

# DE LA COMPLEXITÉ TERRITORIALE A LA VULNÉRABILITÉ ENVIRONNEMENTALE, QUELLE REFLEXION POUR LA COMPRÉHENSION DES LIENS ENVIRONNEMENTS-SANTÉ ? QUESTIONNEMENT A PARTIR DE RETOUR D'EXPERIENCES

Sandra PEREZ, Gilles MAIGNANT

Les liens environnements-santé sont de plus en plus complexes, quelle que soit l'échelle spatiale considérée. Les territoires de santé au sens des Agences Régionales de Santé constituent le premier échelon de la politique de santé nationale, déclinée à l'échelle régionale (ARS). Cette échelle est considérée comme pertinente au regard de l'analyse des besoins en matière médico-sociale et d'offre de santé, mais peut s'avérer inopportune pour comprendre les relations entre des facteurs environnementaux et des maladies. A travers une étude de faisabilité sur un territoire spécifique, celui du Pays de Martigues, le questionnement sur l'existence et la nature des liens environnement-santé-vulnérabilité est posé. Il s'agit de comprendre, bien au-delà de la notion de territoire, quelle est l'échelle optimale d'analyse des phénomènes environnement-santé.

## CONTEXTE

Une étude de faisabilité a été réalisée sur le territoire du Pays de Martigues où il semblerait que des déterminants environnementaux pèsent sur l'état de santé de la population. En effet, ce territoire est soumis à un cocktail de polluants très fourni en rapport avec la diversité des sources émettrices (transport routier, maritime, aérien, industries de la pétrochimie, de la sidérurgie, du raffinage, de la production d'énergie, des cimenteries), qui pour bon nombre de composés, n'entrent pas dans le cadre réglementaire (PM<sub>1,0</sub><sup>1</sup>, la plupart des COV<sup>2</sup>, des HAP<sup>3</sup> ...). Le point

---

<sup>1</sup> Particule Matter d'un diamètre de 1µm (particules très fines).

<sup>2</sup> Composés Organiques Volatils.

<sup>3</sup> Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

de départ de ce travail était de voir si l'état de santé de la population au sein de ce territoire variait spatialement en fonction du contexte socio-environnemental.

Nous avons donc sélectionné<sup>4</sup> les pathologies reconnues dans la littérature pour être particulièrement en lien avec la pollution de l'air : soit les maladies cardio-vasculaires, les maladies respiratoires, le diabète, les tumeurs de la vessie et les tumeurs rénales<sup>5</sup>.

La question de l'échelle spatiale la plus optimale pour mener à bien cette étude s'est alors très vite posée.

## UNE ÉCHELLE SPATIALE OPTIMALE POUR ANALYSER LES LIENS SANTÉ-ENVIRONNEMENT ?

Questionner l'échelle spatiale optimale pour analyser les liens santé-environnement revient à se poser, d'une part la question de l'accessibilité aux données environnementales et aux données de santé et, d'autre part celle de l'imbrication de celles-ci dans un processus *top-down* (désagrégation de données) ou *bottom-up* (agrégation de données), tout en n'oubliant pas que pour des raisons de confidentialité, une échelle fine n'est pas toujours envisageable.

L'échelle de la commune est selon nous à un niveau trop agrégé pour bien observer les liens entre la santé des individus et leur contexte d'habitation. En effet, bien souvent des relations observées à l'échelle de la commune peuvent s'inverser lorsque des espaces plus petits sont analysés (corrélation négative entre deux variables à l'échelle communale qui devient positive lorsqu'un quartier spécifique est étudié). L'échelle communale est plutôt adaptée à des pathologies qui sont indépendantes du contexte environnemental, ou bien pour l'étude de maladies plus rares. De plus, concernant les données médicales en général, il n'est pas possible, pour des raisons de confidentialité, de rendre compte d'un nombre de cas de pathologies inférieur à cinq par îlot<sup>6</sup>.

En matière de pollution, il existe une grande variabilité spatiale, liée à la nature même des polluants qui sont souvent de petite taille et qui, selon l'orientation des vents, vont retomber sur des secteurs géographiques différents et/ou s'accumuler dans certaines rues mal ventilées au gabarit particulier<sup>7</sup> (rues canyons), et donc, bien souvent, l'échelle de travail doit

---

<sup>4</sup> Après avis du comité de suivi composé notamment d'un médecin de Santé publique France (ex-inVS).

<sup>5</sup> Le nombre de cas de tumeur rénale étant finalement faible, elles n'ont pas été intégrées dans les analyses ultérieures.

<sup>6</sup> Maille statistique de base pour l'INSEE.

<sup>7</sup> Gabarit : rapport hauteur des immeubles qui bordent une artère/largeur de la rue (thèse de doctorat de G. Maignant, 2010).

être la plus fine possible. Cette question de finesse dans les modèles pose également le problème du coût en temps de calcul (temps CPU, *Central Processing Unit*), mais aussi en termes de validation. Cependant, cela permet de compléter les données des stations de mesures des réseaux de surveillance et d'augmenter ainsi la représentativité spatiale des mesures.

Ce qui nous intéressait dans cette étude de faisabilité était de mettre en rapport les données de pollution avec les données sanitaires qui peuvent être obtenues à l'échelle des IRIS<sup>8</sup>. C'est la raison pour laquelle les 23 polluants fournis par Air PACA (agence agréée de surveillance de la qualité de l'air en région Provence Alpes Côte d'Azur), qui rendent compte à la fois de la pollution d'origine industrielle et routière, sont à cette échelle.

Ainsi, les IRIS seraient dans le cadre de cette étude de faisabilité l'échelle optimale pour analyser les liens environnement-santé.

## UNE VULNÉRABILITÉ DIFFERENCIÉE AU NIVEAU DES PERSONNES

Il était également important de connaître le sexe du patient et/ou de sa classe d'âge, mais l'ajout de ces deux critères, en plus du numéro d'IRIS, imposait une déclaration à la CNIL<sup>9</sup>, ce qui n'est pas le cas en revanche avec l'ajout d'un seul de ces deux critères. La mention du sexe est intéressante pour les pathologies cardiaques et en cancérologie, avec, nous le savons une sensibilité plus grande chez les femmes. Cependant, les pathologies augmentant avec l'âge, et pour déceler d'éventuels effets de la pollution sur les classes d'âge les plus extrêmes, particulièrement vulnérables à la pollution, nous avons privilégié une catégorisation de l'âge en trois classes (moins de 15 ans, de 15 à 65 ans, plus de 65 ans). En effet, la trachée est plus courte chez l'enfant que chez l'adulte, le conditionnement de l'air, le rôle d'épuration et d'élimination des polluants associés moins efficaces, les bronches étant plus petites (4mm chez l'enfant, contre 8 mm pour l'adulte), leur obstruction est plus fréquente, les enfants consomment également plus d'oxygène, du fait d'une fréquence respiratoire plus élevée. A l'autre extrémité, les personnes âgées ont pu, quant à elles, être exposées pendant longtemps à la pollution, et elles ont tendance à développer, en vieillissant, des pathologies du système respiratoire.

En termes d'exposition, ce n'est pas seulement la proximité aux sources émettrices qui importe, mais également les paramètres concourant à la dispersion atmosphérique des polluants (conditions

---

<sup>8</sup> Ilots Regroupés pour l'Information Statistique et qui correspondent à 2000 habitants.

<sup>9</sup>Commission nationale de l'informatique et des libertés.

météorologiques telles que la vitesse et la direction des vents dominants et la topographie, qui peut favoriser un piégeage des particules). Cela a pu être pris en compte grâce à un outil développé par Air PACA, qui modélise les niveaux de polluants dans l'air ambiant, sur la base d'un inventaire des émissions atmosphériques (inventaire Air PACA 2012) couplé à ces paramètres de dispersion atmosphérique (météorologique et topographique). Les relevés des mesures de concentrations de différents polluants menées sur zone par Air PACA sont également intégrés.

Nous disposons de 23 polluants (21 gaz et 2 particulaires), fournis par Air PACA. Ces cartographies annuelles des niveaux de polluants sont basées à la fois sur des modélisations (inventaires émissions atmosphériques et dispersion) et sur des mesures (longs historiques<sup>10</sup> ou campagnes ponctuelles menées ces dernières années) ; la modélisation servant à compléter l'information dans des zones peu denses en stations.

Le large spectre des polluants mis à disposition permet de prendre en compte à la fois la pollution d'origine industrielle : rejets issus d'industries productrices ou bien utilisatrices de benzène, combustion incomplète de produits pétroliers (HAP), et celle plus spécifique d'origine routière (NO<sub>2</sub>, PM).<sup>11</sup>

Certains de ces polluants sont reconnus depuis de nombreuses années comme cancérogènes (benzène, benzo(a)pyrène), pour d'autres leur cancérogénicité est incertaine, ils sont plutôt classés 3 dans la liste établie par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)<sup>12</sup>. La plupart d'entre eux sont irritants pour les voies respiratoires (les yeux, les muqueuses) ; ils peuvent favoriser les maladies respiratoires au sens large (augmentation et gravité des crises d'asthme, des bronchites, voire des bronchopneumopathies chroniques obstructives -BPCO), mais, également, les maladies cardio-vasculaires, en réduisant la saturation en oxygène, en augmentant la coagulation, en altérant la viscosité sanguine (PM). Enfin, ils peuvent contribuer au diabète de type 2 (dioxine, furane, polychlorobiphényles), en agissant comme perturbateurs métaboliques et endocriniens et en produisant notamment des effets anti-insuliniques.

Cependant, les effets de la pollution ne vont pas concerner tout le monde de la même manière (vulnérabilité différenciée). Ainsi, les personnes défavorisées risquent non seulement d'y être plus exposées, mais également d'avoir moins de ressources pour y faire face (report des consultations médicales faute de moyens<sup>13</sup>, asthme et diabète moins bien

---

<sup>10</sup> Sur une dizaine d'années, ici, 2005-2015.

<sup>11</sup> Même si le trafic routier est lui aussi un émetteur de benzo(a)pyrène B(a)P 31% et de benzène (14%) en 2013, de même que le résidentiel/tertiaire 61% (chauffage au bois).

<sup>12</sup> [http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php).

<sup>13</sup> Bien que cela soit interdit, la CMU est parfois refusée par certains praticiens. Ce « refus » non explicite se manifeste par des délais de rendez-vous

contrôlés). De plus, pour Pierre Aïach (2010), « les inégalités sociales de santé constituent un objet de recherche particulier, en ce sens qu'il porte sur une réalité le plus souvent ignorée, et même parfois niée par une partie de ceux qui en sont les victimes ». C'est la raison pour laquelle nous avons mis en rapport les données environnementales et sanitaires avec d'autres relatives à la socio-économie au sein de ce territoire.

En ce qui concerne les données socio-économiques, nous nous sommes appuyés sur les bases de données infra-communales fournies par l'INSEE lors du dernier recensement de 2012.<sup>14</sup>

Sept variables ont été retenues :

1. La population des ménages qui a emménagé dans l'IRIS en 2012 depuis plus de 10 ans, cette variable est très utile pour approcher l'exposition des personnes P12\_PMEN\_ANEM10P.

2. Le nombre de personnes non scolarisées de 15 ans ou plus titulaires d'aucun diplôme P12\_NSCOL15P\_DIPL0

3. Le nombre de personnes des ménages dont la famille principale est une famille monoparentale C12\_PMEN\_MENFAMMONO

4. Le nombre de personnes en résidences principales occupées par des locataires P12\_NPER\_RP\_LOC

5. Le nombre de personnes immigrées P12\_POP\_IMM<sup>15</sup>

6. Le nombre de chômeurs de 15 à 64 ans P12\_CHOM1564<sup>16</sup>

7. Les revenus médians (2011) RFUCQ211

Au total nous disposons de 42 variables<sup>17</sup>, toutes à la même échelle, celle des IRIS. Puis nous demandons à ce que soit réalisée une analyse statistique de type sensibilité<sup>18</sup> pour chacun de trois IRIS test. Ce que

---

exagérément longs, ce qui peut décourager certaines personnes, qui peuvent alors décider soit de différer leur consultation, soit de ne pas recourir aux soins, soit de s'orienter vers les services des urgences pour une prise en charge plus rapide, mais avec alors le problème du suivi.

<sup>14</sup><http://www.insee.fr/fr/basesdedonnees/default.asp?page=recensement/resultats/2012/donnees-detaillees-recensement-2012.htm>.

<sup>15</sup> Variable rapportée ensuite à la population totale de l'IRIS pour avoir un pourcentage plus parlant.

<sup>16</sup> Variable rapportée ensuite à la population active de 15 à 64 ans de l'IRIS pour avoir un pourcentage plus parlant.

<sup>17</sup> 23 variables environnementales, 7 variables de nature socio-économique et 4 variables sanitaires pour les 3 tranches d'âge.

<sup>18</sup> Une analyse de sensibilité est souvent utilisée en modélisation statistique pour évaluer l'importance des variables (considérées simultanément) sur le modèle global qui équivaut ici à chacun de nos IRIS test. Pour plus d'informations voir : Iooss B., « Revue sur l'analyse de sensibilité globale de modèles numériques », *Journal de la Société Française de Statistique*, Société Française de Statistique et Société Mathématique de France, 2011, 152 (1), pp. 1-23.

nous recherchons est la hiérarchisation des facteurs, représentés par les 42 variables, sur chacun de ces trois IRIS test.

Les résultats des analyses de sensibilité révèlent des différenciations nettes en matière de santé entre les 3 différents IRIS. En effet, pour l'IRIS de la Lègue à Port-de-Bouc, les pathologies les plus influentes sont les maladies respiratoires chez les moins de 15 ans, et à part égale le diabète chez les plus de 65 ans et les maladies respiratoires chez les plus de 65 ans, qui nous le savons, sont comme les enfants, particulièrement sensibles à la pollution. Les variables de nature socio-économique sont très influentes (nombre de personnes de 15 ans ou plus non scolarisées ou sans diplômes - 927 ; le taux de chômeurs - 34%, suivies du nombre de locataires et de familles monoparentales). Les premières variables d'origine environnementale qui apparaissent sont l'acide Fluorhydrique (HF) et l'acide Chlorhydrique (HCl), dont les valeurs annuelles sont deux fois plus importantes en comparaison avec l'IRIS Centre de Saint-Mître-les-Remparts pour HCl, et trois fois plus importantes en comparaison des deux autres IRIS pour HF.

Si nous examinons à présent l'IRIS de La Colline à Martigues, la part de chacune des variables est plus faible comparée à Port-de-Bouc, c'est-à-dire qu'il semble y avoir moins de spécificités. La variable la plus importante est le nombre de familles monoparentales (577), mais sa part d'influence n'est que de 33% environ ( $> 0.3$ ). En ce qui concerne les pathologies, les premières qui apparaissent sont les maladies cardiovasculaires au-delà de 15 ans, tandis que le DahA (Dibenzo [a,h] anthracène) est le premier polluant à émerger, suivi du benzène, des acides Fluorhydrique et Chlorhydrique observés à Port-de-Bouc, des HAP et de l'indéno [1,2,3-c,d] pyrène (IcdP\_g), ils ont tous la même importance dans l'IRIS (12% environ).

Enfin, l'IRIS 101 CENTRE à Saint-Mître-les-Remparts, a un profil différent des précédents tant au niveau des pathologies (deux cas de cancer de la vessie chez les plus de 65 ans en 2015, contre un seul cas pour Port-de-Bouc, et aucun cas à Martigues) que des polluants, où les trois principaux polluants qui sont importants pour cet IRIS sont les PCB, le CO et le SO<sub>2</sub>, suivis plus loin du H<sub>2</sub>S, et du HCl.

Nous avons démontré l'intérêt de raisonner à l'échelle des IRIS qui apparaît pour l'instant comme l'échelle optimale pour analyser les interactions entre santé, environnement et contexte socio-économique, puisque nous devons posséder un nombre de cas suffisant, que nous n'aurions pas forcément à l'échelle de l'ilot, même si du point de vue environnemental l'échelle la plus fine possible semble être la meilleure pour des mesures (grande variabilité spatiale), mais peut-être pas du point

de vue économique (coût des capteurs<sup>19</sup>). L'optimalité pour une thématique ne l'est pas forcément pour l'autre.

## PERSPECTIVES

Une seconde étude est planifiée dans le prolongement de celle-ci. Elle permettra d'aller plus loin, à différents niveaux. Tout d'abord, en ce qui concerne les pathologies, nous nous sommes focalisés sur les cancers qui pouvaient avoir un lien avec la pollution d'origine industrielle (cancer de la vessie, cancer du rein<sup>20</sup>) et nous avons laissé de côté les cancers du poumon en raison essentiellement du facteur de confusion important que constitue le tabagisme. Or, cette contrainte peut être levée en faisant appel à l'expertise de l'Institut éco-citoyen (IEC) qui produit des données de bio-surveillance du lichen sur Port-de-Bouc, Lavéra, et Martigues.

Air PACA est également disposée à nous fournir les données de polluants au plus près de la population, c'est-à-dire des données au niveau du bâti et non à l'ensemble de la surface d'un IRIS. Cela peut particulièrement être utile lorsque nous avons de grands IRIS. Enfin, 22 autres polluants cette fois particuliers viendront compléter les données environnementales.

Cette seconde étude sera réalisée à l'échelle de tous les IRIS pris séparément (afin de ne pas tomber dans le travers des études menées à l'échelle communale, certes utiles pour comparer des territoires entre eux, mais trop agrégées pour révéler de fines différenciations spatiales). Elle permettra de mieux rendre compte de la variabilité des situations, des expositions et elle devrait être particulièrement utile aux organismes en charge de la santé, à la DREAL, et aux politiques afin de savoir quels leviers d'action utiliser et dans quels quartiers les employer en priorité. Cela peut passer par exemple par une sensibilisation des industriels pour abaisser encore plus certaines émissions dans le cadre de leur système de management environnemental (principe d'amélioration continue), par une prévention de certaines pathologies en amont dans une perspective de santé publique, par des mesures prises sur le plan socio-économique par les politiques locales dans les IRIS, où la défaveur sociale vient se cumuler ou pas aux expositions environnementales. Mais, également, par la détection des zones particulièrement vulnérables en raison de la présence de populations particulières (écoles, maisons de retraite), voire par une sensibilisation ciblée de la population pour adopter une certaine hygiène de vie qui tenterait de compenser les effets des polluants

---

<sup>19</sup> En ce sens les nano-capteurs risquent de modifier la donne.

<sup>20</sup> Organes mobilisés dans l'élimination des xénobiotiques.

(consommation d'aliments antioxydants, et globalement tout ce qui favoriserait une meilleure oxygénation des cellules).

## CONCLUSION

Nous avons vu que la vulnérabilité des personnes peut être exacerbée par une exposition différenciée à l'environnement. Il est donc important de mesurer cette vulnérabilité même si comme le souligne Aïach, « la mesure n'est qu'une étape dans un processus de recherche et les faiblesses que l'on peut observer lors de cette étape sont, le plus souvent, le reflet d'un manque d'avancée théorique. » Dans cet article, il nous a semblé intéressant de questionner l'espace en termes d'échelle optimale. Ainsi, l'échelle optimale d'appréhension des liens environnement-santé, particulièrement dans le contexte d'exposition à la pollution de l'air, est l'IRIS. Il permet de s'affranchir de la notion de territoire de santé (qui reste une échelle administrative) pour rentrer dans un questionnement spatial plus approprié. Il s'agit donc de changer de paradigme géographique : questionner les liens environnement-santé en tenant compte de différents facteurs socio-économiques. Nous pouvons donc prendre en compte la vulnérabilité différenciée des personnes dans un environnement multi-scalaire en confrontant des sources de données, qui initialement, n'étaient pas aux mêmes échelles.

## BIBLIOGRAPHIE

- AIACH P. (2010), *Les inégalités sociales de santé* - Ecrits, Economica, Anthropos.
- IOOSS B. (2011), « Revue sur l'analyse de sensibilité globale de modèles numériques », *Journal de la Société Française de Statistique*, Société Française de Statistique et Société Mathématique de France, 152 (1), pp. 1-23.