a pas permis de mettre en pratique les éléments de faisabilité nécessaires à une étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'identification d'un biais écologique dans les estimations des expositions environnementales.

Cependant, il est toutefois possible de discuter les éléments proposés précédemment.

### **5.2.1 SOURCES DES DONNEES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES**

Les sources de données environnementales et sanitaires choisies pour développer la méthodologie nécessaire pour répondre à la problématique posée sont, comme cela a été précisé précédemment, basé sur des critères de choix. Seule la disponibilité de ces données peut remettre en cause l'utilisation de ces informations. Si cela était le cas, alors il faudrait reprendre les éléments disponibles dans ce mémoire pour parvenir au choix de nouvelles sources de données environnementales et sanitaires.

### **5.2.2 L'AUTOCORRELATION SPATIALE**

L'autocorrélation spatiale mesure essentiellement la ressemblance entre voisins. Ainsi, la mesure d'autocorrélation spatiale telle qu'elle a été recommandée précédemment permet d'estimer si, globalement, l'ensemble des lieux appartenant à la région d'étude présente une proximité spatiale ou bien une ressemblance ou une opposition entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de la région d'étude.

Comme cela a été précisé précédemment, le niveau d'autocorrélation spatial global varie en fonction de la « distance entre les points ». Les changements de structure de l'autocorrélation spatiale globale sont donc mis en valeur en cartographiant les niveaux d'autocorrélation spatiale locaux pour différents voisinages à l'échelle du canton et de la commune pour cette étude, en comparant les deux cartographies.

Lors d'une étude écologique, le choix d'une échelle grossière (nationale, régionale, infrarégionale) devrait uniformiser les données des unités plus fines par la moyenne de celles-ci, et masquer la variabilité des données. Cela pourrait donc induire l'apparition d'un biais et donc une sous estimation de la force d'association par rapport à l'échelle la plus fine. On s'attend alors à ce que l'impact du niveau géographique choisi fasse disparaître la relation entre l'évènement de santé et le niveau de pollution atmosphérique.

Pour avoir toutes les chances de mettre en évidence une association entre un évènement sanitaire et un niveau de pollution si celle-ci existe, la finesse des unités géographiques choisie pour l'étude permet d'avoir de faibles incertitudes. En revanche, cette même finesse des unités géographiques peut entraîner de très faibles effectifs, nombre de cas, dans chaque unité, ce qui peut donc impliquer une instabilité dans l'estimation du taux d'évènement. De plus, le niveau géographique le plus fin est intéressant à condition qu'il existe une variabilité entre les valeurs des variables. En effet, si les données sont peu différentes, alors le fait de mener une étude à une échelle plus grossière ne serait pas gênant. Généralement les données locales sont plus fines, plus précises et possèdent un fort coefficient d'autocorrélation spatiale. Les unités géographiques voisines se ressemblent donc davantage que les unités éloignées, il y a influence des voisines.

## CONCLUSION

Le travail réalisé visait à dresser le bilan des connaissances et des informations à disposition permettant par la suite d'étudier l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

A ce jour et dans le temps imparti pour l'étude, il a été possible :

- ▣ d'identifier les sources de données environnementales et sanitaires, selon une approche par milieu ;
- ▣ de juger de la qualité de ces informations ;
- ▣ d'identifier, en justifiant par la littérature, des indicateurs qui peuvent l'être ;
- ▣ de proposer des éléments de faisabilité pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'estimation des expositions environnementales à risque sanitaire.

En revanche, il n'a pas été possible :

- ▣ de proposer une liste exhaustive d'éléments de faisabilité pour une telle étude ;
- ▣ de mettre en œuvre la méthodologie proposée pour l'étude de l'impact du niveau géographique retenu sur l'identification d'un biais écologique dans les estimations des expositions environnementales.

Il serait donc utile pour les études à venir de persévérer dans la proposition et la définition d'éléments de faisabilité pour des études concernant les problèmes d'hétérogénéité spatiale dans les études de corrélation écologique en profitant de la dynamique créée par la contribution de l'ORS à la rédaction du nouveau PRSE pour renforcer les échanges d'informations entre les différentes institutions bretonnes. En effet, le renseignement des indicateurs santé environnement nécessite la participation de tous les acteurs détenteurs de données sanitaires et/ou environnementales.

Enfin, il serait intéressant au niveau institutionnel de regrouper les bases de données qui peuvent l'être afin d'éviter une perte d'information attribuable au fait que le champ de la santé environnementale relève de la prérogative de nombreux ministères tels que l'industrie, les transports, l'équipement, l'agriculture et bien entendu la santé et l'environnement.

---

## Bibliographie

---

- [1] **FNORS.** “ Santé et environnement dans les régions de France ». *Collection « les études du réseau des ORS »*. <http://www.fnors.org/uploadedFiles/santeenvironnement.pdf> , visité le 10/06/09
- [2] **BELOT, A., GROSCLAUDE, P., BOSSARD, N., JOUGLA, E., BENHAMOU, E., (2008).** “Cancer incidence and mortality in France over the period 1980-2005”. *Revue d’Épidémiologie et de Santé Publique* 56 :159-175
- [3] **HILL, C., DOYON, F., (2008).** “La fréquence des cancers en France en 2005 : évolution de la mortalité depuis 1950 et résumé du rapport sur les causes de cancer ”. *Bulletin du Cancer* 95(1):5-10
- [4] **CICOLELLA, A., SASCO, A., VALDES-LAO, D., TRUGEON, A., ET AL., (2008).** “Analyser les inégalités spatio-temporelles de cancer pour mieux comprendre le lien cancer environnement. Le projet CIRCE (Cancer Inégalités Régionales Cantonales et Environnement) ”. *Congrès national des Observatoires régionaux de la santé 2008*
- [5] **AFSSET INSERM, EXPERTISE COLLECTIVE (2008).** “ Cancer et environnement ”
- [6] **INSERM (2005).** “Cancer. Approche méthodologique du lien avec l’environnement ”, Paris : Les éditions Inserm.
- [7] **TRUGEON, A.D., FONTAINE, B., LEMERY, B., (2006).** “Inégalités socio-sanitaires en France : de la région au canton ”, Paris : Masson
- [8] **WOOLLEY, E., MAGENNIS, P., SHOKAR, P., LOWE, D., EDWARDS, D., ROGERS, S.N., 2006.** “The correlation between indices of deprivation and health-related quality of life in patients with oral and oropharyngeal squamous cell carcinoma” *British journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 44: 177-186.
- [9] **VALDES-LAO, D., DECLERCQ, C., CICOLELLA, A., SASCO, A., ET AL., (2008).** “ Approche spatiale des inégalités d’exposition environnementale et socio-économiques. Quelle influence sur les inégalités de cancer ? ” *Projet Cancer inégalités régionales, cantonales et environnement (CIRCE). Congrès national des Observatoires régionaux de la santé 2008.*
- [10] **HAVARD, S., (2008).** “Contribution de la Pollution Atmosphérique aux Inégalités Socio-Spatiales de Santé. Analyse Ecologique du Risque d’Infarctus du Myocarde dans

l'Agglomération de Strasbourg". *Thèse de doctorat de l'université de Rennes I, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé, Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique.*

**[11] PEPIN, P., DECLERCQ, C., SONKO, A., FAVIER, O., ET AL., (2008).** "Inégalités géographiques de mortalité par cancer dans quatre régions françaises". *Congrès national des Observatoires régionaux de la santé 2008.*

**[12] AFSSE (2004).** " Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité par cancer du poumon et par maladies cardio respiratoires en 2002, avec projections d'ici 2010 ".

**[13] INVS.** " Pollution de l'air et santé : les effets sur la santé à l'exposition à la pollution atmosphérique. Aide Mémoire ".

[http://www.invs.sante.fr/surveillance/psas9/aide\\_memoire.html](http://www.invs.sante.fr/surveillance/psas9/aide_memoire.html), visité le 6/05/09

**[14] INVS (2004).** " Bilan des Plans Régionaux pour la qualité de l'air. Prise en compte des aspects sanitaires. Bilan des études d'impact de la pollution atmosphérique urbaine réalisées. "

[http://apheis.net/publications/2004/prqa/invs\\_prqa.pdf](http://apheis.net/publications/2004/prqa/invs_prqa.pdf) , visité le 10/06/09

**[15] INVS (2008).** " Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Concepts et méthodes ".

[http://apheis.net/publications/2008/eis\\_pollution\\_urbaine/RAPP\\_SCI\\_Pollution%20atmo%20urbaine\\_Web\\_2.pdf](http://apheis.net/publications/2008/eis_pollution_urbaine/RAPP_SCI_Pollution%20atmo%20urbaine_Web_2.pdf) , visité le 10/06/09

**[16] FICHE AFSSET, ENVIRONNEMENT ET MILIEUX.** " Pollution atmosphérique urbaine ".

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/798047812613463729103256779102/21\\_pollution\\_atmospherique\\_urbaine.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/798047812613463729103256779102/21_pollution_atmospherique_urbaine.pdf), visité le 23/04/09

**[17] FICHE AFSSET, PATHOLOGIES.** " Asthmes et maladies respiratoires ".

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/301829192144697173518532259520/09\\_asthme\\_allergies.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/301829192144697173518532259520/09_asthme_allergies.pdf) , visité le 23/04/09

**[18] AIR BREIZH (2008).** " Mesures de pesticides à Mordelles. Résultats de la campagne 2007. Bilan 2005/2006/2007 ".

**[19] INERIS, LCSQA (2002).** " Pesticides dans l'air ambiant ".

**[20] INERIS, LCSQA (2005).** " Mesure des pesticides dans l'air ambiant ".

- [21] AFSSET, ORP. <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/>, visité le 26/05/09
- [22] EHESP, A. BARNEAUD, MEMOIRE DE FIN D'ETUDE (2002). " Eléments d'évaluation de l'exposition des habitants du vignoble nantais aux pesticides présents dans l'atmosphère "
- [23] INVS (2006). " Exposition aérienne aux pesticides des populations à proximité de zones agricoles. Bilan et perspectives du programme régional intercirc ".
- [24] DUPUPET, J.L., BERSON-VIGOUROUX, N., JACQUET-LIBAUE, F., CATHALA, M., (2007). " Phyt'attitude : le réseau de toxicovigilance en agriculture ". Supplément La revue du praticien 57
- [25] ADEME, BDQA. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>, visité le 26/05/09
- [26] AIR BREIZH. <http://www.airbreizh.asso.fr/index.asp>, visité le 26/05/09
- [27] AIR BREIZH (2008). " Bilan d'activités 2007-surveillance de la qualité de l'air "
- [28] CAPTAIR BRETAGNE. <http://www.captair-bretagne.com/>, visité le 26/05/09
- [29] BDQA, Banque de données sur la qualité de l'air.  
[http://www.atmonet.org/index.php?gs\\_rep=.&gs\\_url=rqa.php&gs\\_rep=secu\\_extract](http://www.atmonet.org/index.php?gs_rep=.&gs_url=rqa.php&gs_rep=secu_extract), visité le 5/06/09
- [30] IFEN. <http://www.ifen.fr/>, visité le 26/05/09
- [31] AIR BREIZH, PRQA. <http://www.prqa-emissions-bretagne.fr/>, visité le 26/05/09
- [32] DRIRE BRETAGNE.  
[http://www.bretagne.drire.gouv.fr/environnement/panorama\\_2007\\_2008.htm](http://www.bretagne.drire.gouv.fr/environnement/panorama_2007_2008.htm), visité le 26/05/09
- [33] CITEPA. <http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm>, visité le 26/05/09
- [34] CITEPA (2005). " Emissions dans l'air en France. Inventaire Départemental France 2000 ".
- [35] IREP. <http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>, visité le 26/05/09
- [36] INSERM, CEPIDC. <http://www.cepidc.vesinet.inserm.fr/>, visité le 26/05/09
- [37] ATIH. <http://www.atih.sante.fr/>, visité le 26/05/09

**[38] CAMPION, C., (2009).** “Reflection on a list of indicators required to the surveillance of Environmental Health”

**[39] MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, MINISTERE DE L'EMPLOI, DE LA COHESION SOCIALE ET DU LOGEMENT (2002).** “ Bâtiments et santé. Les principaux risques sanitaires ”

**[40] FICHE AFSSET, AGENTS.** “ Le radon ”

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/934449686993988470000820284688/15\\_radon.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/934449686993988470000820284688/15_radon.pdf) , visité le 23/04/09

**[41] INVS.** “ Les intoxications au monoxyde de carbone ”  
[http://www.invs.sante.fr/surveillance/co/am\\_co.htm](http://www.invs.sante.fr/surveillance/co/am_co.htm), visité le 27/07/2009

**[42] INVS (2002).** “ Dépistage du saturnisme infantile autour des sources industrielles de plomb. Analyse de la pertinence de la mise en oeuvre d'un dépistage : du diagnostic environnemental à l'estimation des expositions – Tome 1 ”

[http://apheis.net/publications/rap\\_saturnisme\\_1101/rap\\_saturnisme\\_t1.pdf](http://apheis.net/publications/rap_saturnisme_1101/rap_saturnisme_t1.pdf) , visité le 10/06/09

**[43] DRASS BRETAGNE.** <http://www.bretagne.sante.gouv.fr/1024.html>, visité le 26/05/09

**[44] PNSM** Plan National de Surveillance du Mésothéliome.

<http://www.invs.sante.fr/publications/journees/2/arveux/index.html> , visité le 10/06/09

**[45] BEH THEMATIQUE, (2007).** “ Surveillance épidémiologique des effets de l'exposition à l'amiante : actualités françaises “. Bulletin d'Epidémiologie Hebdomadaire n°41-42

**[46] IRSN.** <http://www.irsn.org/> , visité le 28/07/2009

**[47] DRASS BRETAGNE-ORS BRETAGNE (2009).** “ La santé environnementale en Bretagne : état des lieux - Document d'appui à l'élaboration du programme régional santé environnement ”

**[48] OQAI.** <http://www.air-interieur.org/> , visité le 27/05/09

**[49] OQAI (2004).** “ Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. Actualisation des données sur la période 2001-2004 ”.

**[50] AUTORITE DE SURETE NUCLEAIRE.** <http://www.asn.fr/radon> , visité le 27/05/09

**[51] RADON FRANCE.** “ Mesures du radon dans les lieux ouverts au public ”.

[52] **ORS BRETAGNE, 2008.** « Déclarations de maladies professionnelles de l'année 2005 » [http://www.orsbretagne.fr/99\\_up99load/2\\_docupload1/orsbd11264902004.pdf](http://www.orsbretagne.fr/99_up99load/2_docupload1/orsbd11264902004.pdf), visité le 29/07/2009.

[53] **FICHE AFSSET, ENVIRONNEMENT ET MILIEUX.** “ Qualité des eaux ”.

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/417836273250481352841617103700/22\\_qualite\\_eaux.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/417836273250481352841617103700/22_qualite_eaux.pdf), visité le 23/04/09

[54] **INVS.** “ Les maladies liées à l'eau ”.

[http://www.invs.sante.fr/surveillance/eau\\_sante/default.htm](http://www.invs.sante.fr/surveillance/eau_sante/default.htm) visité le 13/05/09

[55] **INVS.** “ Saturnisme de l'enfant ”.

<http://www.invs.sante.fr/surveillance/saturnisme/default.htm> visité le 27/05/09

[56] **AFSSA,** “ Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité des nitrates et des nitrites dans les eaux destinées à la consommation humaine “. <http://www.afssa.fr/Documents/EAU-X-Ra-LimitesRef.pdf> , visité le 13/05/09

[57] **ORS BRETAGNE (2001).** “ Effets chroniques des pesticide sur la santé : état actuel des connaissances ”.

[58] **BALDI, I., MOHAMMED-BRAHIM, B., BROCHARD, P., DARTIGUES, J.F., SALOMON, R., (1998).** “Effets retardés des pesticides sur la santé : état des connaissances épidémiologiques”. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 46 : 134-142

[59] **BRETAGNE ENVIRONNEMENT.** <http://www.bretagne-environnement.org/>, visité le 26/05/09

[60] **EAU BRETAGNE.** <http://www.eaubretagne.fr/>, visité le 26/05/09

[61] **PORTAIL SANTE ENVIRONNEMENT TRAVAIL.** <http://www.sante-environnement-travail.fr/>, visité le 26/05/09

[62] **DIREN BRETAGNE.** <http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/>, visité le 26/05/09

[63] **ECOFLUX.** <http://www-iuem.univ-brest.fr/ecoflux>, visité le 26/05/09

[64] **SANDRE.** <http://sandre.eaufrance.fr/>, visité le 26/05/09

[65] **AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE, OSUR.**

<http://carto.eau-loire-bretagne.fr/osur/index.htm>, visité le 26/05/09

[66] **DIREN, (2008).** “ L'eau en Bretagne, bilan 2007 ”.

- [67] CORPEP. <http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr/corpep/>, visité le 26/05/09
- [68] DRASS BRETAGNE, (2003). “ L'eau potable en Bretagne ”.
- [69] INVS. <http://www.invs.sante.fr/bdd/index.htm>, visité le 26/05/09
- [70] INVS (2003). “ Description des systèmes nationaux de surveillance en France. Surveillance des maladies infectieuses ”.
- <http://www.invs.sante.fr/publications/2003/snmi/SNMI-B-p013-020.pdf>
- [71] FICHE AFSSET, ENVIRONNEMENT ET MILIEUX. “ Sites et sols pollués ”.
- [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23\\_sites\\_sols\\_pollues.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23_sites_sols_pollues.pdf) , visité le 23/04/09
- [72] BASOL. <http://basol.environnement.gouv.fr/>, visité le 26/05/09
- [73] BRGM, BASIAS. <http://basias.brgm.fr/>, visité le 26/05/09
- [74] BEH THEMATIQUE, (2008). “ Pollution des sols : de l'exposition des populations à la santé publique “. *Bulletin d'Epidémiologie Hebdomadaire* n°47-48
- [75] RMQS. <http://www.gissol.fr/programme/rmqs/rmqs.php>, visité le 29/05/09
- [76] INDIQUASOL. <http://indiquasol.gissol.fr/geoindiquasol/>, visité le 02/06/09
- [77] RMQS, Manuel du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols
- [http://www.gissol.fr/programme/rmqs/RMQS\\_manuel\\_31032006.pdf](http://www.gissol.fr/programme/rmqs/RMQS_manuel_31032006.pdf), visité le 29/05/09
- [78] BEH, (2006). “ Les toxi-infections alimentaires collectives en France entre 1996 et 2005 ”. *Bulletin d'Epidémiologie Hebdomadaire* n°51-52, 418-22
- [79] INVS-AFSSA (2004). “ Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France ”
- [http://apheis.net/publications/2004/inf\\_origine\\_alimentaire/inf\\_origine\\_alimentaire.pdf](http://apheis.net/publications/2004/inf_origine_alimentaire/inf_origine_alimentaire.pdf), visité le 10/06/09
- [80] BAPPET. <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr>, visité le 08/06/09
- [81] BEH THEMATIQUE, (2005). “ La surveillance épidémiologique des troubles musculo-squelettiques “. *Bulletin d'Epidémiologie Hebdomadaire* n°44-45
- [82] FNORS. “ La santé au travail dans les régions en France ”. Collection “ les études du réseau des ORS ”. <http://www.fnors.org/uploadedFiles/santetravail.pdf>, visité le 10/06/09

**[83] INVS (2003).** “ Estimation du nombre de cas de certains cancers attribuables à des facteurs professionnels en France ”

[http://apheis.net/publications/2003/cancers\\_pro/rapport\\_cancer\\_pro.pdf](http://apheis.net/publications/2003/cancers_pro/rapport_cancer_pro.pdf) , visité le 10/06/09

**[84] DRTEFP, CHIFFRES CLES 2008.** <http://www.drtefp-bretagne.travail.gouv.fr/fr/maj-e/c1a2j12329/etudes-et-publications/les-chiffres-cles-en-bretagne/les-chiffres-cles-en-bretagne-edition-2008.htm>, visité le 02/06/09

**[85] DRTEFP (2008).** “ Les chiffres clés 2008 en Bretagne ” <http://www.drtefp-bretagne.travail.gouv.fr/fr/maj-e/c1a2j12329/etudes-et-publications/les-chiffres-cles-en-bretagne/les-chiffres-cles-en-bretagne-edition-2008.htm>, visité le 10/06/09

**[86] ORS BRETAGNE (2008).** “ Déclarations de Maladies Professionnelles de l’année 2005 ”.

**[87] DARES, (2006).** “ Les expositions aux risques professionnels par famille professionnelle, Résultats SUMER 2003 ”.

**[88] COLCHIC.** <http://www.etsmtl.ca/zone2/recherche/rrsstq/portail/BD/Expo/colchic.htm>, visité le 26/05/09

**[89] CRAM BRETAGNE, ACCIDENTS ET MALADIES PROFESSIONNELLES, STATISTIQUES.** [http://www.cram-bretagne.fr/cram\\_bretagne/jsp/service/statistiques.jsp](http://www.cram-bretagne.fr/cram_bretagne/jsp/service/statistiques.jsp) , visité le 13/05/09

**[90] IRSN.** “ Campagne Nationale de mesures du Radon ”

[http://www.irsn.org/index.php?position=radon\\_5](http://www.irsn.org/index.php?position=radon_5) , visité le 14/05/09

**[91] FICHE AFSSET, ENVIRONNEMENT ET MILIEUX.** “ Environnements professionnels ”

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/384605246941912642886513999328/20\\_environnements\\_professionnels.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/384605246941912642886513999328/20_environnements_professionnels.pdf) , visité le 23/04/09

**[92] FESTY, B., (2003).** “De l’observation épidémiologique à l’évaluation de l’impact sanitaire : quelques constats et réflexions concernant la pollution atmosphérique urbaine“. *Pollution Atmosphérique* 180 : 435-446

**[93] FESTY, B., (2002).** “La qualité de l’air : un enjeu environnemental et sanitaire“. *Pollution Atmosphérique* 173 : 9-16

**[94] ORS ILE DE FRANCE, (2003).** “ERPURS 1987-2000 : Evaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé en Ile de France”

- [95] LIN, M., CHEN, Y., VILLENEUVE, P.J., BURNETTE, R.T., LEMYRE, L., ET AL., (2004). "Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada". *American Journal of Epidemiology* 159: 294-303
- [96] PEEL, J.L., TOLBERT, P.E., KLEIN, M., METZGER, K.B., FLANDERS, W.D., ET AL., (2005). "Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits". *Epidemiology* 16 : 164-74
- [97] METZGER, K.B., TOLBERT, P.E., KLEIN, M., PEEL, J.L., FLANDERS, W.D., ET AL., (2004). "Ambient air pollution and respiratory emergency department visits ". *Epidemiology* 15 : 46-56
- [98] BARD, D., LAURENT, O., HAVARD, S., DEGUEN, S., PEDRONO, G., ET AL., (2008). "Pollution Atmosphérique, Inégalités Sociales, Asthme et Risque Cardiaque : influence du contexte de vie (Projet « PAISARC+ ») ". *Congrès national des Observatoire régionaux de la santé 2008*.
- [99] HAJAT, S., ANDERSON, H.R., ATKINSON, R.W., HAINES, A. (2002). "Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London". *Occupational and Environmental Medicine* 59: 294-299
- [100] LAURENT, O., PEDRONO, G., SEGALA, C., FILLEUL, L., HAVARD, S., ET AL., (2008). "Air pollution, asthma attacks and socioeconomic deprivation: a small-area case-crossover study". *American Journal of Epidemiology* 168 : 58-65
- [101] PITARD, A., COURSEAUX, A., ZEGHNOUN, A., FOSSARD, J.L., RENOULT, D., ET AL., (2002). "Les ventes de médicaments à visée respiratoire : un nouvel indicateur pour évaluer les effets à court terme sur la santé de la pollution atmosphérique". *BEH* N°9
- [102] LE QUOTIDIEN DU MEDECIN, (2002). "Pollution de l'air : les ventes de médicaments sont un bon baromètre". 7082 :14
- [103] CUERQ, A., PEPIN, S., RICORDEAU, P., (2008). "Remboursement de médicaments antiasthmatiques : une approche de la prévalence et du contrôle de l'asthme". *Points de repère, Assurance Maladie* n°24
- [104] VON KLOT, S., WÖLKE, G., TUCH, T., HEINRICH, J., DOCKERY, D.W., ET AL., (2002). "Increased asthma indication use in association with ambient fine and ultrafine particles". *European Respiratory Journal*. 20 : 691-702

Lectures complémentaires :

**BARD, D., LAURENT, O., FILLEUL, L., ET AL., (2007).** "Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes : an overview of the PAISARC Project". *Environ Res Lett*, 2, 045003.

**CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL HEALTH, DIVISION OF ENVIRONMENTAL HAZARDS AND HEALTH EFFECTS, (2006).** "Environmental Public Health Indicators".

**CUTTER, S.L., (2002).** "Spatial variability in toxicity indicators used to rank chemical risks". *American Journal of Public Health* 92(3):420-422

**FICHE AFSSET, PROBLEMATIQUES,** " Santé et environnement : définitions et évolutions récentes "

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/755362470242104365531624757644/01\\_definitions.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/755362470242104365531624757644/01_definitions.pdf) , visité le 13/05/09

**FICHE AFSSET, AGENTS.** " Les substances chimiques "

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/383231914475058007588090344687/13\\_substances\\_chimiques.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/383231914475058007588090344687/13_substances_chimiques.pdf), visité le 23/04/09

**FICHE AFSSET, PATHOLOGIES.** " Cancer et environnement "

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/638922582644760997934987241423/10\\_cancer.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/638922582644760997934987241423/10_cancer.pdf) , visité le 23/04/09

**FICHE AFSSET, PATHOLOGIES.** " Cancer et environnement "

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/638922582644760997934987241423/10\\_cancer.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/638922582644760997934987241423/10_cancer.pdf) , visité le 23/04/09

**FLAHAUT, B., (2001).** "L'autocorrélation spatiale comme outil géostatistique d'identification des concentrations spatiales des accidents de la route". *Revue européenne de géographie- Systèmes, modélisation & géostatistiques*, n°185

**FNORS.** " Le cancer dans les régions de France ". *Collection " les études du réseau des ORS "*. [http://www.orsbretagne.fr/PDF2005/synthesekcer\\_avril2006.pdf](http://www.orsbretagne.fr/PDF2005/synthesekcer_avril2006.pdf) , visité le 10/06/09

**FRICKER, R.D. ET HENGARTNER, N.W., (2001).** "Environmental equity and the distribution of toxic release inventory and other environmentally undesirable sites in metropolitan New York". *Environmental and Ecological Statistics* 8:33-52

**GUIHENNEUC-JOUYAUX, C., (2002).** "Modélisation statistique des variations géographiques : enjeu d'importance en épidémiologie et en statistique". *Rev Epidemiol Santé Publique*, 50 :409-412

**HAVARD, S., DEGUEN, S., BODIN, J., LAURENT, O., ET AL., (2008).** "A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France". *Soc Sci Med* 67: 2007-2016

**INVS (2005).** " Recensement et identification des menaces environnementales pour la santé publique "

[http://apheis.net/publications/2009/recensement\\_menaces\\_environnementales/recensement\\_menaces\\_environnementales.pdf](http://apheis.net/publications/2009/recensement_menaces_environnementales/recensement_menaces_environnementales.pdf) , visité le 10/06/09

**INVS (2007).** " Estimation de l'incidence et de la mortalité par cancer en France de 1980 à 2005 " .

**JANES, H., SHEPPARD, L., LUMLEY, T., (2005).** "Case-crossover analyses of air pollution exposure data: referent selection strategies and their implications for bias", *Epidemiology*, 16, 6 : 717-726.

**LAURENT, O., SEGALA, C., RIVIERE, E., SCHILLINGER, C., ROUIL, L., ET AL., (2006).** "The PAISA Project : Studying the Relationships between Air Pollution, Socioeconomic Status, and Asthma Attacks". *ISEE/ISEA Conference Abstracts Supplement* 17 : 6: 96

**LAURENT, O., BARD, D., FILLEUL, L., SEGALA, C., (2007).** "Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality". *J Epidemiol Community Health* 61 : 665-675

**LAURENT, O., FILLEUL L, HAVARD S, DEGUEN S, DECLERCQ C, BARD D ,(2008).**"Asthma attacks and deprivation: gradients in use of mobile emergency medical services", *Epidemiol Community Health*.

**LEVY, J.I., CHERMYNSKI, S.M. ET TUCHMANN, J.I., (2006).** "Incorporating concepts of inequality and inequity into health benefits analysis". *Environmental Health Perspectives* 115(5):743-750

**MINISTERE DE LA SANTE ET DE LA SOLIDARITE, (2003).** " Les pesticides dans l'eau 2001-2003 " .

**ORS ILE DE FRANCE (2007).** " De la mesure des expositions à l'évaluation des conséquences pour la santé : le traitement spatialisé des données". Séminaire

**REY, G., JOUGLA, E., HEMON, D., 2008.** "Association écologique entre indicateur de dévaforisation et la mortalité en France sur la période 1997-2001 : variations en fonction du degré d'urbanisation, de l'âge, du genre et du type de causes de décès". *Congrès national des Observatoires régionaux de la santé 2008*

**SAMET, J., KREWSKI, D., (2007).** "Health effects associated with exposure to ambient air pollution", *J Toxicol. Environ Health A*, 70, 3-4 : 227-242.

**VIEIRA, V.M., WEBSTER, T.F., WEINBERG, J.M., ASCHENGRAU, A., (2008).** "Spatial temporal analysis of breast cancer in upper Cape Cod Massachusetts". *International Journal of Health Geographics* 7:46

**WALLER, L.A., LOUIS, T.A., CARLIN, B.P., (1997).** "Bayes methods for combining disease and exposition data in assessing environmental justice". *Environmental and Ecological Statistics* 4,267-281.

---

## Liste des annexes

---

ANNEXE 1 : LES INDICATEURS DE DEFAVEUR SOCIALE .....	II
ANNEXE 2 : REGISTRE DES PRINCIPALES SOURCES D'INFORMATION EN SANTE ENVIRONNEMENT .....	III
ANNEXE 3 : LE BAROMETRE SANTE ENVIRONNEMENT .....	IV
ANNEXE 4 : LE CADASTRE DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES EN BRETAGNE – AIR BREIZH- .....	VI
ANNEXE 5 : LES STATIONS DE MESURE D' AIR BREIZH .....	VIII
ANNEXE 6 : NOTION D' AUTOCORRELATION SPATIALE .....	IX

## Annexe 1 : Les indicateurs de défaveur sociale

La défaveur sociale a été initialement quantifiée par Townsend à l'aide d'un score obtenu en sommant des variables centrées réduites mesurant différentes dimensions écologiques de désavantage social issues de données de recensement. D'autres indices de défaveur ont été ensuite proposés, souvent construits sur la base d'analyses factorielles.

Les indicateurs utilisés communément sont ceux de Townsend, de Carstairs, le score de secteur défavorisé de Jarman, et l'IMD (Indicator of Multiple Deprivation) 2000. (Woolley et al, 2006).

L'une des critiques fréquemment faites aux indicateurs les plus classiquement utilisés, (ceux de Carstairs et Townsend), concernent l'approche très urbaine de la défaveur sur laquelle ils se basent, induisant ainsi une plus faible association entre ces indicateurs et les indicateurs de santé en milieu rural qu'urbain. L'IMD quant à lui est un indicateur de défaveur écologique faisant consensus ou faisant suite à une consultation plus large des différents observateurs des inégalités sociales, et permet d'analyser et gérer les inégalités spatiales de santé ou les prendre en compte dans les analyses écologiques. (Rey et al.2008).

Les indicateurs de défaveur sociale ou socio-économiques peuvent être construits de deux manières :

- à partir de quelques données clefs résumant l'information (Carstairs, Jarman, Townsend, etc.) ;
- à partir d'indicateurs multiples utilisant des techniques statistiques multidimensionnelles (IMD)

En effet, les indicateurs les plus généralement utilisés sont des indicateurs socio-économiques à une seule variable comme le niveau d'éducation, le revenu, la race.... Cependant, en ne considérant qu'une seule variable, seule une facette du niveau socio-économique est capturée. Selon Goldberg (2003) « ces inégalités seraient (plutôt) la conséquence de l'action de multiples déterminants interdépendants agissant de concert pour engendrer un état de santé comparativement plus dégradé au sein des groupes socio économiquement défavorisés ». Alors, d'autres indicateurs se sont par la suite développés, comme l'IMD.

Malgré toutes ces évolutions en matière de défaveur sociale, en France, aucun indicateur n'a, à ce jour et à notre connaissance, fait l'objet d'un consensus et été analysé à l'échelle nationale.

## Annexe 2 : Registre des principales sources d'information en Santé Environnement

Sources – Bases de données	Adresses
Ademe/BDQA	<a href="http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&amp;m=3&amp;cid=96">http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&amp;m=3&amp;cid=96</a>
Ademe/Sinoe	<a href="http://www.sinoe.org/">http://www.sinoe.org/</a>
Afssa	<a href="http://www.afssa.fr/">http://www.afssa.fr/</a>
Afsset	<a href="http://www.afsse.fr/">http://www.afsse.fr/</a>
Agence de l'eau Loire Bretagne- OSUR-	<a href="http://carto.eau-loire-bretagne.fr/osur/index.htm">http://carto.eau-loire-bretagne.fr/osur/index.htm</a>
Agreste	<a href="http://agreste.agriculture.gouv.fr/">http://agreste.agriculture.gouv.fr/</a>
Air Breizh	<a href="http://www.airbreizh.asso.fr/">http://www.airbreizh.asso.fr/</a>
ASN	<a href="http://www.asn.fr/">http://www.asn.fr/</a>
ATIH	<a href="http://www.atih.sante.fr/">http://www.atih.sante.fr/</a>
Bappet	<a href="http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/DocumentsDiagnostics.asp#BAPPET">http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/DocumentsDiagnostics.asp#BAPPET</a>
Basias	<a href="http://basias.brgm.fr/">http://basias.brgm.fr/</a>
Basol	<a href="http://basol.environnement.gouv.fr/">http://basol.environnement.gouv.fr/</a>
Bretagne Eau Pure	<a href="http://www.eaubretagne.fr/">http://www.eaubretagne.fr/</a>
Bretagne Environnement	<a href="http://www.bretagne-environnement.org/">http://www.bretagne-environnement.org/</a>
Buldair	<a href="http://www.buldair.org/">http://www.buldair.org/</a>
Capt'air	<a href="http://www.captair-bretagne.com/">http://www.captair-bretagne.com/</a>
Circ	<a href="http://www.iarc.fr/">http://www.iarc.fr/</a>
Citepa	<a href="http://www.citepa.org/">http://www.citepa.org/</a>
Colchic	<a href="http://www.etsmtl.ca/zone2/recherche/rrsstq/portail/BD/Expo/colchic.htm">http://www.etsmtl.ca/zone2/recherche/rrsstq/portail/BD/Expo/colchic.htm</a>
Corpep	<a href="http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr/corpep/">http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr/corpep/</a>
Cram	<a href="http://www.cram-bretagne.fr/fichutil/admfichpdf/statistiques/StatsDRP_2007.pdf">http://www.cram-bretagne.fr/fichutil/admfichpdf/statistiques/StatsDRP_2007.pdf</a>
Diren Bretagne	<a href="http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/">http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/</a>
Drass Bretagne	<a href="http://www.bretagne.sante.gouv.fr/">http://www.bretagne.sante.gouv.fr/</a>
Drire Bretagne	<a href="http://www.bretagne.drire.gouv.fr/environnement/panorama_2007_2008.htm">http://www.bretagne.drire.gouv.fr/environnement/panorama_2007_2008.htm</a>
Ecoflux	<a href="http://www-iuem.univ-brest.fr/ecoflux">http://www-iuem.univ-brest.fr/ecoflux</a>
Eper-Irep	<a href="http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php">http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php</a>
Ifen	<a href="http://www.ifen.fr/">http://www.ifen.fr/</a>
Ineris	<a href="http://www.ineris.fr/">http://www.ineris.fr/</a>
Inpes	<a href="http://www.inpes.sante.fr/hpright/frright.asp">http://www.inpes.sante.fr/hpright/frright.asp</a>
INRS	<a href="http://www.irsn.org/index.php?position=radon_5">http://www.irsn.org/index.php?position=radon_5</a>
Insee	<a href="http://www.insee.fr/fr/default.asp">http://www.insee.fr/fr/default.asp</a>
Inserm-CépiDC	<a href="http://www.cepidc.vesinet.inserm.fr/">http://www.cepidc.vesinet.inserm.fr/</a>
InVS	<a href="http://www.invs.sante.fr/">http://www.invs.sante.fr/</a>
ORP	<a href="http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/">http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/</a>
OQAi	<a href="http://www.air-interieur.org/oqai.aspx">http://www.air-interieur.org/oqai.aspx</a>
Portail Santé Environnement Travail	<a href="http://www.sante-environnement-travail.fr/">http://www.sante-environnement-travail.fr/</a>
PRQA Bretagne	<a href="http://www.prqa-emissions-bretagne.fr/">http://www.prqa-emissions-bretagne.fr/</a>
Radon France	<a href="http://www.radon-france.com/Carte.html">http://www.radon-france.com/Carte.html</a>
RMQS	<a href="http://www.gissol.fr/programme/bdiqs/bdiqs.php">http://www.gissol.fr/programme/bdiqs/bdiqs.php</a>
Sandre	<a href="http://sandre.eaufrance.fr/">http://sandre.eaufrance.fr/</a>

## Annexe 3 : Le Baromètre Santé Environnement

Source : *Baromètre Santé Environnement 2007 – Résultats en Bretagne*

Le PNSE, le Grenelle de l'environnement, et au niveau local, le PRSE, ont tous identifiés la nécessité de plus et surtout de mieux communiquer vers le public, notamment pour faire évoluer les connaissances et les comportements. Or, si les baromètres santé existent depuis plus de 15 ans, aucune requête d'opinion d'envergure n'avait jusqu'ici été réalisée dans le domaine de la santé environnementale pour identifier ces connaissances et ces comportements.

Le Baromètre Santé Environnement est le résultat d'un travail collaboratif entre l'Inpes, l'ORS Bretagne et la Drass. Près de 1500 Bretons ont été interrogés sur leurs connaissances, leurs attitudes et leurs comportements dans le domaine de la santé environnementale.

Les thèmes abordés sont nombreux et abordent les perceptions, les informations et les craintes par rapport :

- aux risques environnementaux en général ;
- à la pollution des sols ;
- à la pollution de l'air extérieur ;
- à la pollution de l'air intérieur dans l'habitat ;
- au tabagisme au domicile ;
- au monoxyde de carbone ;
- à l'eau du robinet ;
- aux eaux de baignade ;
- aux Légionnelles
- au bruit (subis et choisi)
- au radon.

Globalement, la perception des risques environnementaux est variable selon les thèmes abordés.

En effet, près de 4 Bretons sur 10 estiment courir des risques pour leur santé du fait de leur environnement. Ils citent en premier lieu les cancers, ensuite l'asthme et les pathologies respiratoires, les troubles du sommeil, le stress et l'anxiété.

L'amiante, le monoxyde de carbone et les effets du soleil sont considérés comme étant des facteurs de l'environnement les plus à risque. A l'opposé, les cosmétiques, l'eau du robinet et les polluants de l'air intérieur sont considérés les moins à risque.

La Bretagne se distingue des autres régions par quelques spécificités. D'une part, par une meilleure connaissance de certains risques, en particulier les risques liés au radon et les risques liés à la pollution des sols. Ainsi, parmi les habitants vivants dans un des 31 départements concernés par le radon, les Bretons sont les plus conscients des risques que le radon peut représenter pour la santé. Pourtant, il y a encore des progrès à faire, car ce gaz reste méconnu de 37% de la population bretonne.

D'autre part, les Bretons se distinguent par une attitude paradoxale vis-à-vis de l'eau du robinet. Alors qu'ils la classent en avant-dernière position parmi les facteurs de risque liés à l'environnement, les Bretons expriment plus souvent que les autres Français métropolitains une réserve vis-à-vis de l'eau du robinet et sont plus fréquemment consommateurs exclusifs d'eau en bouteille.

Enfin, une autre spécificité bretonne est un ressenti moindre des effets de la pollution de l'air extérieur sur la santé. Pour autant, les Bretons sont tout de même 34% à déclarer avoir déjà ressenti ces effets, et plus de 8 personnes sur 10 considèrent que la pollution de l'air extérieur représente un risque élevé pour la santé des Français en général.

## **Annexe 4 : Le cadastre des émissions atmosphériques en Bretagne**

### **– Air Breizh-**

Source : <http://www.prqa-emissions-bretagne.fr>

### **Contexte**

Le Plan Régional pour la Qualité de l'Air fait partie des outils de planification issus de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (« LAURE ») de 1996. Ce plan, entériné en 2001, définit les orientations pour cinq ans en matière de prévention et de lutte contre la pollution atmosphérique en Bretagne.

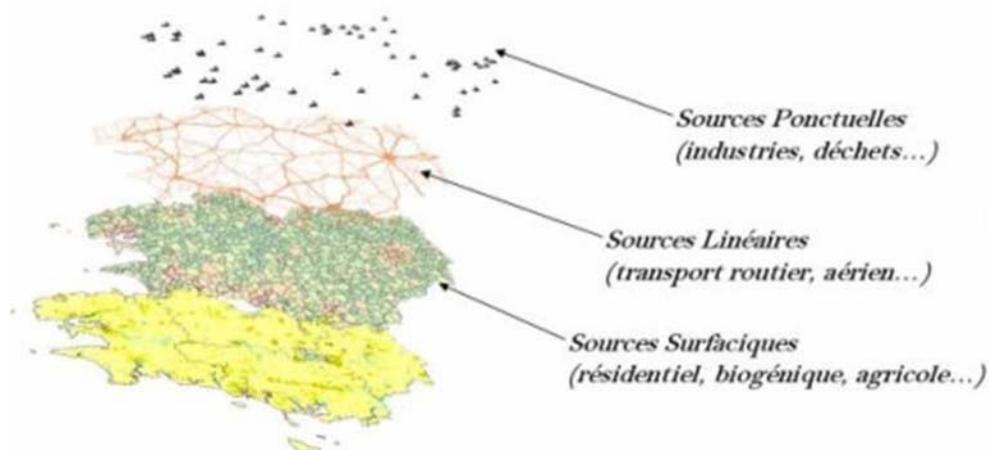
En 2006, le Conseil Régional de Bretagne a décidé de mener une révision complète du précédent PRQA. Cette révision, réalisée en concertation avec les différents acteurs de la qualité de l'air en Bretagne (représentant des activités économiques, administration, experts...), a pour objectif, le développement des connaissances de la pollution atmosphérique, l'identification des outils et des partenaires qui permettront la mise en action du futur PRQA et l'information et la sensibilisation des bretons.

Dans ce cadre Air Breizh s'est vu confié la réalisation d'un cadastre des émissions atmosphériques qui a pour objet l'évaluation des quantités de polluants rejetés annuellement en Bretagne par les différentes sources d'émissions (ponctuelles, linéaires et surfaciques). Ce cadastre fournit un état des lieux des émissions en informant sur les différentes sources et leurs contributions relatives, il forme ainsi un outil d'information du grand public et d'aide à la décision pour la mise en place de politique de protection de l'environnement. Il permet aussi à Air Breizh de mieux connaître certaines zones bretonnes peu ou pas surveillées, et d'effectuer un premier pas vers la modélisation de la pollution atmosphérique.

### **Définition**

Le cadastre des émissions atmosphériques est élaboré pour l'année 2003. Il prend en compte une trentaine de polluants relatifs à différentes problématiques environnementales et sanitaires. Sa construction obéit à une méthodologie de référence, développée par l'Agence Européenne de l'Environnement, prenant en compte l'ensemble des secteurs d'activité potentiellement émetteurs (industries, agriculture, transports, résidentiel&tertiaire et biogénique) et permettant des réactualisations et des comparaisons temporelles et géographiques. L'ensemble des sources sont géoréférencées à l'aide d'un système d'information géographique permettant la cartographie des émissions et leurs superpositions sur un fond de carte. Il se réalise en quatre phases : le recueil des

données, l'inventaire des émissions, la cartographie des émissions ou spatialisation, l'ajout d'une grille permettant un découpage par maille des émissions.



Dans chacune des mailles de la grille, les émissions par unités de temps sont sommées selon différents critères qui peuvent être le type de polluants ou encore le secteur d'activité. La résolution géographique est conditionnée par la précision des données servant au calcul des émissions. Selon les données collectées, les différents secteurs d'activités étudiés n'auront pas la même précision. La résolution temporelle est liée à la précision temporelle des données utilisées pour des données utilisées pour les calculs d'émissions, mais elle dépend beaucoup de l'utilisation prévue du cadastre. Compte tenu des données disponibles lors du recueil des données, l'année 2003 a été choisie comme année de référence.



## Annexe 6 : Notion d'autocorrélation spatiale

### ▣ Définition du concept d'autocorrélation :

La notion d'autocorrélation spatiale mesure essentiellement la ressemblance entre voisins.

Une propriété souvent constatée lors de l'observation de données à caractère spatial est que les valeurs  $x_i$  prises par une même variable  $X$  en différents lieux  $i$  présentent des relations entre observations proches dans l'espace. Cette idée est largement considérée depuis longtemps dans la littérature spatiale, par exemple pour Tobler (1979): "everything is related to everything else, but near things are more related than distant things"...

Si les  $x_i$  montrent une interdépendance dans l'espace, ce qui est fréquemment le cas, on parlera de données autocorrélées spatialement. Des mesures d'autocorrélation spatiale permettent dès lors d'estimer l'association, la dépendance ou encore la corrélation spatiale entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de l'espace, plus ou moins proches les uns des autres.

Les indices d'autocorrélation spatiale permettent de mettre en évidence des lieux qui présentent des relations par rapport à 2 critères simultanés :

- la proximité spatiale ;
- la ressemblance ou l'opposition entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de la région d'étude.

Le coefficient d'autocorrélation spatiale traduit donc le degré d'interdépendance des caractéristiques environnementales et sanitaires des unités géographiques voisines. Il peut fortement influencer sur l'estimation des associations.

### ▣ Mesure de l'autocorrélation spatiale :

Les mesures usuelles d'autocorrélation spatiale permettent d'estimer si, globalement, l'ensemble des lieux appartenant à la région d'étude présente de l'autocorrélation spatiale. Pour des variables quantitatives, deux indices sont principalement utilisés pour tester la présence d'autocorrélation spatiale, celui de Moran et celui de Geary. Dans la littérature, l'indice de Moran est souvent préféré à celui de Geary en raison de sa stabilité générale plus grande, de sa robustesse et de sa puissance. L'indice de Moran serait le plus performant pour estimer le degré de dépendance entre les observations spatialement localisées.

Le coefficient de Moran utilise au numérateur un terme de covariance pondérée entre observations contiguës, covariance nulle en absence d'autocorrélation spatiale,

positive dans le cas d'autocorrélation positive, et négative en cas d'autocorrélation négative ; quant au dénominateur, il est constitué d'une mesure de la variance des observations.

$$I = n \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)}$$

où  $n$  est le nombre total d'unités géographiques,  $i$  l'unité géographique de référence,  $j$  les unités voisines de l'unité  $i$ ,  $x_i$  la valeur de la variable considérée dans l'unité  $i$ ,  $\bar{x}$  la moyenne des valeurs de la variable dans les  $n$  unités, et  $w_{ij}$  les éléments de la matrice de poids spatial  $W$ .

▢ Interprétation du concept d'autocorrélation spatiale :

Plus le coefficient d'autocorrélation est proche de +1 ou de -1, plus la force d'association entre les deux variables est forte.

+1 : l'unité géographique à laquelle on s'intéresse a tendance à ressembler à ce qu'il se passe dans l'unité géographique voisine. (La probabilité pour les français vivant dans le sud est de la France de parler italien est plus forte que pour les français vivant dans le nord de la France).

-1 : alors si forte tendance dans mon unité géographique, tendance inverse dans les autres unités.

Si il est proche de 0 alors il existe une interdépendance entre les données.