



## THESE DE DOCTORAT

Pour l'obtention

Du grade de **DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE STRASBOURG**

Discipline : **Géographie**

Spécialité : ***Epidémiologie, Géographie de la santé***

Présentée et soutenue publiquement

Par

***Wahida KIHAL ép. TALANTIKITE***

Le 07 décembre 2011

**Inégalités de santé, environnement de voisinage et impact sanitaire de la pollution atmosphérique : *apports d'une analyse multidisciplinaire à fine échelle.***

*Application à l'agglomération Strasbourgeoise*

ED 413. Ecole Doctorale des Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement

### **Membres du Jury :**

***Directeur de Thèse*** : Mme. Christiane WEBER

**Directeur de recherche (CNRS Université de Strasbourg)**

***Co-Directeur de Thèse*** : Mr. Denis BARD

**Professeur (EHESP, Rennes)**

***Rapporteur interne*** : Mr. Alain CLAPPIER

**Professeur (CNRS Université de Strasbourg)**

***Rapporteur externe*** : Mr. Basile CHAIX

**Chargé de recherche (Inserm-UPMC, Paris)**

***Rapporteur externe*** : Mr. Robert PAMPALON

**Professeur (Institut National de Santé du Québec)**





## THESE DE DOCTORAT

Pour l'obtention

Du grade de **DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE STRASBOURG**

Discipline : **Géographie**

Spécialité : ***Epidémiologie, Géographie de la santé***

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Wahida KIHAL ép. TALANTIKITE**

Le 07 décembre 2011

**Inégalités de santé, environnement de voisinage et impact sanitaire de la pollution atmosphérique : *apports d'une analyse multidisciplinaire à fine échelle.***

*Application à l'agglomération Strasbourgeoise*

ED 413. Ecole Doctorale des Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement

### **Membres du Jury :**

**Directeur de Thèse** : Mme. Christiane WEBER

**Directeur de recherche (CNRS Université de Strasbourg)**

**Co-Directeur de Thèse** : Mr. Denis BARD

**Professeur (EHESP, Rennes)**

**Rapporteur interne** : Mr. Alain CLAPPIER

**Professeur (CNRS Université de Strasbourg)**

**Rapporteur externe** : Mr. Basile CHAIX

**Chargé de recherche (Inserm-UPMC, Paris)**

**Rapporteur externe** : Mr. Robert PAMPALON

**Professeur (Institut National de Santé du Québec)**



## **Remerciements**

J'exprime toute ma gratitude envers mes directeurs de thèse, Mme *Christiane Weber* et Mr *Denis Bard*, pour leur encadrement et leur accompagnement tout au long de ce travail.

A Madame *Christiane Weber*, directeur du Laboratoire Image, Ville et Environnement (LIVE), je tiens à vous exprimer tous mes remerciements de m'avoir accueillie au sein de votre laboratoire et pour la confiance que vous m'avez accordée avant même le début de cette thèse.

A Madame *Christiane Weber*, ma directrice de thèse, qui a su me guider avec gentillesse pendant ces trois années de thèse. Vos qualités humaine et scientifique ainsi que vos remarques ont largement contribué à l'aboutissement de cette thèse. Je vous prie de trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A Monsieur Denis Bard co-directeur, initiateur de cette problématique et de ce projet, je vous suis très reconnaissante pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt que vous m'avez permise de vivre. Je vous remercie vivement pour vos conseils.

Je suis très reconnaissante à l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et la SITA France qui ont financé cette thèse en m'accordant une allocation de recherche pour les trois années de doctorat.

Je remercie sincèrement les rapporteurs de cette thèse, Messieurs *Alain Clappier*, *Basile Chaix* et *Robert Pampalon*, de me faire l'honneur de consacrer de leur temps précieux à la lecture de ce manuscrit.

Merci à Mme *Viviane Kovas*, Directrice du Département d'Epidémiologie et de recherche clinique (EPI), et Mr *Olivier Thomas*, Directeur du Laboratoire d'Etude et Recherche en Environnement et Santé (LERES), de m'avoir accueillie au sein de leurs structures et de m'avoir fourni les conditions matérielles et logistiques favorables au bon déroulement de ce travail au sein de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP).

Je suis reconnaissante envers l'Ecole Doctorale des Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement - ED 413, dirigée par Mr *François Chabaux*, pour avoir accepté favorablement mon projet de thèse.

Un merci tout particulier à Mme *Hélène Descurieux*, ingénieur ADEME, qui s'est assurée du bon déroulement de cette thèse.

J'adresse également mes plus sincères remerciements à tous les membres de mon comité de thèse : Mme *Hélène Descurieux*, Mr *Emanuel Rivière* et Mr *Gregoire Rey*, pour leurs conseils et leurs critiques constructifs qu'ils ont portés sur ce travail.

Je tiens à remercier vivement l'ensemble des partenaires du projet PAISARC +.

Je remercie tout d'abord l'Association de Surveillance et d'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace et particulièrement *Charles Schillinger* et *Emmanuel Rivière*.

Je suis également très reconnaissante envers *Claire Ségala*, *Gaëlle Pedrono* et *Sylvie Martin* du bureau d'étude SEPIA-Santé du, pour leurs conseils dans la réalisation de ce travail.

Merci à l'équipe EPAR (Inserm), particulièrement *Isabella Annesi-Maesano*, d'avoir apporté son avis critique et ses conseils pertinents, tout au long du déroulement de ce projet.

Merci à *Nadège Blond* du LIVE, d'avoir partagé ses connaissances, son savoir-faire et son expérience avec moi. Je tiens tout particulièrement à t'exprimer mes sincères remerciements pour tous tes encouragements, et le soutien que tu m'as apporté.

Mes sincères remerciements au registre des cardiopathies ischémiques du Bas-Rhin, d'avoir mis à notre disposition les données essentielles à la conduite de ce travail. Merci à *Dominique Arveiler* pour ses précieux conseils, et à *Cecile Rode* pour son accueil chaleureux et sa sympathie remarquable.

Merci au service SOS Médecin et le SAMU de Strasbourg de m'avoir accueillie, et mis à notre disposition les données d'asthme. Merci au Dr *Pierre Biehler* et Dr *Rémy Héaulme* pour leur accueil très convivial et leur disponibilité.

Un merci tout particulier à *Clive Sabel* et toute son équipe de l'université d'EXETER (UK) de m'avoir accueillie au sein de leur unité « Geography, College of Life & Environmental Sciences », afin de conduire une étape cruciale de ce travail. Merci à *Kothencz*, *Gyula* et *Saeed Noor*, pour votre accueil, votre disponibilité et vos conseils. Je suis très reconnaissante à *Dave Martin*, *Samantha Cocking* et *Andy Harfoot* de l'université de Southampton (UK) d'avoir mis à notre disposition un outil indispensable à la réalisation de ce travail. Merci pour vos conseils, votre disponibilité et d'avoir pris le temps de répondre à nos questions.

Je tiens à remercier tous les organismes qui ont mis à notre disposition les données sans lesquelles ce projet n'aurait pu être mis en place. Un merci tout particulier aux différents services de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) pour leur précieuse collaboration dans la réalisation de ce travail, pour les données qu'ils nous ont fournies et pour les nombreuses réunions de travail organisées.

Merci à toutes les personnes, qui m'ont orientée dans mes démarches, aussi bien administratives que scientifiques, qui m'ont consacré des moments précieux de leur temps, et qui m'ont aidée à développer mes réflexions. Merci tout particulièrement à *Benjamin Soulet*.

Mille mercis à l'ensemble du personnel du LIVE et tout spécialement *Yasmina Ramrani, Estelle Baehrel, Nadège Blond, Christophe Enaux, Jacky Hirsch*, pour votre accueil chaleureux, sympathie et votre disponibilité durant les quelques mois passés entre les murs du LIVE. Merci en particulier à *Fabrice, Grzegorz et Elise*, ainsi qu'aux doctorants géographes : *Hala, Khac, Damien et Paul*.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs de l'École des Hautes Etudes en Santé Publique qui ont paratgé mes réflexions sur cette problématique ; merci à *Séverine Deguen, Olivier Grimaud et Denis Zmirou-Navier*.

Je tiens à remercier aussi, l'ensemble du personnel de l'EHESP que j'ai cotoyé pendant ces 3 ans. Un merci tout particulier à *Gaëlle LeGall et Sarah Kitar*.

A tous mes amis doctorants de Rennes avec qui j'ai partagé ces 3 ans de thèse : *Alis, Cindy, Céline, Sophie, Stéphanie, Youcef, Benoît et François*. Merci pour vos encouragements, vos conseils et votre écoute.

Un merci très particulier aux personnes qui, avec leur encouragement, leur soutien et leur précieux conseils, m'ont permis de franchir ce cap : *Sabrina Havard, Gaëlle Pédrone, et Séverine Deguen*. Il est difficile pour moi de trouver les mots pour exprimer ma reconnaissance, alors je vous dis mille mercis.

# Dédicaces

*A mes chers parents, je dédie ce modeste travail,*

*A mes parents qui tiennent une place immense dans mon cœur qui m'ont beaucoup aidée grâce à leurs précieux conseils, leurs amours démesurés, leurs présences dévouées et leurs confiances rassurantes. Maman, une femme aussi adorable que toi je n'en connais pas, tu as toujours été là pour moi, et à aucun moment tu n'as cessé de me couvrir de ta tendresse.*

*Papa, tu es une vraie école de la vie, je ne cesse d'apprendre avec toi.*

*A mon époux*

*Mourad Talantikite, pour ton irremplaçable et inconditionnel soutien et ta patience tout au long de cette aventure.*

*A mes sœurs,*

*Nafika, Moujouda, Wassila, et Adila, pour tout votre amour et vos encouragements.*

*A mes trois petits anges, mes petites nièces,*

*Camila, Ikram et Leila.*

*A Yanis, un beau frère toujours présent, merci pour tes encouragements.*

*A mon grand père Mohamed KIHAL*

*A ma belle famille,*

*Mes beaux parents, mon beau frère Sidou et ma belle sœur Maya, pour leurs soutiens.*

*A mes amies fidèles celles de loin comme celles de très près,*

*Achraf et Manel avec qui j'ai partagé cette aventure, toujours présentes pour écarter les doutes, soigner les blessures et partager les joies.*

*Nouzha, Sanaa et Naima qui n'ont cessé de m'encourager de loin.*

*A toutes mes tantes et oncles maternels et paternels*

*A mes cousines et cousins*

*Une dédicace spéciale,*

*A la mémoire de mes grands parents et mon cousin*

*Djida Bahja, Taous, Saïd et mon cousin Salah*

## Sommaire

---

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>3</b>
<b>DEDICACES</b> .....	<b>6</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>15</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>17</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>20</b>
<b>I. INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>25</b>
<b>Chapitre 1 : Cadre théorique et conceptuel</b> .....	<b>27</b>
<b>I.1.1. Contexte</b> .....	<b>27</b>
I.1.1.1. Constat des Inégalités Sociales de Santé (ISS).....	27
I.1.1.2. Compréhension des ISS.....	28
<b>I.1.2. Problématique</b> .....	<b>35</b>
<b>I.1.3. Questionnement</b> .....	<b>36</b>
<b>I.1.4. Cadre général et contexte de ce travail</b> .....	<b>37</b>
<b>Chapitre 2. Environnement de voisinage, asthme et infarctus du myocarde</b> .....	<b>39</b>
<b>I.2.1. Environnement de voisinage et inégalités contextuelles</b> .....	<b>39</b>
I.2.1.1. Environnement de voisinage et asthme : <i>analyse des inégalités contextuelles face à l'asthme</i> .....	39
I.2.1.2. Environnement de voisinage et maladies cardiaques: <i>analyse des inégalités contextuelles face aux maladies cardiaques</i> .....	51
<b>I.2.2. Définition spatiale de l'environnement de voisinage</b> .....	<b>63</b>
I.2.2.1. Unité d'étude et les études environnementales et épidémiologiques ...	63
I.2.2.2. Unité d'étude et l'environnement de voisinage.....	63
I.2.2.3. MAUP « <i>Modifiable Areal Unit Problem</i> » : phénomène ou problème spatial ?.....	65
<b>Structure du travail de la thèse</b> .....	<b>69</b>

<b>REFERENCES .....</b>	<b>71</b>
<b>II. DEFINITION ET CARACTERISATION D'UN ZONAGE ADAPTE POUR TESTER L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT DE VOISINAGE SUR LES EVENEMENTS DE SANTE A COURT TERME .....</b>	<b>91</b>
<b>Chapitre 1 : Territoire d'étude et données contextuelles .....</b>	<b>93</b>
<b>II.1.1. Zone d'étude .....</b>	<b>93</b>
<b>II.1.2. Schéma de définition et de caractérisation de l'environnement de voisinage.....</b>	<b>93</b>
II.1.2.1. Etat de la question en France.....	93
II.1.2.2. Choix des éléments contextuels pour caractériser l'environnement de voisinage.....	95
<b>II.1.3. Données contextuelles .....</b>	<b>96</b>
II.1.3.1. Identification et localisation des données disponibles.....	96
II.1.3.2. Disponibilité des données.....	96
II.1.3.3. Métadonnées des données recueillies.....	97
<b>II.1.4. Bases de données géographiques : Données et informations spatiales .....</b>	<b>97</b>
<b>II.1.5. L'unité statistique et le choix de l'échelle de l'analyse .....</b>	<b>100</b>
II.1.5.1. Mise en place du carroyage.....	100
II.1.5.2. Avantages de l'échelle d'analyse.....	101
<b>Chapitre 2 : Traitement spatial des données contextuelles .....</b>	<b>103</b>
<b>II.2.1. Outil d'analyse : Système d'Information Géographique SIG.....</b>	<b>103</b>
II.2.1.1. Elaboration d'un modèle conceptuel de données (MCD).....	103
II.2.1.2. Représentation des données.....	104
<b>II.2.2. Traitement spatial des données.....</b>	<b>106</b>
II.2.2.1. Domaine socio-économique.....	106
II.2.2.2. Domaine des ressources publiques.....	115
II.2.2.3. Environnement psycho-social.....	119
II.2.2.4. Environnement physique : interne et externe.....	121

<b>II.2.3. Discussion</b> .....	<b>123</b>
II.2.3.1. Méthodes d'analyse des données zonales : « <i>l'approche de désagrégation</i> » .....	123
II.2.3.2. Les traitements spatiaux et concepts SIG mis en place .....	124
<b>Chapitre 3 : Traitement statistique des données contextuelles</b> .....	<b>127</b>
<b>II.3.1. Approches méthodologiques pour caractériser l'environnement de voisinage</b> .....	<b>127</b>
<b>II.3.2. Méthode</b> .....	<b>127</b>
<b>II.3.3. Résultats</b> .....	<b>129</b>
II.3.3.1. Description des profils contextuels .....	129
II.3.3.2. La disparité spatiale des profils contextuels .....	131
<b>II.3.4. Discussion</b> .....	<b>134</b>
II.3.4.1. Stratégie pour définir l'environnement de voisinage .....	134
II.3.4.2. Analyses statistiques multidimensionnelles pour caractériser l'environnement de voisinage .....	135
<b>Chapitre 4 : Conception (Design) d'un nouveau découpage de l'environnement de voisinage</b> .....	<b>137</b>
<b>II.4.1. Outils d'analyse : procédure d'analyse</b> .....	<b>137</b>
<b>II.4.2. Développement méthodologique : mise en place de l'approche expérimentale</b> .....	<b>137</b>
II.4.2.1. Phase d'identification des objectifs d'agrégation .....	137
II.4.2.2. Phase d'optimisation .....	138
II.4.2.3. Evaluation des zonages .....	139
<b>II.4.3. Résultats</b> .....	<b>140</b>
II.4.3.1. Description des agrégats .....	140
II.4.3.2. Nombre optimal d'itérations d'AZTool .....	141
<b>II.4.4. Discussion</b> .....	<b>141</b>

II.4.4.1. Les méthodes de délimitation spatiale de l'environnement de voisinage.....	141
II.4.4.2. Les avantages de notre approche.....	143
II.4.4.3. Notre approche présente aussi des limites inhérentes au programme utilisé.....	145
<b>Conclusion partie II .....</b>	<b>146</b>
<b>NOTE METHODOLOGIQUE N°1: ANALYSE SPATIALE .....</b>	<b>149</b>
<b>NOTE METHODOLOGIQUE N°2 : PROCEDURE D'AGREGATION (AZTOOL) .....</b>	<b>157</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>161</b>
<b>III. EVALUATION DES L'EFFET MODIFICATEUR DE L'ENVIRONNEMENT DE VOISINAGE "NIVEAU DE DEVAFEUR" SUR L'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.....</b>	<b>164</b>
<b>CHAPITRE 1 : Description des données sanitaires, environnementales et de la démarche méthodologique.....</b>	<b>171</b>
<b>III.1.1. Données de survenue d'infarctus .....</b>	<b>171</b>
III.1.1.1. Source de données.....	171
III.1.1.2. Recueil des données.....	171
III.1.1.3. Description de la population d'étude.....	172
<b>III.1.2. Données d'asthme .....</b>	<b>175</b>
III.1.2.1. Source de données.....	175
III.1.2.2. Recueil des données sur l' « exacerbation de l'asthme ».....	175
III.1.2.3. Description de la population d'étude.....	176
<b>II.1.3. Données environnementales .....</b>	<b>178</b>
II.1.3.1. Source des données et choix du modèle.....	178
II.1.3.2. Caractéristiques du modèle.....	178
II.1.3.3. Produit de la modélisation : concentration des polluants.....	183
II.1.3.4. Validation des performances du modèle.....	183
II.1.3.5. Description des données de pollution.....	187

<b>III.1.4. Description de la démarche de l'analyse du niveau de défaveur.....</b>	<b>178</b>
III.1.4.1. Approche de l'analyse.....	188
III.1.4.2. Description du modèle d'analyse.....	188
III.1.4.3. Mise en place du modèle.....	189
III.1.4.4. Analyses statistiques.....	189
<b>Chapitre 2 : Evaluation de l'effet modificateur de l'environnement de voisinage sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique -Cas d'étude 1 : Infarctus du myocarde.....</b>	<b>191</b>
<b>III.2.1. Description de la mise en place des modèles.....</b>	<b>191</b>
III.2.1.1. Modèles globaux.....	191
III.2.1.2. Estimation de l'effet modificateur par des caractéristiques individuelles.....	192
<b>III.2.2. Résultats.....</b>	<b>192</b>
III.2.2.1. Résultats à l'échelle du nouveau découpage (AZTool-output) : <i>approche (i)</i> .....	193
III.2.2.2. Résultats à l'échelle du découpage du recensement de la CUS (l'IRIS) : <i>approche (ii)</i> .....	200
<b>III.2.3. Discussion .....</b>	<b>208</b>
III.2.3.1. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du NO <sub>2</sub> .....	208
III.2.3.2. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact des des PM <sub>10</sub> .....	209
III.2.3.3. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du CO.....	210
III.2.3.4. Apports comparés des deux approches.....	210
III.2.3.5. Compréhension des effets modificateurs du niveau de défaveur.....	211
<b>III.2.4. Conclusion .....</b>	<b>216</b>

**Chapitre 3 : Evaluation de l'effet modificateur de l'environnement de voisinage sur l'impact sanitaire de pollution atmosphérique -Cas d'étude 2 : appel aux urgences pour asthme- 217**

<b>III.3.1. Description de la mise en place des modèles.....</b>	<b>217</b>
III.3.1.1. Modèles globaux.....	217
III.3.1.2. Estimation de l'effet modificateur par des caractéristiques individuelles.....	218
<b>III.3.2. Résultats.....</b>	<b>218</b>
III.3.2.1. Résultats à l'échelle du découpage conçu : <i>approche (i)</i> .....	219
III.3.2.2. Résultats à l'échelle du découpage du recensement (l'IRIS) : <i>approche (ii)</i> .....	224
<b>III.3.3. Discussion .....</b>	<b>229</b>
III.3.3.1. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du NO <sub>2</sub> .....	229
III.3.3.2. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact des PM <sub>10</sub> .....	230
III.3.3.3. Apports comparés des deux approches.....	231
III.3.3.4. Compréhension des effets modificateurs du niveau de défaveur.....	232
III.3.3.5. Limites de l'approche.....	234
<b>III.3.4. Conclusion .....</b>	<b>237</b>
<b>Conclusion partie III.....</b>	<b>238</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>241</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>247</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>255</b>

## Liste des productions scientifiques liées à ce travail de thèse

---

### *Article publié*

**Kihal W**, Pedrono G, Weber C, Bard D. Projet PAISARC+ : Pollution atmosphérique, inégalité sociale, asthme, risque cardiaque : influence du contexte de vie. *Environnement, Risque & Sante*. 2011;10(3) :207.

### *Article soumis*

**Kihal W**, Pedrono G, Weber C, Segala C, Sabel C E, Bard D. Characterizing neighborhood deprivation: a data-driven approach. (*Soumis en septembre 2011 dans la revue Social Science and Medicine*).

### *Article à soumettre*

Sabel CE, **Kihal W**, Bard D, Weber C. Creation of Synthetic Homogeneous Neighbourhoods to Explore Air Pollution in Strasbourg, France. (Soumission prévue dans *la revue Social Science and Medicine*).

### *Article en préparation*

Air pollution, Myocardial Infarction and neighbourhood deprivation: a small-area case-crossover study.

### **Communications Orales et affichées lors des colloques internationaux**

- Bard D, **Kihal W**, Sabel CE, Weber C (2011). *Designing relevant study zones for ecological studies: the PAISARC+ project*. **ISEE Conference**, septembre, 2011 Barcelone (*Communication affichée*).
- Sabel C E, **Kihal W**, Bard D, Weber C (2011). *Creation of synthetic homogeneous neighbourhoods to explore air pollution in Strasbourg, France*. **14th International Medical Geography Symposium**, 10-15th July 2011, Durham, UK (*Communication orale*).
- Bard D, **Kihal W**, Weber C (2011). *Geographical techniques may help exploring the relationships between environmental exposure, social and economical neighbourhood characteristics and short-term health outcomes*. **Environmental Health Conference 2011**, Salvador da Bahia, Brazil (*Communication affichée*).
- **Kihal W**, Pedrono G, W C, Bard D. *A Novel Approach for Characterizing Neighborhood Deprivation*. **ISES-ISEE Conference**, 28 August-1 September 2010, Seoul, Korea, (*Communication affichée*).

- **Kihal W**, Pelegris E, Bard D, Weber C. PAISARC (+) Project: *Atmospheric Pollution, Social Inequalities, Asthma and Cardiac Risk: Influence of Neighbourhood Context*. **ISEE Conference**, 25-29 Aout, 2009, Dublin, Ireland, (*Communication affichée*).
- Communications Orales lors des colloques nationaux**
- **Kihal W**, Pedrono G, Weber C, Bard D. « Nouvelle approche pour caractériser le contexte de vie ». **12ème Congrès des ORS 2010**, le 09 et 10 Novembre, 2010, Lyon, *Communication orale*.
  - **Kihal W**, Pedrono G, Weber C, Bard D. « Nouvelle approche pour caractériser le contexte de vie ». **1<sup>er</sup> Congrès national santé environnement : « Gène, environnement et inégalités sociales »**, le 14 et 15 décembre, 2010, Rennes, *Communication orale*.
  - Bard D, Laurent O, Havard S, Deguen S, Pedrono G, Segala C, Schillinger C, Rivière E, Arveiler D, Filleul L, Eilstein D, et **Kihal W**, « Pollution atmosphérique, inégalités sociales, asthme et risque cardiaques: influence du contexte de vie (projet PAISARC) ». **11ème Congrès des ORS 2010**, le 16 et 17 octobre, 2008, Marseille, *Communication orale*.

#### **Communications Orales lors de séminaires**

- **Kihal W**, Bard D, Weber C. « *Projet PAISARC (+) : Pollution atmosphérique, Inégalités Sociale, Asthme, Risque Cardiaque : contexte de vie* ». *Séminaire de l'ADEME : « Qualité de l'air »*, le 27 mai 2011 à Paris. *Communication orale*.
- **Kihal W**, Pelegris E, Bard D, Weber C. « *Projet PAISARC+ : Pollution atmosphérique, Inégalités Sociale, Asthme, Risque Cardiaque : contexte de vie* ». *Séminaire de l'ADEME : « Qualité de l'air »*, le 17 mai 2010 à Paris, *Communication orale*.
- **Kihal W**, **Pedrono G**, **Bard D**, **Weber C**. PAISARC+ : Pollution Atmosphérique, Inégalités Sociales, Asthme et Risque Cardiaque : influence du contexte de vie. *Séminaire mi-parcours de l'Iresp : « Territoires et Santé »*, le 9 décembre, 2010, Paris, *Communication orale*.
- **Kihal W**, Pelegris E, Bard D, Weber C. « PAISARC (+) : Pollution atmosphérique, Inégalités Sociale, Asthme, Risque Cardiaque : contexte de vie ». Journée Doctorants de l'école doctorale Sciences de la terre de l'univers et de l'environnement, le 5 novembre, 2009, Strasbourg. *Communication orale*.
- **Kihal W**, Pelegris E, Bard D, Weber C. « *Projet PAISARC (+) : Pollution atmosphérique, Inégalités Sociale, Asthme, Risque Cardiaque : contexte de vie* ». *Séminaire Afsset*, le 27 mars 2009 à Paris. *Communication orale*.

## Liste des abréviations

---

<b>AFSSET</b>	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
<b>ACP</b>	Analyse en Composantes Principales
<b>AFM</b>	Analyse Factorielle Multiple
<b>ACM</b>	Analyse des Correspondance Multiple
<b>ASPA</b>	Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace
<b>ADMS</b>	Atmospheric Dispersion Modelling System
<b>CAF</b>	Caisse des Allocations Familiales
<b>CERC</b>	Cambridge Environmental Research Consultant
<b>CPI</b>	Cardiopathie Ischémique
<b>CERTU</b>	CEntre d'Etude et Recherche du Transport et Urbanisme
<b>CST</b>	Compagnie des Transports Strasbourgeois
<b>CCI</b>	Chambre du Commerce et de l'Industrie
<b>CAH</b>	Classification Ascendante Hiérarchique
<b>CNIL</b>	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
<b>CUS</b>	Communauté Urbaine de Strasbourg
<b>CIGAL</b>	Coopération pour l'Information Géographique d'Alsace
<b>NO2</b>	Dioxyde d'azote
<b>SO2</b>	Dioxyde de soufre
<b>DDASS</b>	Direction Départementale des Affaires Sanitaire et Sociale
<b>FINESS</b>	FIchier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux
<b>IRIS</b>	Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
<b>IGN</b>	Institut de Géographie National
<b>INERIS</b>	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des Risques
<b>INSERM</b>	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
<b>INSEE</b>	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
<b>ISEE</b>	Internal Society for Environmental Epidemiology
<b>ISEA</b>	International Society of Exposure Analysis
<b>IC</b>	Intervalle de Confiance/Intervalle de crédibilité
<b>MCD</b>	Modèle Conceptuel de Données
<b>MAUP</b>	Modifiable Area Unit Problem
<b>MONICA</b>	MONItoring trends and determinants in CArdiovascular disease
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>O3</b>	Ozone
<b>PM10</b>	Particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 µm
<b>PAISA</b>	Pollution Atmosphérique Inégalité Sociale, Asthme
<b>PAISARC</b>	Pollution Atmosphérique Inégalité Sociale, Asthme, et Risque Cardiaque
<b>PAISIM</b>	Pollution Atmosphérique Inégalité Sociale, Infarctus du Myocarde
<b>RP</b>	Recensement de la Population
<b>RES</b>	Recensement des Equipements Sportifs
<b>SAMU</b>	Service d'Aide Médicale d'Urgence

<b>SIRENE</b>	Systeme national d'Identification et du Répertoire des Entreprises et de Leurs Etablissements
<b>SIG</b>	Systeme d'Information Géographique
<b>TSP</b>	Total Suspended Particulates
<b>UV</b>	Ultraviolet

## Liste des tableaux

---

---

<b>Tableau 1.</b> Les déterminants contextuels et l’asthme.....	41
<b>Tableau 2.</b> Inégalités contextuelles et asthme .....	45
<b>Tableau 3.</b> Les dimensions contextuelles et les maladies cardiaques .....	53
<b>Tableau 4.</b> Inégalités contextuelles et incidence des maladies cardiaques.....	56
<b>Tableau 5.</b> Synthèse des données collectées pour caractériser l’environnement de voisinage .....	98
<b>Tableau 6.</b> Résultats de comparaison entre population estimée et la population de référence (INSEE).....	113
<b>Tableau 7.</b> Description des variables du RP99 et de la CAF désagrégées de l’IRIS vers la cellule pour caractériser l’environnement socio-économique.....	114
<b>Tableau 8.</b> Récapitulatif des données spatiales, fournisseurs, échelle de recueil, et traitement spatial.....	126
<b>Tableau 9.</b> Description des profils contextuels à l’échelle de la CUS .....	130
<b>Tableau 10.</b> Tableau récapitulatif de la typologie des cellules de la CUS .....	131
<b>Tableau 11.</b> Conditions expérimentales de pondération .....	139
<b>Tableau 12.</b> Valeurs des scores IAC pour les 6 conditions expérimentales, France.....	140
<b>Tableau 13.</b> Résultats des simulations pour les combinaisons retenues II et III .....	159
<b>Tableau 14.</b> Descriptif des données d’infarctus du myocarde, 2000-2007, France .....	173
<b>Tableau 15.</b> Evaluation de la performance de la modélisation par le modèle ADMS Urban des niveaux moyens annuels des polluants atmosphériques, Communauté Urbaine de Strasbourg, 2000-2008.....	185
<b>Tableau 16.</b> Paramètres statistiques pour la simulation horaire de la période d’étude 2000-2008, CUS .....	187
<b>Tableau 17.</b> Matrice de corrélation entre les moyennes annuelles des polluants.....	188
<b>Tableau 18.</b> Estimation des OR* de la survenue d’IDM associés à une augmentation de 10µg du polluant atmosphérique (tous âges confondus) à l’échelle du découpage AZTool-output .....	194

<b>Tableau 19.</b> Estimation des OR de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de 10µg du polluant atmosphérique à l'échelle du découpage AZTool-output (analyse stratifiée par tranche d'âge, tout genre confondu).....	195
<b>Tableau 20.</b> Estimation des OR de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques à l'échelle du découpage AZTool-output, chez les femmes et les hommes, âgés entre 35-74 ans.....	195
<b>Tableau 21.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> (lag 0), par Niveau de défaveur contextuelle (NDC), à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007. ....	198
<b>Tableau 22.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007. ....	198
<b>Tableau 23.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> CO (lag 0), par Niveau de défaveur contextuelle(NDC), à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007. ....	199
<b>Tableau 24.</b> Estimation des Odds Ratios de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques sur l'ensemble de la population d'étude, à l'échelle de l'IRIS.....	201
<b>Tableau 25.</b> Odds ratios entre les IDM et les concentrations des polluants, pour différentes classes d'âge, pour des décalages temporels les plus significatifs lag (0-1) à l'échelle de l'IRIS. ....	202
<b>Tableau 26.</b> Odds ratios entre les IDM et les concentrations des polluants, pour différents sous-groupes définis par le genre et la tranche d'âge, pour des décalages temporels les plus significatifs lag (0-1) à l'échelle de l'IRIS.....	202
<b>Tableau 27.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.....	206
<b>Tableau 28.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.....	206
<b>Tableau 29.</b> Odds ratios associés à l'augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> CO (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.....	207

<b>Tableau 30.</b> Estimation des Odds ratio des appels d’urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques (tous confondus) à l’échelle du découpage AZTool-output.....	220
<b>Tableau 31.</b> Estimation des Odds ratios des appels d’urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques (analyse stratifiée par tranche d’âge) à l’échelle du découpage AZTool-output.....	221
<b>Tableau 32.</b> Odds ratios associés à l’augmentation de 10 µg/m3 NO <sub>2</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l’échelle du découpage AZTool-output au sein des sous-populations définies par l’âge des sujets, CUS, 2000-2008. ....	223
<b>Tableau 33.</b> Odds ratios associés à l’augmentation de 10 µg/m3 de PM <sub>10</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l’échelle du découpage AZTool-output au sein des sous-populations définies par l’âge des sujets, CUS, 2000-2008. ....	223
<b>Tableau 34.</b> Estimation des Odds ratios des appels d’urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques (tous âges confondus).....	225
<b>Tableau 35.</b> Odds ratios entre les appels d’urgence pour asthme et les concentrations des polluants, pour les différentes classes d’âge à l’échelle des IRIS, pour des décalages temporels les plus significatifs .....	225
<b>Tableau 36.</b> Odds ratios associés à l’augmentation de 10 µg/m3 NO <sub>2</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l’échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l’âge des sujets, CUS, 2000-2008. ....	228
<b>Tableau 37.</b> Odds ratios associés à l’augmentation de 10 µg/m3 PM <sub>10</sub> (lag 0-1) par le profil défaveur socio-économique (NSE) à l’échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l’âge des sujets, CUS, 2000-2008. ....	228

## Liste des figures

---

---

<b>Figure 1.</b> Les interactions possibles entre Inégalités sociales de santé, expositions et facteurs de susceptibilité. D’après O’Neil <i>et al.</i> , 2003 .....	30
<b>Figure 2.</b> Dimensions contextuelles définissant l’environnement de voisinage susceptibles d’influencer la survenue d’asthme d’après Wright et al., 2007 .....	50
<b>Figure 3.</b> Dimensions contextuelles définissant l’environnement de voisinage susceptibles d’influencer l’état de santé, d’après Chaix, 2009 .....	62
<b>Figure 5.</b> Classement des thèmes par ordre d’importance pour le maintien de la qualité de la vie .....	94
<b>Figure 6.</b> Eléments contextuels retenus pour caractériser l’environnement de voisinage .....	95
<b>Figure 7.</b> Découpage de l’espace d’étude : à gauche le découpage administratif pré-défini la CUS : l’IRIS, à droite le découpage non administratif choisi : des cellules de 250*252 m, au milieu une grille orthonormée dont le pas est défini à 250m*250m qui permet de découper notre espace d’étude .....	102
<b>Figure 8.</b> Représentation du Modèle Conceptuel des données (MCD), données CUS. ....	105
<b>Figure 9.</b> Cartographie des estimations du nombre d’habitants selon les différentes approches (M1, M2 et M3 (a,b,c)) .....	113
<b>Figure 10.</b> Répartition de la population estimée et de référence .....	112
<b>Figure 11.</b> Répartition des erreurs relatives en nombre d’habitants .....	112
<b>Figure 12.</b> Comparaison des méthodes d’estimation de la population .....	114
<b>Figure 13.</b> Cartographie de la disponibilité des transports en commun sur le territoire de la CUS, (A) localisation des arrêts de tram et Bus ; l’indice de desserte calculé (B) .....	117
<b>Figure 14.</b> Cartographie de la disponibilité des espaces verts publics sur le territoire de la CUS, (A) Sélection des espaces verts publics (parc, forêt) à l’échelle de la CUS; (B) l’indice d’attractivité calculé à l’échelle des cellules 250*250m .....	118
<b>Figure 15.</b> Caractérisation de la typologie urbaine de la CUS, (A) description de l’occupation du sol BD OCSol, Cigal, (B) synthèse de la typologie attribué à chaque cellule (250*250m) .....	122
<b>Figure 16.</b> Schéma explicatif de l’analyse factorielle multiple .....	128
<b>Figure 17.</b> Description des profils contextuels des unités spatiales cellules .....	133

<b>Figure 18.</b> Unité de base de l'agrégation (A) et l'agrégat optimum issu des conditions III (B) .	143
<b>Figure 19.</b> Schéma récapitulatif des différentes étapes de notre approche expérimentale .....	148
<b>Figure 20.</b> Exemple d'estimation de la population selon la méthode « 1 » dans une cellule 250*250m qui appartient à deux IRIS.....	149
<b>Figure 21.</b> Superposition des couches bâties des deux bases de données : BDCarto, IGN et BDOCS2000, CIGAL .....	150
<b>Figure 22.</b> Description de l'estimation de la population « P » de la cellule 250*250m selon la méthode2 .....	150
<b>Figure 23.</b> Description des bâtis de la BDTOPO, IGN .....	151
<b>Figure 24.</b> Description de l'estimation de la population en fonction soit de la superficie ou de la densité des bâtiments habités .....	152
<b>Figure 25.</b> Schéma explicatif du traitement spatial des données du transport en commun.....	153
<b>Figure 26.</b> Schéma d'attribution des indices d'attraction aux espaces verts en fonction de leur surface .....	155
<b>Figure 27.</b> Schéma explicatif du calcul de l'indice de la potentialité commerciale .....	156
<b>Figure 28.</b> Schéma explicatif des étapes de la procédure d'agrégation.....	157
<b>Figure 29.</b> Zonage AZtool-output plus compacte (A), zonage AZTool-output très linière (B)..	158
<b>Figure 30.</b> Exemples de polygone isolé : (A) polygone totalement isolé, (B) polygone partiellement isolé avec un sommet en commun et (C) polygone partiellement isolé avec deux sommets en commun.....	159
<b>Figure 31.</b> Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur.....	170
<b>Figure 32.</b> Distribution du nombre d'infarctus du myocarde par zone chez les femmes (A) et chez les hommes (B).....	174
<b>Figure 33.</b> Effectifs d'appels pour le motif d'asthme auprès des services d'urgences (SAMU et SOS Médecins confondus) dans chaque zone habitable (A), effectifs par tranche d'âge (B), période d'étude 2000-2008, CUS.....	177
<b>Figure 34.</b> Description de différentes sources d'émissions prises en compte pour modéliser la qualité de l'air sur la Communauté Urbaine de Strasbourg (d'après l'ASPA). .....	181
<b>Figure 35.</b> Répartitions horaires des émissions du transport routier (jour ouvré, samedi, dimanche et fête) ; d'après l'ASPA .....	182

<b>Figure 36.</b> Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur : approche <i>i</i> - données d'infarctus du myocarde et NDC à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output).....	193
<b>Figure 37.</b> Odds ratio entre événement d'infarctus du myocarde et polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 catégories de NDC à l'échelle du découpage AZTool-output, (a) NO <sub>2</sub> (lag0), (b) PM <sub>10</sub> (Lag 0-1), (c) CO (lag 0), tout genre confondu entre 35-74 ans.....	197
<b>Figure 38.</b> Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur : approche <i>ii</i> – données d'infarctus du myocarde et NSE à l'échelle de l'IRS. ....	200
<b>Figure 39.</b> Odds ratio entre événement d'infarctus du myocarde et polluants pour des décalages temporels les plus significatifs (lag0-1), selon les 5 profils de niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, (a) NO <sub>2</sub> , (b) PM <sub>10</sub> , (c) CO. ....	205
<b>Figure 40.</b> Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur : approche <i>i</i> – données d'asthme et NDC à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output) .....	219
<b>Figure 41.</b> Odds ratio entre les appels d'urgence pour asthme et polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 profils de niveau de défaveur contextuelle à l'échelle du découpage AZTool-output; (a) NO <sub>2</sub> , (b) PM <sub>10</sub> .....	222
<b>Figure 42.</b> Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur : approche <i>ii</i> – données d'asthme et NSE à l'échelle de l'IRS.....	224
<b>Figure 43.</b> Odds ratio entre les appels d'urgence pour asthme et polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 classes de Niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS; (a) NO <sub>2</sub> (lag 0), (b) PM <sub>10</sub> (lag 0-1). ....	227

## I. INTRODUCTION GENERALE

---

### *DE L'INEGALITE SOCIALE A L'INEGALITE CONTEXTUELLE*



## I. INTRODUCTION GENERALE

---

Très récemment, en 2008, dans un numéro spécial de *la santé de l'homme* consacré à « **comment réduire les inégalités sociale de santé ?** » Marie-José Moquet (1) a souligné, à juste titre, qu'il « *n'existe pas une définition universelle des inégalités sociales de santé et que ce terme, n'est pas répertorié dans les lexiques ou glossaires de santé publique ou de promotion de la santé disponibles* ». Aussi, sur la base de la BDSP<sup>1</sup>, par similitude, les ISS peuvent être définies comme "*des différences systématiques, évitables et importantes dans le domaine de la santé*", observées entre des groupes sociaux.

Cette thèse s'inscrit dans une perspective développée pour mieux comprendre ces Inégalités Sociales de Santé (ISS) en France. Ce travail est intégré dans un programme de recherche plus large appelé PAISARC+ : « Pollution Atmosphérique, Inégalité Sociale, Asthme et Risque Cardiaque : influence du contexte de vie ». Ce projet a pour objectif d'explorer l'implication dans les ISS l'environnement de voisinage connu dans la littérature anglo-saxonne sous l'appellation de « *neighborhood* ».

A travers une démarche multidisciplinaire, ce travail a pour objectif l'analyse de l'environnement de voisinage pour contribuer à une meilleure compréhension des inégalités sociales sur l'agglomération de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).

Cette partie introductive de la thèse vise à décrire, dans le **premier chapitre**, le cadre théorique et conceptuel dans lequel nos travaux sont conduits. La problématique et les questionnements qui en découlent y seront exposés. Pour finir, le contexte de ce travail y sera décrit en détail.

Pour dresser un état des lieux des disparités contextuelles, nous proposons, dans le **deuxième chapitre**, une revue de la littérature autour de l'environnement de voisinage et les deux événements sanitaires étudiés (Infarctus du myocarde et asthme). Cet état de l'art nous permettra d'établir une base solide qui servira à élaborer une définition appropriée de l'environnement de voisinage sur notre territoire d'étude.

Et, en fin de cette partie, sera exposée la structure de la thèse développée avec un schéma explicite et détaillé.

---

<sup>1</sup> BDSP : Banque de données en santé publique



## Chapitre 1 : Cadre théorique et conceptuel

---

Ce chapitre introductif a pour but d'exposer le contexte dans lequel a émergé notre problématique ainsi que les questionnements qui en découlent. Un rappel de quelques définitions suivies des constats faits dans la littérature est mentionné au début de ce chapitre. Enfin de chapitre, sont présentés le cadre général et le contexte dans lequel ce travail se déroule.

---

### I.1.1. Contexte

#### I.1.1.1. Constat des Inégalités Sociales de Santé (ISS)

##### *I.1.1.1.1. Au niveau international*

Au fil des années, une amélioration globale et incontestable de la santé a été enregistrée dans les pays industrialisés. Malgré cela, dans la majorité des pays développés, les indicateurs sanitaires, (mortalité (2-5), incidence (6-9), prévalence (10-14) de nombreuses pathologies (accidents cardiovasculaires (2, 6, 15), cancers (5, 9), diabète (13, 16), asthme (10, 17, 18)), montrent que les populations défavorisées sont plus à risque que les populations plus aisées, à l'exception notable d'un contre-exemple du cancer du sein (19) et du colon (20).

Ce gradient social des états de santé n'est pas circonscrit aux populations situées aux extrêmes de l'échelle socio-économique (21). De plus, les indicateurs sanitaires tendent généralement à une amélioration progressive d'une population de niveau socio-économique donné à une autre, de niveau socio-économique immédiatement supérieur. Autrement dit, ceux qui sont au sommet de la pyramide sociale jouissent d'une meilleure santé que ceux qui sont directement en dessous d'eux, et qui eux-mêmes sont en meilleure santé que ceux qui sont juste en dessous et ainsi de suite jusqu'aux plus bas échelons. Ainsi, ce gradient n'oppose pas seulement les plus pauvres aux plus riches, mais il traverse l'ensemble de la population en un continuum, en suivant la hiérarchie sociale au sein de la population socialement intégrée.

##### *I.1.1.1.2. En France*

La comparaison avec les pays de l'Europe de l'Ouest fait apparaître une position défavorable pour la France avec des inégalités de mortalité parmi les plus importantes (22).

Le rapport des Agences régionales de santé (ARS) sur les inégalités sociales de santé décrit la situation en France par un constat qualifié de : « *French paradox : une espérance de vie parmi les plus fortes et des inégalités sociales de santé importantes* » (23).

En France, l'espérance de vie à la naissance a progressivement augmenté depuis les années 70 à aujourd'hui, pour se situer à 78,1 ans et 84,8 ans respectivement pour les hommes et les femmes en 2010 (24). Mais cette avancée majeure a davantage profité aux catégories sociales favorisées. Les inégalités sociales de mortalité, et plus généralement de santé, persistent, voire s'aggravent au cours des dernières décennies (25).

Sur la période 1991-1999, un homme de 35 ans appartenant à la catégorie « cadres et professions intellectuelles supérieures » peut espérer vivre sept ans de plus qu'un ouvrier et trois ans de plus qu'un homme appartenant à la catégorie « artisans, commerçants, chefs d'entreprise » (26).

Si l'on considère l'espérance de vie sans incapacité, cet écart est encore plus important ; à 35 ans les hommes cadres supérieurs peuvent espérer vivre encore dix ans de plus que les ouvriers sans limitation fonctionnelle (34 ans *versus* 24 ans) (27).

Au-delà de l'espérance de vie, des inégalités sociales sont constatées pour de nombreux autres problèmes de santé, à savoir : la mortalité périnatale (7,1 / 1000 enfants de cadres ; 10,2 / 1000 enfants d'ouvriers) ; les prématurités et petits poids de naissance [1,5 à 2 fois plus fréquentes chez les enfants d'ouvriers que chez ceux des cadres (1995)]. Ainsi que pour le surpoids / obésité (%) (8,6 / 2,6 enfants de cadres ; 12,1 / 7,6 enfants d'ouvriers) (28).

### **I.1.1.2. Compréhension des ISS**

Il a fallu 4 siècles pour confirmer le constat des ISS (29), à savoir que « nous ne sommes pas tous égaux face la mort et la maladie ». Une fois le constat établi, de nombreuses recherches se sont orientées vers les déterminants de ces ISS. En effet, il ne suffit pas de constater et de confirmer ces gradients de santé, il est important de comprendre les facteurs qui contribuent à leur persistance. Ces recherches sont d'autant plus importantes pour la compréhension des processus des ISS qu'elles servent d'éléments de réflexion à la mise en place de politiques publiques de santé pour réduire ces ISS.

Les origines des inégalités sociales de santé sont multifactorielles et complexes. Il existe différents schémas explicatifs des ISS observées. Dans le paragraphe qui suit, nous décrivons les principales hypothèses avancées pour expliquer les ISS, en explorant les déterminants dits « classiques », les hypothèses très récentes dites « expositions environnementales », et pour finir les déterminants dits « contextuels » qui sont à l'origine d'un gradient spatial qui reflète aujourd'hui des inégalités contextuelles.

*1.1.1.2.1. Les déterminants avérés*

Un certain nombre d'études ont cherché à démontrer que les circonstances (conditions) dans lesquelles les individus naissent (30), grandissent (31, 32), vivent (33, 34), travaillent (35, 36), et vieillissent (37, 38) peuvent être à l'origine d'un mauvais état de santé (39), aussi bien en termes de mortalité que de morbidité. Ainsi, il semblerait que plus on se trouve dans une position élevée au sein de la hiérarchie sociale, moins on a de possibilités d'être confronté à de mauvaises conditions de vie ou de travail. Il paraît donc relativement logique de pointer ces circonstances de la vie dans l'existence des ISS, et de les considérer comme déterminantes.

Cependant, le recours à cette seule explication a été remis en cause par différentes recherches, notamment, par des travaux britanniques (40). A titre d'exemple, ces travaux rapportent que même dans de bonnes conditions de travail (cohorte composée exclusivement de fonctionnaires à la carrière régulière, ayant atteint un niveau minimal d'études, avec aucune prévalence de pauvreté ou de privation) un gradient social de santé persiste.

Dans la recherche croissante de déterminants aux ISS, d'autres recherches ont étudié le rôle des facteurs de risques individuels liés aux comportements et au mode de vie. La répartition sociale de ces facteurs a ainsi été avancée comme une des explications aux ISS. Les facteurs de risque individuels qui ont été le plus mis en cause sont le tabagisme et la consommation d'alcool (41-46), les habitudes alimentaires (47, 48), la sédentarité (49, 50). Certains des facteurs présentant un gradient inverse avec le niveau socio-économique, les inégalités semblaient trouver là une explication simple. Cependant, la répartition sociale de ces comportements individuels n'est pas le facteur qui prédomine pour expliquer les inégalités constatées (1). Ces facteurs individuels de risque ne peuvent donc pas, à eux seuls, expliquer les différences sociales de santé.

Les systèmes de soins mis en place pour faire face à la maladie ont été également identifiés comme des facteurs potentiels aggravant les disparités de santé, puisque l'accès aux soins, et la répartition géographique des équipements de soins, présentent un gradient social notable. En France, la question des déterminants des ISS a été longtemps uniquement orientée sur le système de soins, particulièrement l'accès aux soins et la garantie d'une offre de soins pour tous.

Cependant, malgré le classement de la France par l'OMS à la première place pour son système de santé, celle-ci a pourtant les plus fortes inégalités sociales des décès d'Europe de l'ouest. Ce constat indiquerait que les ISS dépendent bien moins du système de soins que l'on pourrait croire. Les efforts en termes de système de soins ont probablement eu pour conséquence de limiter certaines inégalités, mais ces dernières ne peuvent se résumer à ces systèmes.

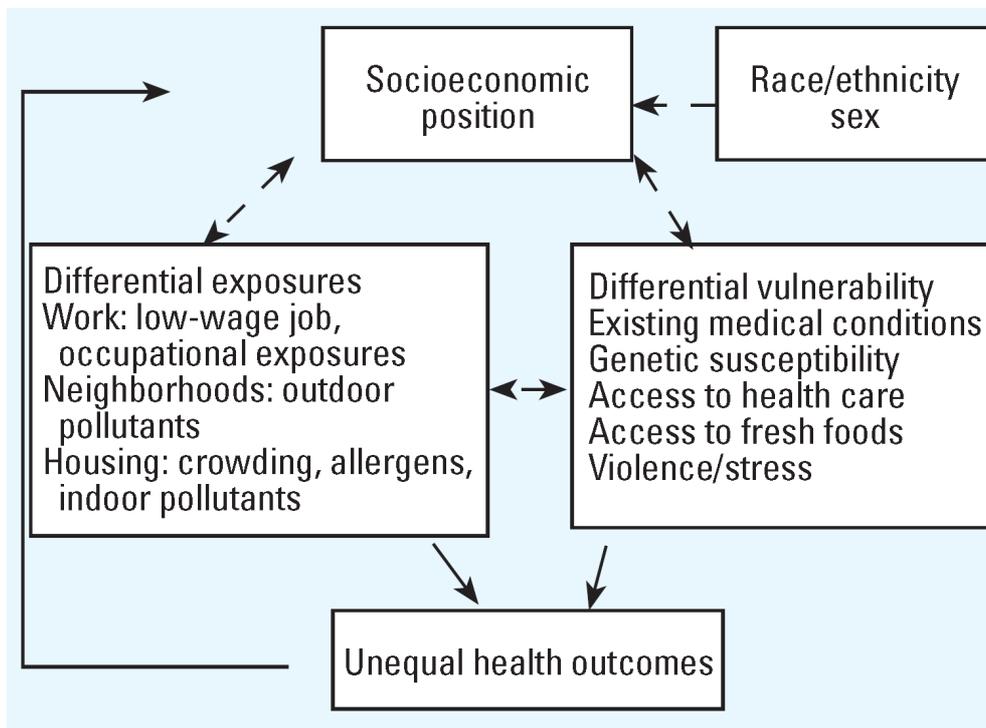
Les différents déterminants comportementaux et sociaux évoqués ci-dessus n'expliquent donc qu'une partie des ISS face à la mort et aux morbidités observées.

***1.1.1.2.2. Les Expositions environnementales : un déterminant potentiel des ISS***

L'origine des inégalités sociales de santé (ISS) reste donc incomplètement comprise, en particulier la responsabilité propre des effets des expositions des sociétés aux contaminants de l'environnement. Ceci a conduit les recherches à explorer un nouveau champ, les expositions environnementales (51), et en particulier la pollution atmosphérique.

La figure 1 empruntée à O'Neil *et al.*, illustre cette double hypothèse : (i) les populations défavorisées sont plus sensibles à une exposition environnementale (52, 53), (ii) les populations défavorisées sont plus exposées à des nuisances environnementales (54).

Le paragraphe suivant aborde cette hypothèse par laquelle ces expositions contribueraient aux ISS, en mettant en avant les deux éléments importants : la susceptibilité de la personne ou du groupe d'individus et son exposition proprement dite.



**Figure 1.** Les interactions possibles entre Inégalités sociales de santé, expositions et facteurs de susceptibilité. D'après O'Neil *et al.*, 2003(54)

**a). Un différentiel de susceptibilité individuelle**

Un état de santé dégradé (antécédent de maladies respiratoire et cardiovasculaire) et l'accumulation de facteurs de risques (addictions, habitude alimentaire inadéquate), peuvent augmenter la sensibilité aux expositions environnementales plus importantes des populations défavorisées, comparée à celle des populations plus aisées. Cette sensibilité couplée à une exposition environnementale peut entraîner le développement ou l'aggravation de nombreuses pathologies (52). Toutefois, cette hypothèse avancée par Sexton (55) et Rio (53) en 1993, reste aujourd'hui très peu documentée.

**b). Un différentiel d'exposition environnementale**

Les études dites de « justice environnementale » ou « d'équité environnementale » tentent de démontrer, au travers de divers indicateurs d'expositions et de caractéristiques socio-économiques, qu'il y a une répartition inégale des effets de l'activité anthropique sur l'environnement (pollution de l'air, mauvaise qualité de l'eau, proximité de sites contaminés ou d'usines polluantes...etc.) selon les différents groupes de la société. Les populations les plus exposées sont les populations minoritaires et les populations à bas revenus.

Parmi les expositions environnementales plusieurs peuvent être détaillées comme le bruit, mais ce sont les études portant sur les polluants de l'air (sources fixes et mobiles) qui dominent la littérature.

- Les recherches ont d'abord porté sur la proximité résidentielle des populations défavorisées (minorité ethnique,...) en s'intéressant aux installations dangereuses (56-58), aux décharges municipales (59, 60), aux incinérateurs ainsi qu'aux sites des déchets toxiques abandonnés (Cf. reviews Bowen, 2002 (61) ; Downey et Hawkins, 2008 (62); Briggs et al, 2008 (63) et Mitchell, 2011(64)). Elles ont toutes conclu que les groupes d'individus résidant à proximité de ces sources d'exposition étaient principalement socio-économiquement défavorisés (58-60), caractérisés par un pourcentage élevé de minorités ethniques (65, 66), de faible revenu (67) et d'un niveau de pauvreté élevé (56, 57). Ainsi, en Caroline du Nord (USA), les décharges sont localisées dans des zones caractérisées par une faible valeur immobilière et une forte communauté de minorités ethniques (68).

Néanmoins, ces constats ne sont pas unanimes ; des résultats contradictoires ont été rapportés par Neumann *et al*, (66) en examinant la localisation des industries et la toxicité des produits émise. Ces travaux rapportent que la toxicité des émissions n'est pas associée aux caractéristiques socio-économiques des espaces dans lesquels elles sont localisées.

- Par la suite, des études ont impliqué les émissions liées au transport (69), en utilisant comme indicateur d'exposition à la pollution soit la densité du trafic (70, 71), soit la proximité d'un axe routier (71). Ces travaux ont tous conclu que les enfants, avec un faible revenu familial et appartenant à une minorité ethnique, ont 5 fois plus de risque de résider près du trafic très dense (70) et de fréquenter des écoles à proximité des axes routiers (72).
- Un certain nombre d'études récentes ont examiné l'exposition individuelle (73-75) et environnementale au moyen d'une estimation de la qualité de l'air de l'environnement intérieur (76) et extérieur, aussi bien résidentiel (77) qu'à proximité des écoles (78). Ces travaux n'ont pas été conduits sur une même population (enfants (78), femmes enceintes (79), population générale (80)), ni à la même échelle (ville, nationale, quartier), mais leurs résultats semblent aller dans un même sens, sans pour autant être unanimes.

Les mesures des émissions de NO<sub>2</sub> (74, 78, 80, 81), au CO (80-82) et des particules totales en suspension TSP (83) sont positivement associées au niveau de désavantage socio-économique des populations étudiées, quelle que soit la mesure de défaveur employée (indice composite de Carstairs (84), le revenu, le taux de chômage, la valeur immobilière des logements, la possession ou non de véhicule), excepté pour le niveau d'éducation.

Ce constat n'est plus valable, en employant le niveau d'éducation comme indicateur. Nous avons recensé deux constats contradictoires : d'une part, Woodruff et al.(79) démontrent qu'il n'y a aucune association entre le niveau d'éducation et un indice de pollution (combinant : dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>, monoxyde de carbone CO et l'ozone O<sub>3</sub>), et, d'autre part, Brajer et Hall (85) mettent en évidence une relation entre un niveau d'O<sub>3</sub> élevé et une population de faible niveau d'éducation. En ce qui concerne l'O<sub>3</sub>, les résultats restent contrastés, puisque Liu *et al.*, (86) ont ainsi rapporté que les mesures d'O<sub>3</sub> étaient élevées aussi bien parmi les populations à revenu élevé que chez les populations à faible revenu. Brajer et Hall (85) et d'autres études ont noté que les niveaux d'O<sub>3</sub> observés étaient plus élevés chez les populations à faible revenu (75, 77).

La liste non exhaustive des études décrites ci-dessus, et que l'on retrouve dans la dernière revue de Mitchell, 2011 (64), montre l'hétérogénéité des approches entreprises (en termes d'indicateur d'exposition et de défaveur), des échelles d'analyse, des méthodologies mises en œuvre pour étudier l'« *injustice environnementale* ». Mitchell y rappelle, qu'il n'y a pas de consensus pour analyser cette problématique de justice (ou d'équité) environnementale. Et, par conséquent, même si, dans la majorité d'entre eux, les auteurs ont conclu que les groupes, avec un faible

niveau socio-économique, tendent à être plus exposés aux polluants atmosphériques en raison, notamment, de leur proximité résidentielle aux différentes sources de pollution (axes routiers à fort trafic, usines, décharges...), ces résultats doivent toujours être utilisés avec une grande réserve, et ne doivent surtout pas être généralisés, puisque ce qui est vrai aux Etats-Unis ou en Angleterre, ne l'est pas forcément en Europe ou ailleurs.

### *1.1.1.2.3. Les déterminants contextuels*

La littérature récente a identifié, ces dernières années, plusieurs autres attributs ou caractéristiques de l'environnement de vie qui seraient susceptibles d'améliorer ou au contraire aggraver l'état de santé (87). Ainsi, l'environnement de voisinage serait caractérisé par des attributs qui transcendent les caractéristiques des individus qui y vivent et qui affectent leur santé (88).

Dès lors, l'intérêt d'étudier l'environnement de voisinage et son influence sur la santé développé par les sciences sociales, a très vite été adopté par les études de l'épidémiologie sociale (89).

Les développements méthodologiques, d'analyse écologique, contextuelle, et surtout multi niveaux, ont permis d'explorer la part des facteurs dits « contextuels » qui pourrait expliquer les ISS au-delà des caractéristiques individuelles. Ce constat a conduit aujourd'hui à parler d'« inégalités contextuelles » (90-92).

La description sommaire des caractéristiques contextuelles à l'origine d'inégalités, face aux différents états de santé, est présentée dans le paragraphe suivant. Une analyse plus exhaustive des caractéristiques de l'environnement de voisinage à l'origine des inégalités contextuelles, face à l'asthme et IDM, sera réalisée plus loin dans cette partie.

#### **a). Les caractéristiques socio-économiques**

L'étude des caractéristiques de l'environnement de voisinage a longtemps été dominée par des travaux consacrés uniquement aux caractéristiques socio-économiques d'un lieu de résidence en explorant soit l'environnement social, soit la défaveur matérielle (appelée aussi *déprivation*), soit les deux à la fois.

Différentes mesures ont été construites pour résumer aussi bien les attributs matériels et sociaux, tels que l'indice Carstairs (84) et Townsend (93), NZDep (94), Care Need Index (95) ou encore d'autres indices composites (96).

D'autres études ont résumé ces deux dimensions au moyen d'une seule mesure « proxy » telle que le revenu (97-99), le niveau d'éducation (100-102), le taux de chômage (103), la stabilité résidentielle (104, 105).

Toutes les mesures contextuelles employées pour mesurer l'environnement socio-économique ont constaté des inégalités contextuelles face à la mortalité (106-108), et aux morbidités (3).

Plusieurs études ont montré que les populations vivant dans des lieux, à niveau socio-économique faible, présentent un fort risque de mortalité (toutes causes confondues (109)), ou d'accidents cardiovasculaires (109, 110).

En terme de morbidité, l'environnement socio-économique des milieux où l'on vit semble très significativement associé à la survenue de pathologies cardiovasculaires (95, 97, 111, 112), respiratoires (101, 113) et à la santé mentale (114, 115).

Cependant, il est important de souligner que l'effet de l'environnement de voisinage ne renvoie pas uniquement à la seule caractéristique socio-économique. D'autres caractéristiques ont été identifiées pour caractériser l'environnement de voisinage ; Macintyre a décrit 3 familles d'attributs qui constituent cette « structure dite d'opportunités »).

#### **b). *Autres caractéristiques contextuelles***

Trois composantes de l'environnement ont été explorées et avancées en tant que déterminants contextuels : l'environnement physique (116, 117), la configuration locale des ressources, et le capital social (ou encore appelé cohésion sociale) :

1). Les caractéristiques de l'environnement physique ou sociale de voisinage les plus directement mises en cause avec l'état de santé sont : l'état des logements, l'état de salubrité des rues avec la présence de graffiti (118), la violence et la criminalité dans les rues (119-122); la structure urbaine (123, 124), les connexions du réseau routier (125-127), ou encore les caractéristiques du bâti (128, 129).

2). La configuration locale des ressources englobant les ressources locales en soins et services médicaux (130) mais aussi d'autres ressources communautaires comme la concentration et l'aménagement des espaces verts (131-134), les offres alimentaires (135-138), la présence d'équipements sportifs ou les espaces récréatifs (139-142), l'accessibilité aux transports (143-145).

3). Et, enfin, le capital social, autrement dit l'organisation locale de la vie sociale, et les relations entre les différents agents sociaux. Les notions de « *capital social* » (146-149), de « *cohésion sociale* » (150), de réseau ou support social (151-153) ou encore de la fragmentation (désorganisation) sociale (97, 105, 154) sont autant de termes employés pour décrire ces attributs. Cet environnement est décrit principalement par l'engagement civique des individus, résumé par

la densité des associations bénévoles (155), la participation électorale (156), les commerces de proximité (157), ainsi que l'environnement scolaire des enfants (154).

Les travaux épidémiologiques examinant ces différentes caractéristiques de l'environnement de voisinage ont permis de mettre en évidence des inégalités contextuelles face à la mortalité (158, 159) ainsi qu'à l'état de santé perçue (160) et apparente, telles que la santé mentale (119, 120, 161-163), les pathologies cardiovasculaires (135, 156, 164), les maladies respiratoires (121, 134, 154, 165), et l'obésité (135, 166).

*(Les résultats des principales études sur les déterminants contextuels seront abordés dans un état de l'art réalisé, en deuxième chapitre de cette partie, pour identifier les déterminants contextuels pertinents des inégalités face à l'asthme, d'une part, et l'Infarctus du myocarde, d'autre part).*

De plus en plus d'études mettent en évidence les inégalités de santé dites « *contextuelles* » observées aussi bien par les travaux nord américains et nord européens, et démontrent ainsi l'intérêt de prendre en compte les dimensions de l'environnement de voisinage pour comprendre le mécanisme des ISS et permettre la mise en place, de politique de santé, et de dispositifs concrets et efficaces pour les réduire.

### **I.1.2. Problématique**

Au plan international, la recherche sur les inégalités sociales de santé a donné lieu à des développements théoriques et méthodologiques et a produit un important corpus de connaissances. Ceci a permis, à de nombreux pays, de mettre en place des dispositifs et des actions publiques pour réduire les ISS.

En revanche, en France, la question des déterminants des ISS a été longtemps uniquement orientée sur le système de soins, particulièrement l'accès aux soins et la garantie d'une offre de soins pour tous.

Le rapport du Haut Conseil de Santé (2009), souligne le retard de la France en termes de réduction des ISS, et synthétise la réflexion actuelle sur l'intérêt de réduire les ISS en France, en vue d'établir une véritable politique de santé publique.

Pour ce faire, de plus en plus de programmes de recherche, depuis 2005, ont été mis en place pour soutenir des projets ayant pour seule problématique des « inégalités sociales de santé » et ainsi

contribuer à produire des hypothèses, des modèles, des méthodes et des connaissances nouvelles ou renouvelées sur les inégalités sociales de santé et leurs évolutions.

De ce cadre de recherche croissante de compréhension des ISS en France, les études intitulées PAISA et PAISIM qui constituent le projet PAISARC (167), ont exploré pour la première fois, en France, la contribution de l'exposition environnementale aux ISS. Ces études ont investigué l'hypothèse que l'exposition environnementale et le niveau de défaveur pourraient contribuer aux inégalités sociales face à l'asthme et l'Infarctus du myocarde au sein de la Communauté urbaine de Strasbourg.

A ce jour, les résultats de ces projets en partie publiés (168), sont en contradiction avec les rares études comparables. Ces travaux montrent que le risque de survenue de crise d'asthme et les niveaux de pollution atmosphérique croissent avec la défaveur socio-économique, mais il n'apparaît pas d'influence du niveau socio-économique sur le risque porté par la pollution atmosphérique dans cette étude. Alors que la seule étude comparable à ces travaux conclut à l'inverse de ces résultats (169).

Ces divergences peuvent être attribuables à la nature de l'indicateur de défaveur socio-économique (NSE) retenu pour être mis en regard des expositions. Les questions posées à cet égard sont liées à l'importance des effets induits par la construction des données (de recensement par exemple) et des découpages spatiaux associés ou encore la distorsion entre la finesse des données sanitaires et la grossièreté des données socio-économiques qui pourraient expliquer le peu de relation entre ces variables.

Devant le constat de ces études, et la littérature récente qui a mis en évidence l'influence de l'environnement de résidence sur la santé (170), il paraît important d'explorer une nouvelle approche pour comprendre les ISS en France.

C'est dans ce contexte décrit ci-dessus que nous proposons, sur la base des études réalisées en France, d'étendre la définition de la défaveur socio-économique à celle de défaveur contextuelle et ainsi d'explorer un nouveau modèle pour compléter la compréhension des ISS en France, celui d'une combinaison « *environnement de voisinage et exposition environnementale* ».

### **I.1.3. Questionnement**

Pour explorer ce mécanisme, une des questions cruciales, à laquelle doit, au préalable, répondre cette recherche se résume à : **qu'est-ce qui définit l'environnement de voisinage ?** Cette question se pose en termes de définition structurelle – ou encore de composition (quels éléments entrent dans la composition de l'environnement de voisinage). Sur le plan spatial, la question

posée est celle de la délimitation des unités spatiales de représentation des données retenues pour illustrer ces éléments.

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé, dans un premier temps, un état de l'art de la littérature pour identifier les différentes approches contextuelles mises en place pour étudier les inégalités contextuelles face à l'asthme, d'une part, et les pathologies cardiaques, d'autre part.

Cette revue de la littérature a pour objectif de nous permettre de construire notre définition de l'environnement de voisinage pour étudier la combinaison « *environnement de voisinage et exposition environnementale* ».

Dans un second temps, nous avons analysé les définitions de l'environnement d'un point de vue spatial, avec les conséquences qui peuvent en résulter. Cette analyse nous a permis de construire un découpage (zonage) spatial spécifique pour étudier l'environnement de voisinage.

Ainsi, il revient au deuxième chapitre de cette partie, de 1) préciser la définition de l'environnement de voisinage (en examinant ses différents aspects ainsi que les principaux schémas d'étude pour l'analyser et les Inégalités contextuelles observées), 2) et d'exposer la structure de la thèse. Le paragraphe qui suit résume le cadre scientifique dans lequel ce travail a été conduit.

#### **I.1.4. Cadre général et contexte de ce travail**

Ce travail est conduit dans la continuité du projet PAISARC (2003 et 2005) pour vérifier si la prise en compte de l'environnement de voisinage permet de mieux comprendre et de compléter l'investigation des ISS sur le site de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS). Par souci de continuité, les mêmes relations « santé et exposition environnementale », que dans les projets PAISA et PAISIM, seront donc étudiées. Ainsi, nous examinerons deux événements sanitaires : la survenue de l'asthme et celle de l'infarctus du myocarde (IDM), pour lesquelles un gradient social a bien été établi par la littérature.

En ce qui concerne les expositions environnementales, ce sont principalement les polluants atmosphériques, issus du trafic, qui présentent des inégalités d'exposition en relation avec les deux événements sanitaires (asthme, et IDM) qui ont été étudiés (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, et CO).

Aussi, nous avons essayé, dans la mesure du possible, de ne pas modifier les facteurs tiers (modèles, variables de confusion...) pour conserver les mêmes conditions d'études (mêmes sources de données sanitaires, même modèle d'estimation des polluants) en prolongeant la durée d'étude (2000-2008).



## Chapitre 2. Environnement de voisinage, asthme et infarctus du myocarde

---

Le deuxième chapitre de cette partie introductive est consacré à l'examen exhaustif du concept d'environnement de voisinage. Nous analyserons, dans un premier temps, les schémas de définition et d'analyse de l'environnement de vie employés dans la littérature épidémiologique, puis, dans un deuxième temps, nous soulèverons quelques notions géographiques (MAUP) qui pourraient compléter la définition complexe de l'environnement de vie.

---

### I.2.1. Environnement de voisinage et inégalités contextuelles

Pour identifier les schémas de définition de l'environnement de voisinage et d'en analyser l'effet sur la santé, nous avons examiné les inégalités contextuelles face à l'asthme et l'Infarctus du myocarde.

Cette revue a deux objectifs :

- faire un premier état de l'art des études contextuelles visant à examiner l'effet de l'environnement de voisinage sur l'asthme et l'infarctus du myocarde, et ainsi mettre en évidence les inégalités contextuelles constatées face à ces deux événements.
- recenser les différentes approches utilisées pour caractériser l'environnement de voisinage et ainsi identifier les éléments contextuels pouvant être utilisés dans notre étude à l'échelle française.

#### I.2.1.1. Environnement de voisinage et asthme : *analyse des inégalités contextuelles face à l'asthme*

##### I.2.1.1.1. Critère de sélection

Au total, nous avons retenu **17 études**, recensées sur la base Medline, en utilisant comme critère de recherche les mots clés : « *Neighbourhood* », « *area of residence* », « *environment* », « *Community* » et « *environment* » et « *asthma* ». Aussi, nous avons retenu les études relatives à des concepts plus spécifiques, à savoir « *deprivation* », « *disadvantage* », « *physical* », « *social capital* ».

Pour répondre aux objectifs de cette revue, nous avons appliqué deux restrictions :

- Dans l'optique d'étudier l'interaction de la pollution avec les autres caractéristiques contextuelles, certaines études décrivant l'environnement de voisinage essentiellement par l'environnement physique, et plus précisément l'exposition à la pollution, n'ont pas été retenues (99, 171-173).

- Aussi, nous avons exclu toutes les études ayant examiné l'environnement de voisinage via des données individuelles, telles que des scores de cohésion sociale (32, 174), ou de violence (32, 175-177) ou d'environnement stressant (174, 178-182) ou encore de perception des sujets des nuisances du quartier (183, 184), construits sur la base de questionnaires réalisés auprès des sujets pour caractériser leur environnement et leur perception. Ces études ont le mérite d'apporter un éclairage nouveau et conséquent sur la perception des individus de leur environnement de voisinage. Elles ont été examinées de très près pour le choix des variables à prendre en compte, mais dans cette section, elles n'ont pas été retenues pour mettre en évidence les inégalités contextuelles.

#### *1.2.1.1.2. Description des caractéristiques contextuelles de l'environnement de voisinage*

**a). Localisations et terminologie.** Parmi les 17 études recensées, on retrouve 12 études américaines, 4 européennes, dont 2 conduites en Grande-Bretagne et une seule étude en Nouvelle-Zélande. La majorité des études américaines emploie le terme de « Neighborhood » ou « community », et très peu « area, environment ou context » (101, 113, 154, 185). Quant aux rares études européennes, et de Nouvelle-Zélande recensées, la dénomination n'est pas explicite, mais sous entendue au travers « area-based indicator » ou la notion de « deprivation » (94, 186, 187), excepté une étude qui a utilisé le terme de « Neighborhood » (188) (Tableau 1).

#### **b). Caractérisation des dimensions de l'environnement de voisinage**

**L'environnement socio-économique.** Le niveau de défaveur ou de désavantage socio-économique de l'environnement de vie a été estimé soit par des mesures « proxy » (99, 101, 113, 188, 189), (revenu, niveau d'éducation, chômage...), soit par des scores composites (94, 185-187, 190), tels que NZDep91 (94), Townsend ou Carstairs (187).

**L'environnement psychosocial.** L'environnement psychosocial a principalement été mesuré par le taux de violence (121, 154, 165, 191) dans les communautés ou encore par l'efficacité collective ou le capital social (122, 154, 191). L'environnement scolaire a aussi été utilisé pour décrire la dimension psychosociale qui influence l'asthme (154).

**L'environnement physique.** La dimension physique du lieu de résidence a été étudiée à deux échelles, le bâtiment et son extérieur. Le bâtiment ou la structure bâtie est décrit par les différentes caractéristiques : l'âge du bâti (189, 192), l'état de détérioration et de délabrement des logements (192). L'environnement physique extérieur, est caractérisé par la densité d'arbres dans les rues (134), la présence de graffiti (122) et les ressources communautaires (191).

**Tableau 1.** Les déterminants contextuels et l’asthme

Domaine	Désignation	Mesure	Variables contextuelles	Auteurs et année	Lieu et période d’étude	Unité géographique
Socio-économique	Neighborhood-level factors	Mesure proxy	Revenu Médian, Niveau éducation, situation familiale (monoparentale)	Saha et Liu, 2005 (189)	Marion country, Indiana 2000	Census block groups
	Contextual socioeconomic		Revenu médian, pauvreté, éducation, chômage	Shankardass et al., 2007 (101)	12 communautés de Californie du sud [1993 à 1996]	Census block groups
	Area of residence		Revenu des ménages, niveau d’éducation, pauvreté	Litonjua et al. 1999 (113)	Boston (USA), [1994-1996]	Zip Codes
	Neighborhood environment		Revenu, composition raciale	Corburn et Porter 2006 (192)	New York [1997-2000]	Neighbourhood hotspots
	Neighborhood environment		Revenu moyen des familles, niveau d’éducation, occupation	Juhn et al. 2005 (193)	Rochester Minnesota (1976-1983)	Census Tracts
	Neighborhood factors		Pauvreté, structure familiale, composition raciale	Liu et Pearlman 2009 (188)	Rode Island 2001-2005	Census tracts
	Area-based indicator of socioeconomic status	Score composite	2 scores : - <i>Indice de défaveur</i> : éducation, occupation, chômage, situation familiale, logement [SES index] - <i>Revenu</i> : catégorisé en 4 classes [Income Area Index]	Cesaroni et al. 2003 (190)	Rome (Italie), 1994-1995	Census tract
	Deprivation		Indice de défaveur NZDep91	Salmond et al. 1999 (94)	Nouvelle Zélande 1991-1993	Meshblock
	Area-level socio-economic status		Pauvreté, revenu, logement, chômage, occupation, ménage et situation maritale	Blanc et al. 2006 (185)	Californie du Nord 2002 à 2003	Census block groups
	Deprivation		Revenu, chômage, emploi, situation familiale, ménage, logement	Laurent et al. 2008 (186)	France 2000-2005	Census Block (IRIS)
	<i>Social deprivation</i>		<i>Indice de Townsend</i>	Burr et al., 1997 (187)	<i>Grande-Bretagne</i>	<i>Cardiff electoral wards</i>

Suite du tableau 1.

Domaine	Désignation	Mesure	Variables contextuelles	Auteurs et année	Lieu et période d'étude	Unité géographique
Psycho-sociale	Community crime		Incident annuel pour 100.000 habitants : violence, crime, drogue	Gupta et al. 2010 (121)	Chicago [2003-2005]	Police beats (zone géographique de la ville ventilée pour patrouiller et à des fins statistiques)
Physique	Neighborhood environment	Mesure	Age et état des logements, logements délabrés et détériorés, logements publics et subventionnés	Corburn et al., 2006 (192)	New York [1997-2000]	Neighbourhood hotspots
	Neighborhood-level factors		Age du logement	Saha et al., 2005 (189)	Marion country, Indiana [2000]	Census block groups
	Area with more street trees		Densité d'arbres [Nombre d'arbres/km <sup>2</sup> ]	Lovasi et al., 2008 (134)	New York [1997 et 1999]	United Hospital Fund area
Plus qu'une dimension	Community factors	+ qu'une mesure	<b>1. Community Vitality Index avec 3 domaines :</b> - capital social (cohésion sociale) - potentiel économique -ressources communautaires <b>2. composition raciale</b> <b>3. Statut socio-économique</b>	Gupta et al. 2009 (191)	Chicago, [2003-2005]	Agrégation de census tracts : <i>neighborhood</i>
	Social environment		- <b>Environnement socio-économique</b> SES (Revenu, éducation, chômage), Composition raciale de la communauté, densité de la population, coefficient GINI - <b>Environnement social scolaire</b> : performance académique au niveau scolaire, classement selon fond reçu, améliorer la réussite scolaire des personnes défavorisées, composition raciale - <b>Environnement psychosocial</b> Taux de crime	Shankardass et al., 2010 (154)	Southern california [2002-2003]	3 unités : <i>'neighborhood'</i> <sup>2</sup> / ecole/ communauté
	Neighborhood social context		- <b>Environnement socio-économique</b> → désavantage SE ( <i>pauvreté, chômage, aide sociale, composition raciale, ménage</i> ) et → Stabilité résidentielle - <b>Environnement social (psychosocial)</b> : → Efficacité collective - <b>Environnement physique</b> : → Désordre (graffiti, immeubles abandonnés...)	Cagney et al., 2004 (122)	Chicago [1990-2000]	Census Tracts
	Housing and neighborhood environments		- <b>Environnement socio-économique</b> : → Composition raciale - <b>Environnement psychosocial</b> : → Taux de crime	Rosenbaum 2008 (165)	New-York [2002]	Subarea <sup>3</sup>

<sup>2</sup> Agrégation de census tracts

<sup>3</sup> Census tract avec Minimum 100.000 habitants

***1.2.1.1.3. Inégalité contextuelles face à l'asthme***

**a). Bilan des types d'études**

Les données sanitaires, pour la plupart, sont issues de cohortes et d'études transversales, excepté 4 études écologiques (134, 186, 187, 192) qui ont recueilli les taux de mortalité auprès des hôpitaux. Deux d'entre elles ont utilisé à la fois des données écologiques et individuelles (134, 187). Deux études ont mené des analyses à la fois sur des données individuelles mais aussi sur celles issues d'hôpitaux (Tableau 2).

Si les données individuelles sont issues soit d'études de cohortes, soit d'études transversales, les données écologiques d'hospitalisation sont, toutes, à l'exception d'une étude, issues d'instances gouvernementales, telles que les départements de la santé de New York (*NYCDOH New York City Department of Health* (134, 192)), *Rhode Island department of Health's Hospital Discharge* (188) ou encore les Services de santé comme le *south Glamoran Health authority en Grande-Bretagne* (187). A notre connaissance, une seule étude (186) écologique a analysé des données enregistrées par les services d'urgentistes (*SAMU et SOS Médecins*).

**b). Principaux résultats**

Les événements sanitaires, les plus étudiés, sont la prévalence d'asthme (9 chez les enfants et 2 chez les adultes), suivie des formes sévères d'asthme (101, 185, 190) et l'hospitalisation (134, 187, 188, 192). Très peu d'études ont analysé l'incidence (99, 154) et les autres indicateurs, tels que les appels aux services d'urgence (186) ou l'utilisation d'inhalateur (187) (Tableau 2).

**b.1). Effet de l'environnement socio-économique**

**Chez les enfants.** Parmi les 13 d'études ayant testé l'influence du niveau de désavantage socio-économique de l'environnement de voisinage sur l'asthme, 3 ont rapporté une association négative significative avec la prévalence (101, 113, 190), 2 avec les formes sévères (101, 190), 3 avec le taux d'hospitalisation (187, 188, 192). Deux études n'ont pas rapporté d'association significative avec la prévalence et l'incidence (99, 187, 189), et une étude enfin a rapporté une association négative mais pas significative après ajustement entre le taux d'hospitalisation pour asthme et le niveau de défaveur (188).

**Chez les adultes.** Les résultats sont plus contrastés : une étude a rapporté une association significative entre l'indice composite socio-économique et la prévalence d'asthme (94), et une autre étude a rapporté une association significative entre un score composite socio-économique et les formes sévères d'asthme, mais non significative après ajustement (185) (cf. tableau 2).

**Tous âges confondus.** Une seule étude a montré que la corrélation entre le niveau de défaveur et le taux d'appel aux urgentistes pour crise d'asthme est significative même après prise en compte de l'autocorrélation spatiale (186).

**b.2). Effet de l'environnement psychosocial.** Les études ayant exploré la relation entre l'environnement psychosocial et la prévalence d'asthme, ont toutes rapporté, à une exception près, que la prévalence et l'incidence d'asthme ont été significativement associées au taux de violence (121, 154), à la cohésion sociale (122, 191) (chez les enfants et chez les adultes) et à l'environnement social scolaire que les enfants fréquentent (154). Une seule étude, à notre connaissance, n'a pas rapporté d'association entre la prévalence d'asthme et le taux de criminalité (165).

**b.3). Effet de l'environnement physique.** Parmi les 6 études ayant étudié l'environnement physique, les 2 travaux (189, 192) consacrés à l'environnement intérieur du logement, rapportent des résultats contrastés. Une première étude (192) rapporte une association significative avec la prévalence, alors qu'une deuxième étude (189) ne rapporte aucune association. L'environnement physique extérieur du bâtiment, en l'occurrence la rue, quant à lui, est exploré par 3 études qui rapportent toutes une association significative. Chez les adultes, une seule étude (122) a rapporté un effet protecteur de l'état de détérioration (graffitis, délabrement...) des quartiers en ce sens que la prévalence est faible dans les quartiers propres. De même, des travaux ont rapporté que la prévalence d'asthme chez les enfants est plus faible dans les quartiers ayant un grand nombre de ressources communautaires (191), et que le risque d'asthme diminue avec l'augmentation de densité d'arbres (134).

Tableau 2. Inégalités contextuelles et asthme

	Description de la mesure contextuelle	Auteurs et année	Indicateur d'asthme	Population	Lieu et période d'étude	Design d'étude [[Méthodologie]	Résultats	Ajustement
Socio-économique	Mesure proxy du NSE Revenu Médian, Niveau éducation, situation familiale (monoparentale)	Saha et Liu, 2005 (189)	prévalence	2 544 enfants âgés entre 5 et 18 ans	Marion country, Indiana 2000	Cohorte [MRL]	Pas d'association entre asthme et caractéristique socio-économique du quartier.	Facteurs individuels : âge, race, sexe, BMI
	Mesure proxy du NSE Revenu médian, pauvreté, éducation, chômage	Shankardas et al., 2007 (101)	prévalence d'asthme	5 762 enfants (9 à 10 ans) grade 4 (12 à 13 ans) grade 7 (15 à 16 ans) grade 10.	12 communautés de Californie du sud 1993 à 1996	Transversale [multi niveaux]	La prévalence augmente avec le niveau socio-économique de la communauté (après ajustement sur niveau d'éducation individuel, âge, ethnicité, sexe).	Age, sexe, taille, BMI et origine ethnique, type couverture médicale, niveau d'éducation des parents, historique des maladies d'asthme
	Mesure proxy du NSE Revenu médian, pauvreté, éducation, chômage	Shankardas et al., 2007 (101)	Forme sévère - difficultés respiratoires plus de 3 jours par semaine - réveils nocturnes par des sifflements - recours à l'hôpital pour sifflements	5 762 enfants (9 à 10 ans) grade 4 (12 à 13 ans) grade 7 (15 à 16 ans) grade 10.	12 communautés de Californie du sud 1993 à 1996	Transversale [multi niveaux]	La prévalence des difficultés respiratoires sévères augmente avec le niveau socioéconomique de la communauté (après ajustement)	Age, sexe, taille, BMI et origine ethnique, type couverture médicale, niveau d'éducation des parents, historique des maladies d'asthme
	Mesure proxy du NSE Revenu des ménages, niveau d'éducation, pauvreté	Litonjua et al. 1999 (113)	Prévalence de l'asthme	307 enfants) 1 à 24 ans	Boston (USA), 1994-1996	Cohorte [Régression Logistic]	Prévalence plus élevée chez les sujets vivant dans les ZIP Codes présentant la plus haute proportion de population vivant sous le seuil pauvreté	Race, origine ethnique, Niveau d'éducation, revenu total de la famille
	âge et état des logements, logements délabrés et détériorés, logements publics et subventionnés	Corburn et Porter 2006 (192)	Taux d'hospitalisation (SIG)	Tous les enfants de 0-14 ans	New York 1997-2000	Ecologique [approche spatiale]	Corrélation positive entre caractéristique socio-économique des quartiers et le taux d'hospitalisation pour asthme chez les enfants.	
	Revenu moyen des familles, niveau d'éducation, occupation	Juhn et al. 2005 (193)	Incidence	Tous les enfants Nés entre 1976 et 1979	Rochester Minnesota (1976-1983)	Cohorte [Multi niveaux]	Pas d'association significative entre le SES et l'incidence d'asthme. Les enfants des quartiers les plus défavorisés ont une faible incidence d'asthme comparés à ceux qui habitent des quartiers les plus favorisés (RR : 0.6)	Age, poids à la naissance, âge de la mère à la naissance, niveau d'éducation des parents à la naissance,
	Pauvreté, structure familiale, composition raciale	(Liu et Pearlman 2009) (188)	Admission hospitalière	2 919 Enfants 19 ans admis entre 2001-2005	Rhode Island [2001-2005]	Ecologique [Cox Proportionnel]	une seule association significative entre la composition raciale et le taux d'hospitalisation.	Facteurs individuels : Age, genre, type d'assurance, origine ethnique Facteur de confusion : saison,
Socio-économique	2 scores : - <b>Indice de défaveur</b> : éducation, occupation, chômage, situation familiale, logement [SES index] - <b>Revenu</b> : catégorisé en 4 classes [Income Area Index]	(Cesaroni et al. 2003) (190)	Prévalence d'asthme	4 027 enfants de 6-7ans	Rome (Italie), 1994-1995	Transversale [Régression Logistic]	La prévalence augmente lorsque les indicateurs socioéconomiques et revenu mesurés par <i>Census Tract</i> décroissent mais tendances non statistiquement significatives	Tabagisme des parents
	2 scores : - <b>Indice de défaveur</b> : éducation, occupation, chômage, situation familiale, logement [SES index] - <b>Revenu</b> : catégorisé en 4 classes [Income Area Index]	Cesaroni et al. 2003 (190)	Fréquence des difficultés respiratoires : - perturbation du sommeil - limiter la capacité de parole	4 027 enfants de 6-7ans	Rome (Italie), 1994-1995	Transversale [Régression logistic]	Prévalence d'asthme sévère augmente lorsque les indicateurs socioéconomiques et revenu mesurés par <i>Census Tract</i> décroissent, mais tendances non statistiquement significatives	Tabagisme des parents
	Indice de défaveur NZDep91	Salmond et al. 1999 (94)	Prévalence	25 042 sujets de 20-50 ans	Nouvelle Zélande 1991-1993	Transversale [Regression Logistic]	Prévalence d'asthme positivement associée au niveau de défaveur des zones de résidence	

Chapitre 2- Environnement de voisinage, asthme et infarctus du myocarde

	Score composite : Pauvreté, revenu, logement, chômage, occupation, ménage et situation maritale	Blanc et al. 2006 (185)	La sévérité de l'asthme est évaluée par un score qui prend en compte: - les symptômes - la prise de médicaments - utilisation de services de soins	404 sujets 18-50 ans	Californie du Nord 2002 à 2003	Cohorte [Régression Linéaire multiple]	Le facteur 1 (SSE faible du contexte) est significativement associé avec le score de sévérité d'asthme Cette association n'est plus significative après ajustement sur le SSE des individus	Caractéristiques individuelles : Niveau d'éducation Revenu annuel Statut professionnel Age, genre, tabagisme
	Score composite : Revenu, chômage, emploi, situation familiale, ménage, logement	Laurent et al. 2008 (186)	Appels aux services d'urgentistes pour crise d'asthme	4682 [tout âge]	France [2000-2005]	Ecologique [corrélation]	Diminution linéaire du taux d'appel avec le niveau de défaveur. La corrélation entre le niveau de défaveur et le taux d'appel est significative même après prise en compte de l'autocréation spatiale	Pas de facteur d'ajustement
	Indice de Townsend	Burr et al., 1997 (187)	Prévalence	Enfants entre 5-14 ans	Cardiff, UK	Transversale	Pas d'association entre la prévalence d'asthme et l'indice de défaveur de Townsend	Facteurs de risque : Tabagisme passif
	Indice de Townsend	Burr et al., 1997 (187)	Admission hospitalière	Enfants entre 5-14 ans	Cardiff, UK		Taux d'admission hospitalière est fortement corrélé avec l'indice de défaveur	Facteurs de risque : tabagisme
	Indice de Townsend	Burr et al., 1997 (187)	Utilisation d'inhalateur stéroïde	Enfants entre 5-14 ans	Cardiff, UK	Transversale	Association négative mais significative entre l'utilisation d'inhalateur et l'indice de défaveur	Facteurs de risque : Tabagisme passif
Psycho- sociale	Incident annuel pour 100.000 habitants : violence, crime, drogue	Gupta et al. 2010 (121)	Prévalence d'asthme	45 371 Enfants	Chicago [2003-2005]	Transversale [Multi niveaux]	La violence contribue significativement à expliquer la variation contextuelle de la variation de la prévalence d'asthme chez les enfants (15%, P<0.05)	Facteur d'ajustement : Composition raciale
Physique	Caractéristiques physiques : habitat - âge et état des logements (% logements délabrés et détériorés) - % des logements publics et subventionnés	Corburn et al., 2006 (192)	Taux d'hospitalisation (SIG)	Tous les enfants de 0-14 ans	New York 1997-2000	Ecologique [Approche spatiale]	Corrélation positive entre caractéristique physique des quartiers et le taux d'hospitalisation pour asthme chez les enfants.	
	Age du logement	Saha et al., 2005 (189)	Prévalence	2 544 enfants âgés entre 5 et 18 ans	Marion country, Indiana 2000	Cohorte [Régression logistique multiple]	Pas d'association entre asthme et caractéristique socio-économique du quartier.	Facteurs individuels : âge, race, sexe, BMI
	Densité d'arbres [Nombre d'arbres/KM2]	Lovasi et al., 2008 (134)	Prévalence  Hospitalisation [MRP]	Enfants (4-5 ans) Enfants âgés de moins de 15 ans	New York 1997 et 1999	Ecologique et transversale [modèle multi varié]	Association négativement entre densité d'arbres et prévalence d'asthme Même après ajustement. Association de même sens pour l'hospitalisation d'asthme, mais non significative après ajustement	Caractéristiques sociodémographiques : % de pauvreté, origine ethnique, densité de la population, proximité des sources de pollution
Plus qu'un environnement	Community Vitality Index avec 3 domaines : - capital social (cohésion sociale) - potentiel économique : -ressources communautaires composition raciale Statut socio-économique	Gupta et al. 2009 (191)	Prévalence	45 177 enfants	Chicago [2004]	Transversale [Multi niveau]	L'indice global de l'environnement (CVI) est significativement associé avec la prévalence d'asthme (OR : 0.93 : IC 0.87-0.99). La Communauté avec un faible taux d'asthme a un grand potentiel économique, avec le plus d'engagement civique, avec le plus de ressource et une grande stabilité	Facteur individuel : Age, genre antécédents familiaux, origine ethnique.
	Environnement socio-économique (SES (Revenu, éducation, chômage), Composition raciale de la communauté, densité de la population, coefficient GINI Environnement social scolaire : performance académique au niveau scolaire, classement selon fond reçu Améliorer la réussite scolaire des personnes défavorisées, composition raciale	Shankardas et al., 2010 (154)	Incidence d'asthme	2497 [5- 9 ans]	Southern California [2002-2003]	Cohorte [Multi niveaux]	Augmentation du risque d'asthme chez les sujets fréquentant des écoles recevant des fonds (pour Améliorer la réussite scolaire des personnes défavorisées) (HR 1.71 IC : 1.14-2.58) et résidents dans des communautés avec un taux de crime élevé (HR 2.02 IC : 1.08-3.02). Le niveau de défaveur socio-économique n'explique pas l'augmentation du risque d'asthme.	Facteurs individuels : Age, genre, origine ethnique Facteurs de risque : assurance, antécédent familiaux, stress familiale, tabagisme, IMC, caractéristiques du logement

Chapitre 2- *Environnement de voisinage, asthme et infarctus du myocarde*

- environnement psychosocial Taux de crime							
Environnement socio-économique → désavantage SE ( <i>pauvreté, chômage, aide sociale, composition raciale, ménage</i> ) et → Stabilité résidentielle Environnement sociale (psychosociale) : → Efficacité collective Environnement physique : → Désordre (graffiti, immeubles abandonnés...)	Cagney et al., 2004 (122)	Prévalence d'asthme	8 782 personnes de plus de 18 ans	Chicago 1995	Transversale [multi niveaux]	Effet protecteur significatif de l'efficacité collective contre l'asthme : une efficacité collective élevée dans un quartier est associée à une prévalence d'asthme faible. la stabilité résidentielle est positivement associée uniquement avec une efficacité collective. le niveau de défaveur socio-économique et le désordre physique de sont prédictif	Age, genre, statut marital, religion, éducation, index standard de vie, occupation, statut rural/urbain, Tabagisme Type de logement, BMI
Environnement socio-économique : → Composition raciale Environnement psychosociale : → Taux de crime	Rosenbaum 2008 (165)	Prévalence d'asthme	12 058 enfants	New York [2002]	[Multi niveaux]	Association non significative du taux de crime [OR =1.0004]	Facteur individuel : origine ethnique, caractéristique du ménage, Facteur de risque : caractéristique du logement, perception de la cohésion sociale

#### ***1.2.1.1.4. Discussion sur le schéma de définition et d'analyse de l'environnement de voisinage***

Cette revue de la littérature nous a permis de constater que plusieurs caractéristiques de l'environnement de vie peuvent influencer les différentes formes d'asthme. Mais force est de constater aussi, au-delà de la terminologie qui diffère d'un pays à un autre, et au sein même d'un pays, que les schémas de définition de l'environnement de voisinage sont différents. Ce constat est le même en terme de méthodologie.

Les paragraphes qui suivent résument les différents schémas suivis, ainsi que les approches méthodologiques utilisées pour explorer l'environnement de voisinage.

##### **a). Schéma de définition**

Les environnements décrits ci-dessus ont été, pour la grande majorité, analysés indépendamment les uns des autres. Seules 6 études ont considéré plusieurs dimensions contextuelles dans leur définition de l'environnement de voisinage. Quatre études ont intégré les différentes dimensions dans une même analyse, les deux autres ont certes analysé deux dimensions mais séparément. Un indice a même été récemment construit : « *Community Vitality Index* : CVI » (190), résumant 3 domaines : le capital social, le potentiel économique et les ressources communautaires.

Six études ont analysé la *privation* contextuelle en explorant le niveau de défaveur ou désavantage socio-économique. D'autres études n'ont pas explicitement utilisé le terme « *disadvantage* » ou « *deprivation* » ou « *area-level socio-economic status*, mais la seule dimension de l'environnement de voisinage qu'ils ont prise en compte pour définir ce dernier est le statut socio-économique contextuel. Une seule étude (121) ayant examiné exclusivement l'environnement psycho-social « *Community crime* » a été recensée. Trois études (134, 189, 192) ont considéré uniquement la dimension physique de l'environnement de voisinage, deux études (189, 192) ont porté sur l'environnement physique « bâti » et une étude (134) a analysé l'environnement physique extérieur.

Seules 4 études (122, 154, 165, 191) ont pris en compte plus d'une dimension pour caractériser l'environnement de voisinage.

Parmi ces études, celle de Gupta *et al.* 2009 (191), a démontré, via un indice contextuel, que la prévalence est plus faible dans un environnement caractérisé par une NSE élevée, un potentiel économique élevé, un engagement civique élevé, avec un grand nombre de ressources communautaires. Alors que celle de Shankardass *et al.*, 2010 (154) a montré que le risque d'asthme est plus élevé chez les enfants résidant dans des communautés avec un taux de criminalité élevé et fréquentant des établissements scolaires de type 1 (recevant des aides pour

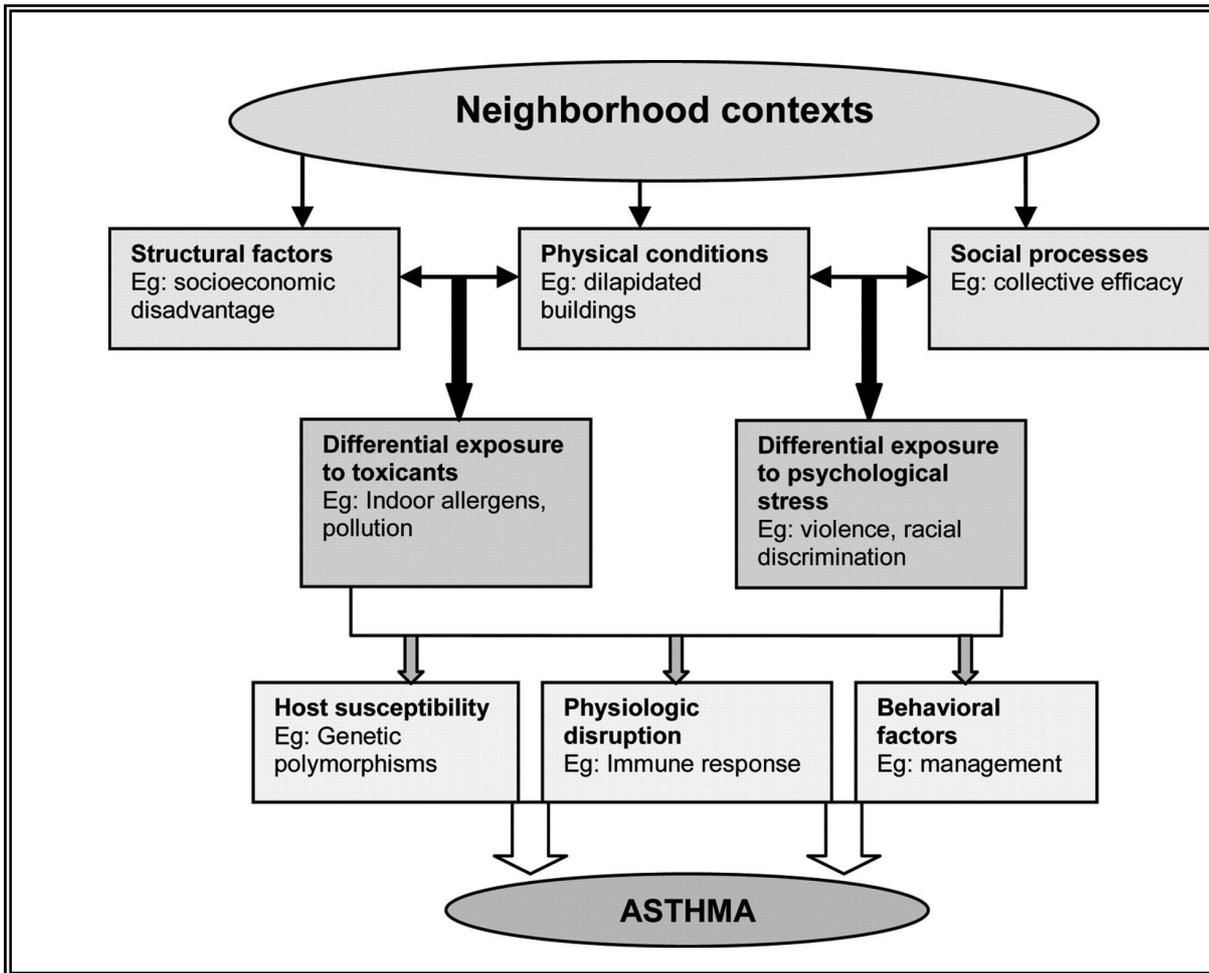
améliorer la réussite des personnes défavorisées), alors que le NSE n'explique pas l'augmentation du risque d'asthme.

Et enfin celle de Cagny *et al.*, (122) a décrit que l'instabilité résidentielle associée à la cohésion sociale est positivement associée à la prévalence d'asthme : ces mêmes auteurs rapportent que le niveau de défaveur socio-économique et la détérioration physique sont deux éléments prédictifs pour l'asthme.

Parmi les schémas de définition de l'environnement de voisinage (117, 194), Wright et Subramania en 2007 (195) proposent un schéma global de définition des caractéristiques de l'environnement de voisinage susceptible d'influencer la santé (Figure 2). Ils montrent, effectivement, qu'il existe plusieurs dimensions contextuelles et qu'elles ne sont pas indépendantes les unes des autres, et interagissent pour expliquer la survenue de diverses formes d'asthme. En effet, la littérature récente décrit une forte association entre les différentes dimensions contextuelles : les environnements de voisinage socio-économiquement défavorisés présentent un environnement psychosocial stressant caractérisé par une faible stabilité résidentielle, un fort taux de violence, et marqué par une détérioration physique décrite par la présence de graffiti des bâtiments délabrés et un manque d'infrastructure. Ainsi, ce cumul dit « dangereux » de dimensions peut constituer un mécanisme théorique solide pour expliquer certains processus biologiques à l'origine de la survenue de mauvais état de santé notamment l'asthme.

#### **b). *Approche d'analyse : Effet contextuel et/ou composition***

Toutes les études recensées ont utilisé des données contextuelles, mais si l'on examine l'approche analytique, les travaux n'ont pas tous adopté une analyse contextuelle. Seules 7 études ont analysé l'environnement de voisinage via des analyses multi-niveaux (99, 101, 121, 122, 154, 165, 191), et donc avec prise en compte du niveau individuel et contextuel ; huit études ont entrepris des analyses multi-variées (94, 113, 134, 185, 187-190). D'autres approches spatiales ont été réalisées dont une analyse à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) (192), et une autre avec la prise en compte de l'auto-corrélation spatiale (186). Néanmoins, si toutes les analyses multi-variées n'ont pas pris en compte l'effet individuel, certaines études ont pris en compte dans l'analyse des variables individuelles et des facteurs de risque. Les approches spatiales, basées sur des données écologiques, quant à elles, n'ont pas tenu compte de la dimension individuelle, mais ont l'intérêt de prendre de manière plus marquée la dimension spatiale, donnée non négligeable.



**Figure 2.** Dimensions contextuelles définissant l’environnement de voisinage susceptibles d’influencer la survenue d’asthme, d’après Wright et al., 2007 (195)

### **I.2.1.2. Environnement de voisinage et maladies cardiaques: analyse des inégalités contextuelles face aux maladies cardiaques**

#### **I.2.1.2.1. Critère de sélection**

Afin de dresser un état de l'art sur les relations entre l'environnement de voisinage et l'infarctus du myocarde et/ou maladies cardiaques coronaires, nous avons effectué une revue des études recensées dans la base de données *Medline*. Nous avons recensé les études traitant principalement de l'incidence, la prévalence ou l'hospitalisation, et pour lesquelles la notion d'environnement de voisinage était implicitement ou pas mentionnée, telles que : « *Neighbourhood* », « *area* », « *environment* », « *context* », « *urban* », « *community* », « *residence* » ou encore « *deprivation* », « *social* ».

Pour répondre aux deux objectifs de cette revue, nous nous sommes imposé deux restrictions :

- en terme d'événement sanitaire : nous avons exclu toutes les études qui ont exploré l'environnement de voisinage en rapport avec la mortalité (104, 196-201), toutes maladies cardiovasculaires confondues (202-204), ainsi que les formes sub-cliniques (205, 206) qui sont toutes largement détaillées dans une revue exhaustive consacrée au « *Geographic life environments and coronary heart disease* » (207).
- pour s'assurer de l'approche contextuelle des études retenues, nous avons exclu toutes les études qui ont examiné l'environnement de voisinage via des scores construits sur la base de questionnaires réalisés auprès des sujets pour caractériser la cohésion sociale (164, 208, 209), ou la perception de nuisance environnementale (184). Ces études ont le mérite d'enrichir notre réflexion sur les variables potentielles à prendre en compte pour définir un environnement de voisinage mais elles n'ont pas été retenues dans cette section pour mettre en évidence les inégalités contextuelles.

#### **I.2.1.2.2. Description des caractéristiques contextuelles de l'environnement de voisinage**

La stratégie de recherche nous a permis d'identifier 22 études consacrées à l'effet de l'environnement de voisinage sur l'infarctus du myocarde et/ou sur les maladies coronaires (Tableau 3).

**a). Localisation et terminologie.** Parmi les études recensées, nous avons identifié 2 études britanniques, 10 américaines (9 USA, 1Canada) et 13 études européennes (2 en France et 11 en Suède) (Tableau 3).

Pour étudier l'environnement de voisinage, la terminologie utilisée par les différentes études diffère. La plupart des études ont employé le terme de « *Neighbourhood* ». Certaines études ont,

quant à elles, préféré les termes « Area » et « context » (105, 210-213). Très peu ont utilisé « community » ou « urban » (155, 214).

**b). Caractérisation des dimensions de l'environnement de voisinage**

*b.1). Environnement socio-économique.* Le niveau socio-économique de l'environnement de voisinage a été évalué soit par des indices les plus employés dans la littérature comme Townsend (105), Carstairs (215, 216) et l'indice Care Need Index (CNI) (95) ou encore via des scores composites, calculés sur la base des données de recensement (110, 111, 217, 218). Certaines études ont utilisé des mesures proxy pour décrire l'environnement socio-économique, telles que le revenu (97, 98, 102, 213, 219), le niveau d'éducation (102, 212, 219), ou encore l'occupation (profession) (102).

*b.2). Environnement physique.* L'accessibilité aux ressources communautaires, telles que les équipements sportifs (220), les restaurants (220), les fast-food (220, 221), et les systèmes de soins (213, 220), ainsi que la typologie urbaine, qui ont été employés comme des déterminants de l'environnement physique extérieur.

*b.3). Environnement psychosocial.* L'environnement psychosocial a été évalué via l'indicateur de désorganisation sociale, analysé par soit un indice de Congdon (105), ou encore des mesures proxy, telles que la stabilité résidentielle (97) ou le taux de chômage (103). D'autres aspects de cet environnement ont été étudiés, à l'aide d'indices plus spécifique comme le « NPH : Neighborhood Hazards scale » mis en place par Augustin et al (222), alors que Sundquist et al (103) ont utilisé les taux de violence et de crime. Quant aux interactions sociales, elles ont été étudiées par 2 études, en évaluant l'effet du capital social au moyen de la participation électorale (164) comme une mesure proxy et d'un indice composite PSCI : « Petris Social Capital Index » (155) (Tableau 3).

**Tableau 3.** Les dimensions contextuelles et les maladies cardiaques

Domaine	Désignation	Mesure	Description	Auteurs et année	Lieu et période d'étude	Unité géographique
Environnement socio-économique	Socioeconomic characteristics of neighbourhood of residence	Indices	Score de Carstairs	Morris et al, 2007 (215)	Grande Bretagne 1992	Electoral wards <sup>4</sup>
	Life-course socioeconomic position Area deprivation			Lawlor et al, 2005 (216)	Grande-Bretagne ; [1999-2001]	Electoral wards
	Contextual effects of Material deprivation		Index de Townsend	Stjarne et al, 2004 (105)	Suède [1992-1994]	Small residential area
	Neighbourhood deprivation		Care Need Index CNI	Sundquist et al, 2004 (95)	Suède [1995-1999]	SAMS <sup>5</sup>
	Neighborhood of residence	Score composite	Revenu ; éducation ; occupation	Diez-Roux et al, 2001 (111)	4 communautés des US [1987-1989]	Census-Block groups <sup>6</sup>
	Neighborhood environnements			Diez-Roux et al, 1997 (110)	4 communautés des US [1987-1989]	Census Block group
	Neighborhood deprivation		Education ; Revenu, chômage ; les aides sociales	Winkleby et al, 2007 (217)	Suède 1996-2000 ; 2006	SAMS <sup>7</sup>
	Neighborhood deprivation		Revenu, éducation, ménage, logement	Deguen et al, 2010 (218)	France, 2003	IRIS
	Area socioeconomic position	Mesure proxy	% des chefs d'entreprise, niveau d'éducation	Silhol et al, 2011 (212)	France, 2000	Municipalité
	Neighborhood socioeconomic deprivation		Revenu moyen	Chaix et al, 2007 (97)	Suède ; [1996-2002]1996	NYKO parcels
	Neighborhood socioeconomic environment		Niveau d'éducation ; Revenu	Sundquist et al, 2004 (219)	Suède [1986-1993]	SAMS
	Socioeconomic context in area		Structure de la classe ; exclusion sociale ; pauvreté	Stjarne et al, 2002 (211)	Suède [1992-1994]	Metropolitain Parish
	Neighborhood disparities		Revenu Médian des ménages (nINC)	Rose et al, 2009 (98)	4 communautés US 1993-2002	Census Tract
	Less affluent area of residence		Revenu médian	Horne et al., 2004 (213)	Salt Lake City, United states ; [1993-2000]	Zip code area
	Neighborhood socioeconomic context		Revenu, occupation, logement, éducation	Lovasi et al, 2008 (102)	Washington state	4 zonages <sup>8</sup>

<sup>4</sup> Electoral wards : 2000 households

<sup>5</sup> SAMS : Small Area Market Statistics

<sup>6</sup> Census-Block groups 1000 habitants

<sup>7</sup> SAMS : Small Area Market Statistics : Moyenne 1000 à 2000 habitants

<sup>8</sup> 4 zonages : zone tampon 1Km, block group, census tract, ZIP code

Suite du tableau 3.

Domaine	Désignation	Mesure	Description	Auteurs	Lieu et période	Unité géographique
Désorganisation sociale	Contextual effects of Social fragmentation	Indice	Indice de Congdon : logements privés, stabilité résidentielle ; statut marital	Stjerne et al, 2004 (105)	Suède [1992-1994]	SAMS
	Residential instability	Mesure proxy	Stabilité résidentielle : pourcentage des individus qui résident toujours au même lieu depuis 5 ans	Chaix et al, 2007 (97)	Suède [1996-2002]	NYKO parcels <sup>9</sup>
	Neighborhood violent crime and unemployment		Taux de chômage, violence et crime	Sundquist et al., 2006 (103)	Suède [1998-1998]	SAMS <sup>10</sup>
Psycho-social	Neighbourhood psychosocial hazards	Indice	NPH : Neighbourhood Hazards scale : item : crime violent, signe d'incivilité, immeuble abandonné <sup>11</sup>	Augustin et al, 2008 (222)	Baltimore, US ; [2001-2002]	Meaningful neighborhoods defined by city planners
Capital social	Social capital	Mesure proxy	% d'individus qui votent aux élections	Sundquist et al, 2006 (156)	Suède, [1998-1999]	SAMS
	Community-level social capital		PSCI : Petris Social Capital Index : Nombre d'individus pour 1000 habitants qui travaillent dans le volontariat <sup>12</sup>	Scheffler et al, 2008 (155)	Californie USA ; [1998-2002]	Census blocks groups <sup>13</sup>
Physique	Health-promoting and health-damaging neighbourhood resources	Mesure proxy	1. présence ou absence d'au moins 1 ressource parmi 4 <sup>14</sup> . 2. présence ou absence de la ressource dans un rayon de 500m à 1000 m autour des individus	Kawakami et al, 2011 (220)	Suède, [20005-2007]	SAMS : Small Area Market Statistics
	Supply of fast food		Concentration des grandes chaînes de restauration (pour 100 000 habitants)	Alter et al, 2005 (221)	Ontario, Canada ; 2001	Forward Sortation Area (FSA) <sup>15</sup>
	Less-insured statut		Accès aux soins : type d'assurance (proxy d'accès aux soins)	Horne et al. 2004 (213)	Salt Lake City, United states ; [1993-2000]	Zip code area
	Urban sprawl	Indice	Index de l'étalement urbain : occupation du sol et réseau routier, densité résidentielle	Ewing et al, 2003 (214)	USA ; [1998-2000]	Censu Block

<sup>9</sup> NYKO parcels : Me 63 habitants entre 50-79 ans ; Me 1050 tout âge

<sup>10</sup> SAMS : Small Area Market Statistics

<sup>11</sup> (Ex : Nombre et localisation des crimes violents, de licence d'alcool, les appels aux urgences 911)

<sup>12</sup> Mesure du niveau des ressources organisationnelles au sein d'une communauté et n'est pas dérivé en agrégeant enquête individuelle réponses.

<sup>13</sup> Census blocks groups ; 1500 habitants

<sup>14</sup> 4 ressources : fast-food et restaurants, équipement sportifs, système de soins

<sup>15</sup> Forward Sortation Area (FSA) : 28,371habitants

***1.2.1.2.3. Constat des inégalités contextuelles face aux maladies cardiaques***

***a). Bilan des types d'études***

Excepté 3 études écologiques (98, 218, 221), et une étude à la fois individuelle et écologique (214), toutes les études recensées sont de type individuel. Les données sanitaires considérées dans ces 18 travaux individuels sont issues pour la grande majorité de cohortes (13 études), excepté 3 issues d'études transversales (214, 216, 222) et 3 de cas-témoins (102, 105, 211). Les données écologiques, quant à elles, sont issues des admissions hospitalières (98, 221) ou bien des données mentionnées dans le registre des cardiopathies (218) (Tableau 4).

***b). Principaux résultats***

**b.1). Effet de l'environnement socio-économique.** Quels que soient l'indice ou les scores composites employés pour décrire le niveau socio-économique résidentiel, toutes les études ont rapporté une association entre le niveau de défaveur et l'incidence d'IDM (105, 218), la prévalence de maladies coronaires (CHD) (110, 216) et l'incidence de maladies coronaires (95, 111, 215, 217). Toutes ces associations rapportées sont significatives même après ajustement sur les variables individuelles et le facteur de risque, excepté une (215). L'utilisation de mesures proxy, pour définir l'environnement socio-économique, a permis aussi de mettre en évidence des associations significatives entre le revenu et l'incidence des maladies coronaires (213, 219), et l'incidence d'IDM (102, 213) et l'hospitalisation pour IDM (98). Les résultats rapportés lors de l'utilisation du niveau d'éducation comme mesure proxy, restent contrastés ; deux études ont rapporté une association entre le niveau d'éducation et l'incidence de maladies coronaires (219) et d'IDM (102), alors qu'une autre étude n'a pas rapporté d'association (212).

**b.2). Effet de l'environnement psychosocial.** Les études ayant testé l'effet de l'environnement psychosocial lié au capital social ou la violence ou encore à la désorganisation sociale, rapportent une association entre l'incidence des maladies coronaires avec le capital social (156), le taux de chômage (103), et le taux de violence (103) ainsi qu'une association entre l'incidence d'IDM et la désorganisation sociale (105) et le taux de violence (222). L'incidence des maladies cardiaques ischémiques, quant à elles, semble présenter une faible association avec la stabilité résidentielle (97).

**b.3). Effet de l'environnement physique.** Toutes les mesures développées pour évaluer l'accessibilité aux ressources publiques, et caractériser la typologie urbaine, se sont révélées associées à l'incidence des maladies coronaires (213, 214, 220), l'hospitalisation pour maladies coronaires (221) ainsi que l'incidence d'IDM (213). Cependant, après ajustement, seule l'accessibilité aux systèmes de soins (213) et fast-food (221) semble significative.

**Tableau 4.** Inégalités contextuelles et incidence des maladies cardiaque

	Mesure	Auteurs et année	Événement	Lieu et période d'étude	Design d'étude [Méthodologie] Population	résultats	Ajustement/ stratification
Environnement socio-économique	Score de Carstairs	Morris et al, 2007 (215)	Incidence des maladies coronaires (CHD)	Grande Bretagne 1992	Cohorte prospective [multi niveaux] 5049 hommes [52-73 ans]	Rate Ratio = 1.55 (IC : 1.19-2.0) chez les hommes vivant dans les quartiers les plus défavorisés comparés aux quartiers les moins défavorisés. - Après ajustement le RR =1.22 (IC : 0.93-1.59).	<b>Facteurs individuels :</b> Classe sociale, occupation, Véhicule, logement Statut marital, possession de voiture, score du réseau social
	Index de Townsend	Stjarme et al. 2004 (105)	Incidence IDM	Stocholm (Suède) [1992-1994]	Etude cas-témoins [multi niveaux] 1643 non fatal [45-70 ans]	Augmentation de l'incidence des IDM au sein des contextes les plus défavorisés. Dans les zones les plus défavorisées : - femmes OR= 2.0 (IC : 1.3-3.1) - hommes RR =1.6 (IC : 1.2-2.1).	<b>Facteurs individuels :</b> Age, éducation, occupation, réseau social (contact, participation...) <b>Stratification de l'analyse :</b> Stratifié par genre <b>Facteurs de risque :</b> Tabagisme, BMI, hypertension
	Care Need Indice CNI	Sundquist et al. 2004 (95)	Incidence des maladies coronaires	Suède [1995-1999]	Cohorte [multi niveaux] 2.6 million [40-64]	Augmentation du taux d'incidence avec l'augmentation de la défaveur du contexte ; Après ajustement femmes : OR = 1.87 IC : 1.72-2.03 hommes : OR = 1.42 IC : 1.35-1.49	<b>Facteurs individuels :</b> Age et revenu individuel <b>Stratification de l'analyse :</b> Genre
	Score de défaveur	Diez-Roux et al, 2001 (111)	Incidence des Maladies Coronaire (CHD)	4 communautés des US [1987-1989]	Cohorte [régression] 15 792 ; [45-64 ans]	Après ajustement, un quartier défavorisé est associé à une incidence élevée.	<b>Facteurs individuels :</b> Education, occupation, revenu <b>Stratification de l'analyse :</b> Age, origine ethnique <b>Facteurs de risque :</b> HDL cholestérol, tabac, sport, pression sanguine, diabète, BMI, hypertension
	Index de défaveur	Winkleby et al. 2007 (217)	Incidence Des maladies coronaires (CHD)	Suède 2006	Cohorte [1996-2000] [multi niveaux] 1.9 million e femmes et 1.8 million de femmes [35-74 ans]	Association significative entre l'environnement socio-économique des quartiers et l'incidence des maladies cardiaques coronaires Femmes : OR=1.28 (IC : 1.24-1.33) Hommes : OR=1.21 (IC : 1.18-1.24) (Après ajustement)	<b>Facteurs individuels :</b> Age, statut marital, revenu annuel familial, éducation, statut d'immigration, <b>Facteurs de confusion :</b> Mobilité (stabilité résidentielle), statut urbain/rural
	Revenu moyen	Chaix et al, 2007 (97)	incidence des Maladies ischémiques	Suède 1996	Cohorte [1996-2002] [multi niveaux] 52 084 [50-64 ans]	Augmentation de l'incidence des maladies cardiaques ischémiques dans les quartiers les plus défavorisés. RR= 1.67 (IC : 1.39-2.03)	<b>Facteurs individuels :</b> Age, genre, statut marital, éducation, occupation revenu <b>Facteurs de confusions :</b> Densité de la population Distance entre résidence et hôpital <b>Facteurs de risque :</b> Diabète, hypertension, autres maladies cardiaques ou cérébro-vasculaire, cancer.

Suite du tableau 4

	Mesure	Auteurs et année	Événement	Lieu et période d'étude	Design d'étude [Méthodologie] Population	Résultats	Ajustement/ stratification
Environnement socio-économique	1- Niveau d'éducation 2- Revenu	Sundquist et al, 2004 (219)	Incidence Maladie coronaire	Suède [1986-1993]	Cohorte [Multi niveaux] 25 319 [35-74]	Risque de développer une maladie cardiaque est significativement plus élevé dans les zones de revenu très faible : RR = 1.25 IC : 1.02-1.54 De même pour les zones avec un niveau d'éducation faible : RR= 1.23 IC : 1.00-1.52	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, niveau d'éducation et le revenu individuel, <b>Facteurs de risque</b> : Tabagisme <b>Facteurs de confusion</b> : Mobilité (stabilité résidentielle)
	3 indices (AF): - indice de classe - indice social, exclusion - indice de pauvreté	Stjarne et al, 2002 (211)	Incidence d'IDM pour la première fois	Suède [1992-1994]	Cas- témoin [multi niveaux] 1631 cas [45-70 ans]	Homme : augmentation du risque uniquement avec l'indice de pauvreté. Femme : augmentation du risque avec la structure de la classe sociale.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, niveau éducation, statut professionnel, statut marital, pays de naissance <b>Stratification de l'analyse</b> : genre
	Revenu Médian des ménages	Rose et al, 2009 (98)	Incidence des Hospitalisations pour IM	4 communautés US 1993-2002	Ecologique [Régression logistique] 8 239 [35-74 ans]	Augmentation significative du risque IDM chez les individus vivant dans un environnement de faible revenu. Association forte chez les femmes noires	<b>Facteurs individuels</b> Age, genre,
	Revenu médian	Horne et al., 2004 (213)	Incidence IDM, CHD	Salt Lake City, Utah. US 1993-2003	Cohorte [Modèle de Cox] 3410 [19-97 ans]	Risque d'incidence plus élevé lorsque le statut économique résidentiel est faible (Q4) HR=1.4 1 IC : 1.15-1.72	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, <b>Facteurs de risque</b> : hypertension, diabète, antécédents familiaux, tabagisme, antécédents de maladie cardiaque et rénale, traitements médicamenteux
	2 mesures : - % des chefs d'entreprise, - Niveau d'éducation	Silhol et al, 2011 (212)	Incidence maladie coronarienne	France, 2000	Cohorte Gazel [multi niveaux] 1998 [35-50 ans]	Augmentation de l'incidence avec la diminution de la position socio-économique de l'environnement résidentiel chez les hommes. Pas d'association entre le niveau d'éducation et l'incidence des maladies coronaires.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, éducation, occupation, revenu, statut marital Facteurs de risque : tabagisme, IMC, diabète, hypertension, cholestérol
	Score composite	Deguen et al, 2010 (218)	Cas incident et récurrents d'IDM	France 2008	Ecologique [Modèle hiérarchique Bayésien] 1193 [35-74 ans]	Augmentation du risque d'IDM avec le niveau de défaveur socio-économique. Augmentation linéaire chez les hommes, mais non linéaire chez les femmes.	<b>Facteurs d'ajustement</b> : Age Analyse stratifiée sur le genre.
	4 variables proxy : - Niveau d'éducation - Revenu médian des foyers - Occupation - Valeur du logement	Diez-Roux et al, 1997 (110)	Prévalence des maladies coronaires cardiaques	4 communautés des US [1987-1989]	Cohorte [multi niveaux] 2 601 [45-64 ans]	Association entre environnement socioéconomique du quartier et augmentation de la prévalence des maladies coronaires (plus chez les femmes que chez les hommes)	<b>Facteurs individuels</b> : Age, classe sociale, revenu, occupation <b>Facteurs de risque</b> : cholestérol, tabac, pression sanguine, diabète, BMI, loisir, sport, traitement anti-hypertensif.
	Indice de défavorisation de Carstairs	Lawlor et al, 2005 (216)	Prévalence de maladies coronaires cardiaques	Grande-Bretagne [1999-2001]	Transversale [Multi niveaux] 4286 Femmes [60-79 ans]	Association entre la privation des quartiers et l'augmentation de la prévalence des maladies coronaires (OR =1.27, IC : 1.02-1.57)	<b>Facteurs individuel</b> s: Age, SSE individuel de l'adulte, NSE de l'enfant <b>Facteur de risque</b> : tabagisme, activité physique, BMI, triglycérides, pression sanguine, cholestérol, diabète.
	Revenu, occupation, logement, éducation	Lovasi et al, 2008 (102)	Incidence d'IDM	Washington state [1995-2001]	Cas-témoins [Régression logistique] 2360 [30-79 ans]	Association entre les mesures socio-économiques et l'incidence d'IDM.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, statut socio-économique (revenu, éducation, emploi, statut marital, origine ethnique) <b>Facteurs de risque</b> : hypertension

Suite du tableau 4

Domaine	Mesure	Description	Auteurs et année	Événement	Lieu et période d'étude	Design d'étude [Méthodologie] Population	Résultats	Ajustement/ stratification
Environnement psychosocial	Violence	Taux de violence et de crime	Sundquist et al, 2005 (103)	Incidence des maladies coronaires	Stockholm 1998	Cohorte [Multi niveaux] 336 295 hommes et 334 057 femmes [35-64 ans]	Le risque de maladie coronaire augmente avec l'augmentation du taux de criminalité.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, revenu, statut marital, emploi
	Violence	- Crime violent - Signe d'incivilité - Immeuble abandonné	Augustin et al, 2008 (222)	Infarctus du myocarde rapporté « self – reported »	Baltimore 2001-2002	Transversale [Multi niveaux] 1140 adultes [50-70 ans]	Les résidents des quartiers à haut danger psychosocial ont 4 fois plus de risque d'avoir un IM, 3 fois plus de risque attaque ischémique que les résidents des quartiers à faible danger.	Facteurs de risque individuel de maladie cardiovasculaire
	Capital social	% d'individus qui votent aux élections	Sundquist et al, 2006 (156)	Incidence de Maladie coronaire	Suède [1998-1999]	Cohorte [multi-niveaux] 2,8 millions d'adultes [45-74 ans]	Un risque de maladie coronaire est élevé dans les quartiers de faible lien de capital social OR = 1,19 (IC : 1,14-1,24) chez les hommes, et OR= 1,29 (IC : 1,21-1,38) chez les femmes.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, lieu de naissance, éducation, statut marital, habitation (propriétaire ou locataire)
		Nombre d'individu pour 1000 habitants qui travaillent dans le volontariat <sup>16</sup>	Scheffler et al, 2008 (155)	Cas récurrent de maladie coronaire aigue	California USA [1998-2002]	Cohorte [multi niveaux] 34 752 [30-85 ans]	L'augmentation du capital social est associée à une diminution récidive des syndromes coronaires aigus uniquement chez les individus vivant dans des zones (block-groups) de niveau de revenu faible (après ajustement sur les variables).	<b>Facteurs individuels</b> : Age, genre, origine ethnique <b>Facteurs de risque</b> : Antécédent de maladies cardio-vasculaire, hypertension, diabète, dépression, stroke, traitements médicamenteux <b>Facteurs de confusion</b> : Revenu médian des ménages, Indice GINI, Composition raciale
	Désorganisation sociale	Stabilité résidentielle	Chaix et al, 2007 (97)	Incidence des maladies ischémiques	Suède [1996-2002]	Cohorte [multi niveaux] 52 084 [50-64 ans]	Faible association entre l'incidence des maladies cardiaques ischémiques et l'instabilité résidentielle (HR=1.2 IC : 1.0-1.4).	<b>Facteurs individuel</b> : Age, genre, statut marital, éducation, occupation revenu <b>Facteurs de confusion</b> : Densité de la population Distance entre résidence et hôpital <b>Facteurs de risque</b> : diabète, hypertension, autres maladies cardiaques ou cérébro-vasculaires, cancer.
		Indice de Congdon	Stjerne et al, 2004 (105)	Incidence IDM	Suède [1992-1994]	Cas-témoins [multi niveaux] 1546 cas [45-70 ans]	Le réseau social réduit le risque de 40% l'incidence d'IDM.	<b>Facteurs individuels</b> : Age, éducation, <b>Stratification de l'analyse</b> : genre. <b>Facteurs de risque</b> : Tabagisme, BMI, hypertension
		Taux de chômage	Sundquist et al., 2006 (103)	Incidence des maladies coronaires	Stockholm (Suède) 1998	Cohorte [multi niveaux] 336 295 hommes et 334 057 femmes ; [35-64 ans]	L'augmentation du taux de chômage augmente le risque des maladies cardio-vasculaires (OR=2.05 IC : 1.62-2.59) femmes et OR=1.5 IC : 1.28-1.75)	<b>Facteurs individuels</b> : Age, revenu, statut marital, emploi

<sup>16</sup> Mesure du niveau des ressources organisationnelles au sein d'une communauté et n'est pas dérivé en agréant enquête individuelle réponses.

Suite du tableau 4

Domaine	Mesure	Description	Auteurs et année	événements	Lieu et période d'étude	Design d'étude [Méthodologie] Population	Résultats	Ajustement/ stratification
Environnement physique	Ressources communautaires	<p><b>2 mesures</b></p> <p>1. présence ou absence d'au moins 1 ressource parmi les 4<sup>17</sup> dans l'unité SAMS</p> <p>2. présence ou absence de la ressource dans un rayon de 500m à 1000 m autour des individus</p>	Kawakami et al, 2011 (220)	Incidence des maladies cardiaques Coronaires	Suède, [20005-2007]	Cohorte [multi niveaux] 2165000 [35-80 ans]	Aucune association significative quelle que soit la mesure, après ajustement sur les variables individuelles et le NSE du contexte de vie	<i>Facteurs individuels</i> : Age et revenu individuel et NSE de l'environnement résidentiel
		Concentration des grandes chaînes de restauration (pour 100 000 habitants)	Alter et al, 2005 (221)	Hospitalisation pour syndrome coronarien	Ontario, Canada 2001	Etude écologique (régression)	Le risque d'hospitalisation pour maladie coronaire est plus élevé dans les régions avec une forte concentration des grandes chaînes de restauration : OR=2.62 ; IC : 1.42-3.59 après ajustement	<i>Facteurs individuels</i> : Age, sexe, statut socio-économique (Revenu médian des ménages)
		Accès aux soins : type d'assurance (proxy d'accès aux soins)	Horne et al, 2004 (213)	Incidence IDM, CHD	Salt Lake City, United states ; 1993-2000	Cohorte [Modèle de Cox] 3410 [19-97 ans]	Le risque d'incidence plus élevé chez les sujets sans assurance médicale comparés à ceux avec une assurance privée.	<i>Facteurs individuels</i> : Age, genre, <i>Facteurs de risque</i> : hypertension, diabète, antécédents familiaux, tabagisme, antécédents de maladie cardiaque et rénale. traitements médicamenteux
	Typologie urbaine	Index de l'étalement urbain : occupation du sol et réseau routier, densité résidentielle	Ewing et al, 2003 (214)	Maladie coronaire ( <i>self reported</i> »)	USA ; 1998-2000	transversale et écologique [multi niveaux] 206.992	Association faible et non significative (OR=0.994 ; IC : 0.99-1)	<i>Facteurs individuels</i> : Age, origine ethnique, éducation, <i>Facteurs de risque</i> : Tabagisme, alimentation

<sup>17</sup> 4 ressources : fast-food et restaurants, équipement sportifs, système de soins

***1.2.1.2.4. Discussion sur le schéma d'analyse de l'environnement de voisinage***

***a). Schéma de définition de l'environnement de voisinage***

La plupart des études ont adopté une même définition de l'environnement de voisinage, centrée autour d'une seule dimension, celle de l'environnement socio-économique. En grande majorité, ses travaux ont examiné principalement le le niveau de défaveur (95, 105, 217, 218) et le statut socio-économique (97, 102, 211-213, 215, 216). Le reste des études, n'a pas explicitement employé le terme « socio-économique », et la seule dimension examinée est le désavantage matériel (98, 110, 111).

Les autres dimensions de l'environnement de voisinage ont été examinées : *i*) l'environnement psychosocial ont été explorées par 6 études (97, 103, 105, 155, 156, 222) en examinant la structure sociale (97, 103, 105), et le capital social (155, 156), *ii*) ainsi que l'environnement physique (213, 214, 220, 221) en étudiant les ressources communautaires (213, 220, 221) et la typologie urbaine (214).

A notre connaissance, aucune étude n'a employé plus d'une dimension pour définir le niveau de défaveur l'environnement de voisinage dans le but d'étudier l'inégalité contextuelle face à l'infarctus du myocarde ou les maladies coronaires. Néanmoins, quelques rares études ont le mérite d'avoir pris en compte dans leur analyse simultanément plusieurs dimensions. Ainsi, Scheffler *et al.* (155) ont montré que l'augmentation du capital social est associée à une diminution de récurrence des syndromes coronaires aigus uniquement chez les individus vivant dans des zones (block-groups) de revenu socio-économique faible (même après ajustement sur les données individuelles, y compris le statut socio-économique). Alors que Kawakami *et al.* (220) ont rapporté que la faible association entre des mesures d'accessibilité au commerce, aux équipements sportifs, et au système de soins, n'est plus significative lorsqu'on prend en compte le niveau de défaveur de l'environnement de voisinage et celui des individus.

Aujourd'hui, divers schémas de définition de l'environnement de voisinage ont été proposés pour expliquer les inégalités contextuelles face aux maladies cardiovasculaires. Le modèle de Diez-Roux (170), explorant deux dimensions physique et socio-économique, a longtemps été utilisé pour analyser l'environnement de voisinage par divers auteurs.

Très récemment, un nouveau schéma plus complexe a été élaboré pour décrire les différents mécanismes théoriques des caractéristiques géographiques d'un environnement de voisinage susceptible d'influencer la survenue des pathologies cardio-vasculaires (207) (Figure 3).

Ce modèle théorique montre la complexité de la définition de l'environnement de voisinage à différents échelons (macro et méso environnement), et distingue des caractéristiques résidentielles locales et non résidentielles qui contribuent directement et indirectement à la survenue de certains événements cardio-vasculaires et des comportements à risque.

**b). Approche d'analyse : effet contextuel/ composition**

Même si nous avons sélectionné uniquement les études qui ont analysé le contexte de voisinage, via des données exclusivement contextuelles, l'approche entreprise n'est, néanmoins, toujours pas contextuelle.

La grande majorité des études a employé une approche multi-niveaux pour étudier l'environnement de voisinage. Seules 6 études ont analysé l'environnement de voisinage, via des analyses multi-variées, dont 4 (102, 111, 213, 221) ont pris en compte les données individuelles, y compris les données socio-économiques et les facteurs de risques, tandis que les 2 autres (98, 218) n'ont pris en compte que les caractéristiques individuelles.

Néanmoins, même si toutes les analyses multi-variées n'ont pas pris en compte l'effet individuel, certaines études ont pris en considération dans l'analyse des variables individuelles et des facteurs de risque. Les approches spatiales, basées sur des données écologiques, quant à elles, n'ont pas tenu compte de la dimension individuelle, mais elles ont l'intérêt d'avoir pris en considération la dimension spatiale, donnée non négligeable.

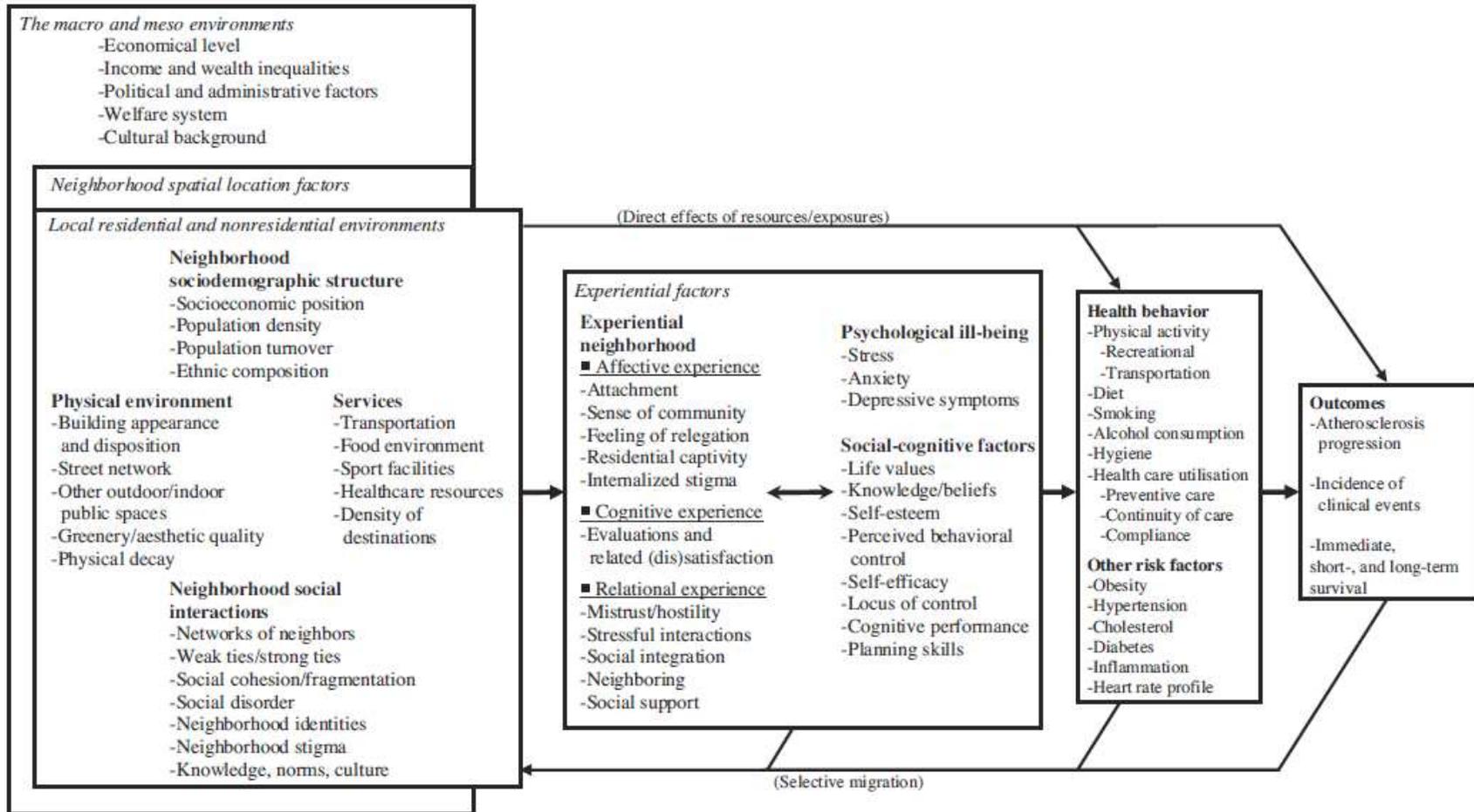


Figure 3. Dimensions contextuelles définissant l’environnement de voisinage susceptibles d’influencer l’état de santé, d’après Chaix, 2009 (207)

## **I.2.2. Définition spatiale de l'environnement de voisinage**

L'état de l'art réalisé en début de ce chapitre autour de l'analyse de l'influence de l'environnement de voisinage révèle un constat unanime : les unités géographiques utilisées pour étudier l'environnement de voisinage sont essentielles à la compréhension du phénomène.

Les unités spatiales géographiques qui définissent les zones d'études analysées pour examiner les inégalités contextuelles sont principalement définies par des limites administratives.

Ce constat est le même lorsque les auteurs s'intéressent à la survenue d'asthme ou des pathologies cardiaques, comme nous le décrivons brièvement ci-dessous.

### **I.2.2.1. Unité d'étude et les études environnementales et épidémiologiques**

#### ***I.2.2.1.1. Unité d'étude et l'asthme***

Le tableau 1, présenté au début de ce chapitre, décrit les différentes unités spatiales employées pour mettre en évidence les inégalités contextuelles face à l'asthme. Toutes ces unités géographiques utilisées pour définir les limites spatiales de l'environnement de voisinage, selon différentes variables, sont des unités de recensement ou administratives prédéfinies telle que les « *Zip code* » (113), les « *Cardiff Electoral Wards* » (187), les « *Police Beats* » (121), les « *census tract* » (99,122,154,188-190), les « *IRIS*<sup>18</sup> » (186), « *subarea*<sup>19</sup> » (165), les « *census block groups* » (101,185,189) ou encore le zonage d'autres regroupements de *census tract* (94,191).

#### ***I.2.2.1.2. Unité d'étude et pathologies cardiaques***

A l'exception de 2 études conduites à l'échelle communale (212) et régionale (221), toutes les études ont été conduites à une échelle infra-communale.

Les unités spatiales sont pour la grande majorité des unités géographiques très fines, constituées principalement d'unités de recensement telles que : les « *census tract* » (98), les « *Electoral wards* » (215, 216), les « *SAMS : Small Area Market Statistics* » en Suède (95, 103, 156, 217, 219, 220), les « *zip code area* » (213) et les « *Census Block group* » (110, 111, 155, 214), « *IRIS* » (218).

### **I.2.2.2. Unité d'étude et l'environnement de voisinage**

Pour caractériser l'environnement de voisinage, les sources de données ne sont pas très nombreuses. Les données du recensement sont quasiment les seules à être utilisées, quelle que soit

---

<sup>18</sup> Ilots regroupés pour l'Information Statistique

<sup>19</sup> Agrégation de plusieurs census tract

la localisation des études, à l'exception de quelques données locales utilisées pour étudier la violence (103, 222), la typologie urbaine (214), le capital social (155, 156) ou encore les ressources communautaires (220, 221).

Ceci peut expliquer les choix unanimes des unités spatiales d'analyse définies comme « *Neighborhood ou area ou environnement of residence* » par tous les auteurs quels que soient les événements de santé analysés (asthme et pathologies cardiaques).

Ce constat est aussi valable dans quasiment toutes les études du champ de l'épidémiologie. Pour des raisons pratiques et de disponibilité des données, les études environnementales utilisent, pour la plupart, les zones géographiques pré-définies, associées aux aires géographiques déjà disponibles, en particulier celles définies par les statisticiens des instituts en charge des recensements de populations, telles que les « census tract » aux Etats-Unis, (193, 223) ; « US Postal Service ZIP code » (224, 225), le « ward » (Angleterre et Pays de Galles) (226, 227), le « census meshblock » en Nouvelle-Zélande (94, 228), ou encore les zones postales (229) ou le « SAMS » (Small area market statistics) en Suède (230). En France, l'échelle de travail est l'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) (96).

Les zones utilisées sont différentes en terme de caractéristiques de population ou de surface en fonction des pays, et au sein même d'un pays, d'une région à une autre (102).

L'échelle la plus souvent employée est celle du « *census tract* » qui compte en moyenne entre 2000 à 8 000 résidents. Quant aux échelles infra urbaines comme le block group et « *metropolitan statistical area* », elles correspondent respectivement à 1 000 résidents et 50 000 personnes

Au Canada, les unités géographiques sont connues comme étant des secteurs de dénombrement ; les plus fines comptent environ 750 personnes (231).

En Angleterre, les unités spatiales les plus utilisées varient, en termes de taille de population, entre 5 000 personnes (« *ward* ») (232) et 500 personnes (« *l'énumération district* ») (233). Aux Pays-Bas, les unités géographiques employées « *l'électoral ward* » comptent environ 9 000 personnes (234).

Nous pouvons constater que chaque pays se distingue par son propre découpage. Néanmoins, tous ces zonages sont le produit d'une problématique principale (économique et politique, par exemple, pour les découpages basés sur des données de recensement de population), au détriment des composantes spatiales et sociales d'une réalité plus difficile à identifier. La problématique de l'environnement de voisinage ne peut ainsi être contenue dans des délimitations territoriales contraintes et réductrices.

Pourtant, ces unités spatiales, appelées selon les auteurs *community* (175) ou *place* (88) ou encore *environnement de résidence* (170), ont été largement employées pour étudier les différents éléments contextuels. Ces travaux posent la question d'une influence des caractéristiques locales sur les variations de santé (88, 235) et tentent de comprendre comment l'environnement de voisinage peut, au travers des comportements individuels ou des manifestations biologiques, influencer la santé des individus.

Cependant, ces études ont rarement discuté la question de la délimitation et de la définition d'un environnement de voisinage, à quelques exceptions près (102). Or la délimitation de l'aire à étudier, qu'il s'agisse de contour ou d'échelle, influe sur les résultats. Ce phénomène (problème) est un exemple du MAUP (Modifiable Areal Unit Problem) (236).

Dans la suite de ce chapitre, nous présenterons une description du MAUP, son importance dans les études environnementale et les différentes approches proposées aujourd'hui pour définir spatialement un environnement de voisinage pour prendre en compte ce phénomène spatial.

### **I.2.2.3. MAUP « *Modifiable Areal Unit Problem* » : phénomène ou problème spatial ?**

Aujourd'hui, on sait pertinemment que les zones d'étude, à la fois leur forme et leur taille, influencent les résultats (236) des analyses qui y sont conduites. Ceci est un exemple du problème du MAUP décrit par les géographes (236, 237).

Des travaux ont montré que l'emploi d'un découpage tel que « *l'enumeration district* » plutôt que le « *ward* » réduit les erreurs de classification des individus et aboutit à de meilleures corrélations entre inégalités sociales et santé (238).

Des résultats similaires sont révélés par Payne et al, 1993, quand ils évaluent les inégalités de santé en fonction des classes de l'indice de désavantage, à différentes unités spatiales des « *neighborhood* » qui comptent environ 7800 personnes, des « *postcode sectors* » avec environ 9 500 personnes et des « *boroughs* » représentant environ 32 000 personnes (239).

Le MAUP désigne, ainsi, la sensibilité des résultats aux découpages spatiaux utilisés ; autrement dit, des résultats différents peuvent résulter d'un jeu de données unique. Ce phénomène est souvent décrit par deux aspects : effet d'échelle et effet d'agrégation (ou encore appelé zonage).

Selon l'effet d'échelle, il peut y avoir d'importantes différences d'analyse en fonction de la taille des unités utilisées. L'effet zonage, appelé parfois l'effet d'agrégation (237), montre qu'il peut y avoir de grandes différences selon la façon dont la zone d'étude est divisée.

Openshaw et Taylor (1979) ont étudié les effets zonage à différentes échelles et ont démontré, avec exactement les mêmes données, que le coefficient de corrélation pouvait varier dans la gamme de -0,99 à + 0,99 selon la façon dont les unités spatiales statistiques ont été agrégées.

#### ***1.2.2.3.1. Importance du phénomène MAUP***

Ce phénomène couramment pris en compte dans le domaine de la géographie (237, 240), l'est rarement en épidémiologie ayant une composante spatiale, en particulier lorsque qu'une exposition est estimée sur une base écologique. De surcroît, le MAUP affecte les descripteurs statistiques, comme la variance, ou les coefficients de corrélation ou de régression (241).

Bien que de nombreux chercheurs reconnaissent l'importance du design adéquat dans diverses études, la conception de zones n'a pas été suffisamment prise en compte dans les études épidémiologiques ou de santé publique (63). En termes de choix d'un système de zone dans le cadre d'études de santé publique et d'environnement, Briggs et al. (2007) ont donné quatre objectifs (63) :

(i). produire une base uniforme pour la cartographie, aider la représentation visuelle et l'interprétation des données, et ce, aussi, pour faciliter l'analyse des modèles spatiaux;

(ii). avoir un zonage qui soit suffisamment fin pour refléter les variations locales, en termes d'expositions et de taux de maladies, en particulier dans les zones urbaines où de tels gradients peuvent être faussés ;

(iii). compter une population suffisante et cohérente dans toutes les zones, afin d'éviter une estimation fortement instable du risque de la survenue d'un événement de santé et de grandes variations dans l'incertitude entre les zones (qui seraient dues à une population faible dans certaines zones) ;

(iv). minimiser le besoin de transformation spatiale des données entre les différentes unités spatiales, puisque cela implique inmanquablement un certain degré d'approximation qui serait donc une source supplémentaire d'erreur.

***I.2.2.3.2. Approches du design de l'environnement de voisinage***

La majorité des études environnementales (épidémiologique et de santé publique) ne prennent pas en compte le MAUP et, par conséquent, ignorent ce phénomène spatial.

En raison de la complexité des effets de zonage et d'échelle du MAUP, Palladini (2004) (242) soutient qu'il n'y a pas de solution universelle. Cependant, selon Openshaw, la solution à ce problème est de maîtriser la conception de la zone d'étude (237, 243). Dans ce sens, de nombreux outils et processus ont été développés pour permettre cette étape de conception de zones d'étude adéquates (243-245). Ainsi, ces développements ont permis d'explorer les modalités de conception ainsi que les impacts sur l'effet de l'environnement de voisinage sur la santé (241, 243, 246-248). Le paragraphe ci-dessous liste brièvement ces quelques rares études.

Afin de comparer l'effet du découpage des quartiers à Bristol, au Royaume-Uni, Haynes et al. (247) ont utilisé des découpages pré-définis « *local planners' pre-defined communities* » et des nouvelles zones agrégées créées par conception de zone automatique « *automated zone design* » (en utilisant le logiciel A2Z, (247)). Ils considèrent que les zonages prédéfinis par les experts ne sont pas plus réels pour ses résidents que les zonages créés à l'aide de l'automate conçu à cet effet.

D'autre part, Flowerdew *et al.* (241) ont exploré les MAUP dans Northamptonshire et Swindon, en Angleterre, en utilisant des données de population et des données sur LLTI (Limiting Long Term Illness) et des facteurs socio-démographiques en utilisant AZTool comme programme de conception de zonage. Les résultats ont montré que les zones (appelées *pseudo-wards*), créées par AZTool, fournissent une meilleure définition de l'environnement de voisinage « *neighborhood* » que les zonages de recensement (*Wards*).

Stafford et al (246) ont utilisé des méthodes de conception de zones (ZDE 3b) dans les arrondissements de Londres Camden et Islington afin d'explorer l'effet des caractéristiques socio-économiques de l'environnement de voisinage sur la santé (l'indice de masse corporelle, la consommation d'alcool, l'exercice physique, le tabagisme et la santé perçue). Cette étude visait à démontrer que les estimations des inégalités spatiales de santé sont déterminées par la façon dont ces limites sont définies.

Ainsi, les développements méthodologiques en SIG et d'analyse spatiale, permettent, aujourd'hui, de prendre en compte la définition spatiale (échelle et forme) de l'environnement de voisinage. Une variété d'outils permettent de plus en plus d'automatiser le design des zones d'étude : SAGE (249), AZP (244), ZDES, A2Z (245) et AZM (244).

## CONCLUSION

L'état de l'art réalisé dans cette partie a permis de constater l'existence de nombreuses variantes du concept d'inégalités contextuelles, quelle que soit la terminologie utilisée, la définition ou l'approche d'analyse de l'environnement de voisinage.

Cette partie nous a conduite à deux constats majeurs :

- d'une part, qu'il n'existe pas une définition universelle ou un consensus sur une définition unique de l'environnement de vie ou de résidence ou de voisinage, appelé dans littérature anglo-saxonne « Neighborhood ».
- d'autre part, que la définition d'un tel concept est complexe et fait, ainsi, appel à différentes disciplines.

Ces difficultés, dans l'élaboration et la définition de l'environnement de voisinage, expliqueraient probablement le manque d'investigation de la dimension contextuelle du « *Neighborhood* » que nous désignerons dans la suite de notre travail par la notion « d'**environnement de voisinage** ».

A notre connaissance, très peu d'études ont exploré une telle approche. Les seules études que nous avons identifiées font toujours appel à un modèle *uni-dimensionnel* : « défaveur socio-économique et exposition environnementale » (168, 250). La majorité des études est consacrée à la mortalité (251). Très récemment, certains travaux se sont intéressés à l'effet synergique de la pollution liée au trafic et la violence urbaine sur la survenue d'asthme (252) ou encore l'association entre la pollution, le niveau de défaveur socio-économique et la qualité de l'environnement de voisinage (caractérisée par la cohésion sociale, la stabilité résidentielle (253)).

A notre connaissance, aucune approche, examinant un modèle *multi-dimensionnel* de définition de l'environnement de voisinage, n'a encore été explorée en France.

## **Structure du travail de la thèse**

Pour obtenir des résultats pertinents, ce travail multidisciplinaire a nécessité d'aborder et d'utiliser des outils d'analyse empruntés à la géographie, à la statistique, à l'épidémiologie et à la sociologie.

Nous avons, ainsi, consacré une partie de notre travail à définir un environnement de voisinage. Dans cette optique, un chapitre est consacré au recensement des données contextuelles (chapitre 1), puis à leur traitement spatial et statistique (chapitre 2 et 3) et enfin à la conception finale d'un nouveau zonage (chapitre 4) qui sera adapté pour tester l'influence de l'environnement de voisinage sur les effets de la pollution atmosphérique, objet de la troisième et dernière partie.

Le schéma décrit dans la Figure 4 illustre la structure de la thèse présentée dans ce manuscrit en résumant le cadre conceptuel, la problématique ainsi que la démarche entreprise pour répondre à notre hypothèse.

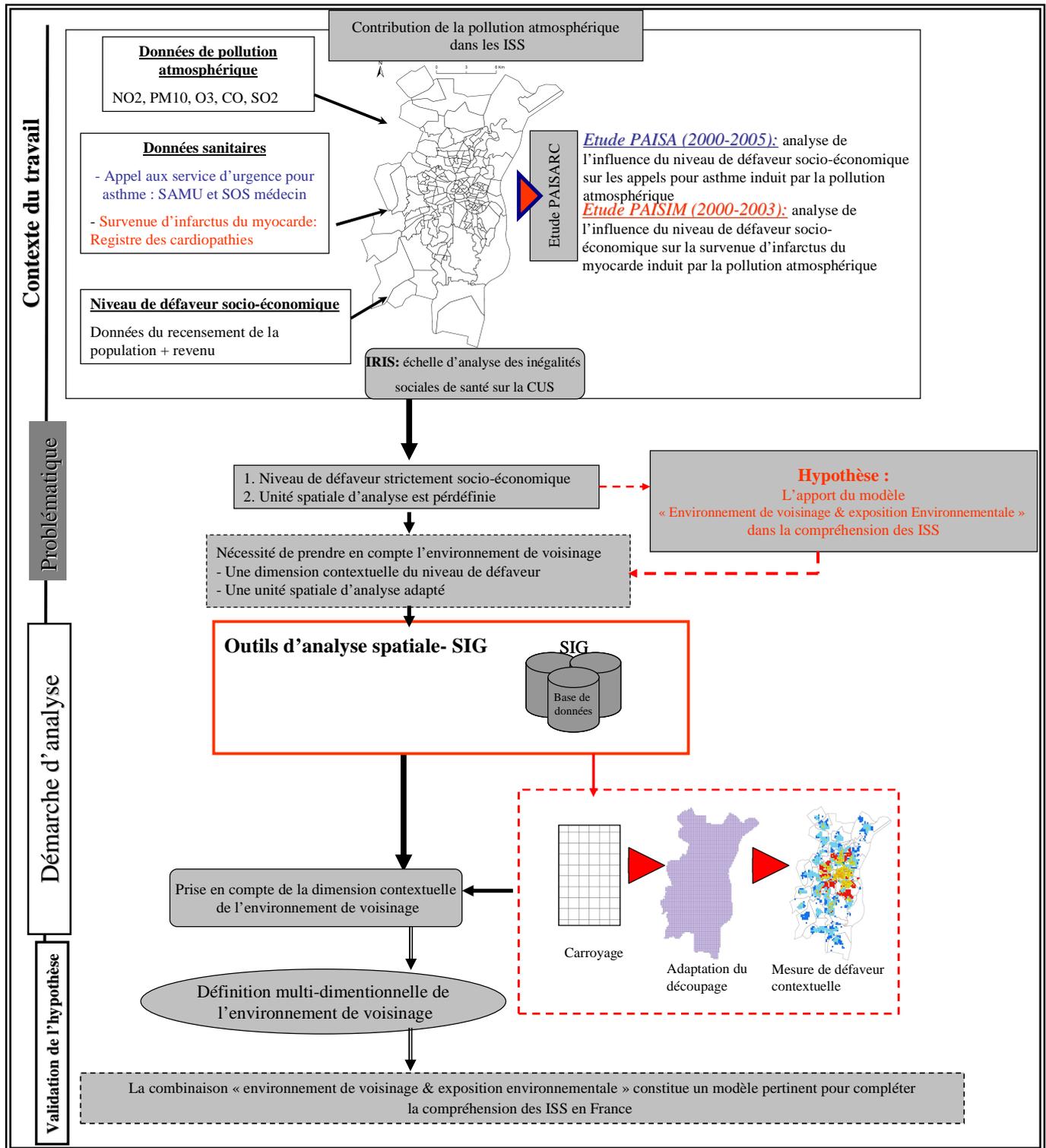


Figure 4. Cadre conceptuel général de la problématique de thèse

## REFERENCES

---

- (1). Moquet MJ. Inégalités sociales de santé: des déterminants multiples. *La santé de l'homme*. 2008;(397):17-19.
- (2). Avendano M, Kunst AE, Huisman M, Lenthe FV, Bopp M, Regidor E, et al. Socioeconomic status and ischaemic heart disease mortality in 10 western European populations during the 1990s. *Heart* 2006;92(4):461–7.
- (3). Mackenbach JP, Stirbu I, Roskam A-JR, Schaap MM, Menvielle G, Leinsalu M, et al. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. *N Engl J Med* 2008;358(23):2468–81.
- (4). Menvielle G, Stirbu I, Roskam A-J, Schaap MM, Leinsalu M, Kunst AE, et al. Socioeconomic inequalities in mortality in Europe. *Soc Sci Med* 2009;25(2):192–6.
- (5). Van der Heyden JHA, Schaap MM, Kunst AE, Esnaola S, Borrell C, Cox B, et al. Socioeconomic inequalities in lung cancer mortality in 16 European populations. *Lung Cancer* 2009;63(3):322–30.
- (6). Grimaud O, Béjot Y, Heritage Z, Vallée J, Durier J, Cadot E, et al. Incidence of stroke and socioeconomic neighborhood characteristics: an ecological analysis of Dijon stroke registry. *Stroke* 2011;42(5):1201–6.
- (7). Spadea T, D'Errico A, Demaria M, Faggiano F, Pasian S, Zanetti R, et al. Educational inequalities in cancer incidence in Turin, Italy. *Eur J Cancer Prev* 2009;18(3):169–78.
- (8). Huisman M, Kunst A, Deeg D, Grigoletto F, Nusselder W, Mackenbach J. Educational inequalities in the prevalence and incidence of disability in Italy and the Netherlands were observed. *J Clin Epidemiol* 2005;58(10):1058–65.
- (9). Menvielle G, Kunst A. Social inequalities in cancer incidence and cancer survival: Lessons from Danish studies. *Eur J Cancer*. 2008 sept;44(14):1933–7.
- (10). Farfel A, Tirosh A, Derazne E, Garty BZ, Afek A. Association between socioeconomic status and the prevalence of asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2010;104(6):490–5.
- (11). Chittleborough CR, Taylor AW, Dal Grande E, Gill TK, Grant JF, Adams RJ, et al. Gender differences in asthma prevalence: variations with socioeconomic disadvantage. *Respirology* 2010;15(1):107–14.
- (12). Wu YW, Xing G, Fuentes-Afflick E, Danielson B, Smith LH, Gilbert WM. Racial, ethnic, and socioeconomic disparities in the prevalence of cerebral palsy. *Pediatrics* 2011;127(3):e674–81.
- (13). Dalstra JAA, Kunst AE, Borrell C, Breeze E, Cambois E, Costa G, et al. Socioeconomic differences in the prevalence of common chronic diseases: an overview of eight European countries. *Int J Epidemiol* 2005;34(2):316–26.

- (14). Dolk H, Pattenden S, Bonellie S, Colver A, King A, Kurinczuk JJ, et al. Socio-economic inequalities in cerebral palsy prevalence in the United Kingdom: a register-based study. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2010;24(2):149–55.
- (15). Mackenbach JP, Cavelaars AE, Kunst AE, Groenhouf F. Socioeconomic inequalities in cardiovascular disease mortality; an international study. *Eur Heart J* 2000;21(14):1141–51.
- (16). Gulliford MC, Dodhia H, Chamley M, McCormick K, Mohamed M, Naithani S, et al. Socio-economic and ethnic inequalities in diabetes retinal screening. *Diabet Med* 2010;27(3):282–8.
- (17). Ellison-Loschmann L, Sunyer J, Plana E, Pearce N, Zock J-P, Jarvis D, et al. Socioeconomic status, asthma and chronic bronchitis in a large community-based study. *Eur Respir J* 2007 ;29(5):897–905.
- (18). Duran-Tauleria E, Rona R. Geographical and socioeconomic variation in the prevalence of asthma symptoms in English and Scottish children. *Thorax* 1999;54(6):476–81.
- (19). Strand BH, Kunst A, Huisman M, Menvielle G, Glickman M, Bopp M, et al. The reversed social gradient: higher breast cancer mortality in the higher educated compared to lower educated. A comparison of 11 European populations during the 1990s. *Eur J Cancer* 2007;43(7):1200–7.
- (20). Herbert C, Launoy G. Les cancers. In: Leclerc A, Fassin D, Grandjean H, Kaminski M, Lang T, eds. *Les inégalités sociales de santé*. Paris : INSERM - La Découverte; 2000:239-250.
- (21). Marmot M. Social determinants of health inequalities. *Lancet* 2005;365(9464):1099–1104.
- (22). Kunst AE, Groenhouf F, Mackenbach JP. Mortality by occupational class among men 30-64 years in 11 European countries. EU Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. *Soc Sci Med* 1998;46(11):1459–76.
- (23). Agences régionales de santé. Rapport sur - Les inégalités sociales de santé- : France : ARS; 2008.
- (24). Institut national d'étude démographique. (2011). Population en chiffre- Espérance de vie -. Disponible sur : <http://www.ined.fr>
- (25). Ministère du travail, de l'emploi et de la santé (2007). Rapport sur l'état de santé de la population en France -Indicateurs de santé transversaux-. Disponible sur <http://www.sante.gouv.fr>.
- (26). Ministère du travail, de l'emploi et de la santé (2008). Rapport sur l'état de santé de la population en France -Synthèse-. Disponible sur <http://www.sante.gouv.fr>.
- (27). Institut national d'étude démographique. (2011). Population en chiffre- Espérance de vie -. Disponible sur : <http://www.ined.fr>.

- (28). Fernandez D, Polesi H, Schweitzer B, Daniele L, Schauder N, Seiller M, et al. Inégalité sociale des enfants face au surpoids en Alsace : données de la visite médicale d'admission en école élémentaire, France, 2001-2002. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire* 2007;(2-3):20-3.
- (29). Pierre Aiach, Didier Fassin. L'origine et les fondements des inégalités sociales de santé. *La revue du praticien* 2004;54 (20) ; p 2221-27.
- (30). Sternthal MJ, Coull BA, Mathilda Chiu Y-H, Cohen S, Wright RJ. Associations among maternal childhood socioeconomic status, cord blood IgE levels, and repeated wheeze in urban children. *J Allergy Clin Immunol* 2011;128(2):337-45.
- (31). Klinnert MD, Mrazek PJ, Mrazek DA. Early asthma onset: the interaction between family stressors and adaptive parenting. *Psychiatry* 1994;57(1):51-61.
- (32). Chen E, Chim LS, Strunk RC, Miller GE. The Role of the Social Environment in Children and Adolescents with Asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;176(7):644-9.
- (33). Rethon C, Goodwin L, Stansfeld S. Family social support, community « social capital » and adolescents' mental health and educational outcomes: a longitudinal study in England. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol* 2011 Doi: 10.1007/s00127-011-0391-7.
- (34). Berkman L, Glass T. Social integration, social networks, social support, and health. In: Berkman L, Kawachi I, eds. *Social Epidemiology*. New York: Oxford University Press; 2000:137-173.
- (35). Moulin JJ, Labbe E, Sass C, Gerbaud L. Job insecurity, unemployment and health: results from the health examination centers of the French General Health Insurance. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2009;57(3):141-9.
- (36). Khlata M, Ravaut JF, Brouard N, Chau N. Occupational disparities in accidents and roles of lifestyle factors and disabilities: a population-based study in north-eastern France. *Public Health*. 2008;122(8):771-83.
- (37). Kwag KH, Martin P, Russell D, Franke W, Kohut M. The impact of perceived stress, social support, and home-based physical activity on mental health among older adults. *Int J Aging Hum Dev* 2011;72(2):137-54.
- (38). Seeman TE. Health promoting effects of friends and family on health outcomes in older adults. *Am J Health Promot* 2000;14(6):362-70.
- (39). Goldberg M, Melchior M, Leclerc A, Lert F. Epidemiology and social determinants of health inequalities. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2003;51(4):381-401.
- (40). Marmot MG. Social inequalities in mortality: the social environment. London and New York: Tavistock Publications; 1986; 21-33 p.
- (41). Hausteil KO. Smoking and poverty. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation* 2006;13(3):312-8.

- (42). Haustein KO. Smoking and low socio-economic status. *Gesundheitswesen* 2005;67(8-9):630–7.
- (43). Baumann M, Spitz E, Guillemin F, Ravaud JF, Choquet M, Falissard B, et al. Associations of social and material deprivation with tobacco, alcohol, and psychotropic drug use, and gender: a population-based study. *Int J Health Geogr* 2007;6(9):50.
- (44). Yang S, Lynch JW, Raghunathan TE, Kauhanen J, Salonen JT, Kaplan GA. Socioeconomic and Psychosocial Exposures across the Life Course and Binge Drinking in Adulthood: Population-based Study. *Am J Epidemiology* 2007;15;165(2):184–93.
- (45). Bloomfield K, Grittner U, Kramer S, Gmel G. Social inequalities in alcohol consumption and alcohol-related problems in the study countries of the EU concerted action « Gender, Culture and Alcohol Problems: a Multi-national Study ». *Alcohol and Alcoholism* 2006;41(1):i26–36.
- (46). Serdula MK, Brewer RD, Gillespie C, Denny CH, Mokdad A. Trends in alcohol use and binge drinking, 1985-1999: results of a multi-state survey. *Am J Prev Med* 2004;26(4):294–8.
- (47). López-Azpiazu I, Sánchez-Villegas A, Johansson L, Petkeviciene J, Prättälä R, Martínez-González MA. Disparities in food habits in Europe: systematic review of educational and occupational differences in the intake of fat. *J Hum Nutr Diet* 2003;16(5):349–64.
- (48). Irala-Estévez JD, Groth M, Johansson L, Oltersdorf U, Prättälä R, Martínez-González MA. A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: consumption of fruit and vegetables. *Eur J Clin Nutr* 2000;54(9):706–14.
- (49). Dowler E. Inequalities in Diet and Physical Activity in Europe. *Public Health Nutrition* 2001;4(2b):701–9.
- (50). McNeill LH, Kreuter MW, Subramanian SV. Social environment and physical activity: a review of concepts and evidence. *Soc Sci Med* 2006;63(4):1011–22.
- (51). O’Neill MS, McMichael AJ, Schwartz J, Wartenberg D. Poverty, environment, and health: the role of environmental epidemiology and environmental epidemiologists. *Epidemiology* 2007;18(6):664–8.
- (52). Sexton K. Sociodemographic aspects of human susceptibility to toxic chemicals: Do class and race matter for realistic risk assessment? *Environmental Toxicology and Pharmacology* 1997;4(3-4):261–9.
- (53). Rios R, Poje GV, Detels R. Susceptibility to environmental pollutants among minorities. *Toxicol Ind Health* 1993;9(5):797–820.
- (54). O’Neill MS, Jerrett M, Kawachi I, Levy JI, Cohen AJ, Gouveia N, et al. Health, wealth, and air pollution: advancing theory and methods. *Environ Health Perspect* 2003;111(16):1861–70.
- (55). Sexton K, Gong H Jr, Bailar JC 3rd, Ford JG, Gold DR, Lambert WE, et al. Air pollution health risks: do class and race matter? *Toxicol Ind Health* 1993;9(5):843–78.

- (56). Perlin SA, Wong D, Sexton K. Residential proximity to industrial sources of air pollution: interrelationships among race, poverty, and age. *J Air Waste Manag Assoc* 2001;51(3):406–21.
- (57). Perlin SA, Sexton K, Wong DW. An examination of race and poverty for populations living near industrial sources of air pollution. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1999;9(1):29–48.
- (58). Waller LA, Louis TA, Carlin BP. Environmental justice and statistical summaries of differences in exposure distributions. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1999;9(1):56–65.
- (59). Anderton DL, Anderson AB, Oakes JM, Fraser MR. Environmental equity: the demographics of dumping. *Demography* 1994;31(2):229–48.
- (60). Davidson P, Anderton DL. Demographics of dumping. II: A national environmental equity survey and the distribution of hazardous materials handlers. *Demography* 2000;37(4):461–6.
- (61). Bowen W. An analytical review of environmental justice research: what do we really know? *J Environ Manag* 2002;29(1):3–15.
- (62). Downey L, Hawkins B. Race, income, and environmental inequality in the United States. *Sociol Perspect* 2008;51(4):759–81.
- (63). Briggs D, Abellan JJ, Fecht D. Environmental inequity in England: Small area associations between socio-economic status and environmental pollution. *Soc Sci Med* 2008;67(10):1612–29.
- (64). Mitchel G. Environmental Justice: An Overview. *Encyclopedia of Environmental Health* 2011 ; 449-458 ; doi:10.1016/B978-0-444-52272-6.00704-2.
- (65). Bowen WM, Salling MJ, Haynes KE, Cyran EJ. Toward Environmental Justice: Spatial Equity in Ohio and Cleveland. *Annals of the Association of American Geographers* 1995;85(4):641–63.
- (66). Neumann CM, Forman DL, Rothlein JE. Hazard screening of chemical releases and environmental equity analysis of populations proximate to toxic release inventory facilities in Oregon. *Environ Health Perspect* 1998;106(4):217–26.
- (67). Perlin SA, Setzer RW, Creason J, Sexton K. Distribution of Industrial Air Emissions by Income and Race in The United States: An Approach Using the Toxic Release Inventory. *Environmental Science & Technology* 1995;29(1):69–80.
- (68). Norton JM, Wing S, Lipscomb HJ, Kaufman JS, Marshall SW, Cravey AJ. Race, Wealth, and Solid Waste Facilities in North Carolina. *Environ Health Perspect* 2007;115(9):1344–50.
- (69). Pastor Jr. M, Morello - Frosch R, Sadd JL. The Air is Always Cleaner on the Other Side: Race, Space, and Ambient Air Toxics Exposures in California. *J Urban Aff* 2005;27(2):127–48.

- (70). Gunier RB, Hertz A, Von Behren J, Reynolds P. Traffic density in California: socioeconomic and ethnic differences among potentially exposed children. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2003;13(3):240–6.
- (71). Houston D, Wu J, Ong P, Winer A. Structural Disparities of Urban Traffic in Southern California: Implications for Vehicle-Related Air Pollution Exposure in Minority and High-Poverty Neighborhoods. *J Urban Aff* 2004;26(5):565–92.
- (72). Green RS, Smorodinsky S, Kim JJ, McLaughlin R, Ostro B. Proximity of California public schools to busy roads. *Environ Health Perspect* 2004;112(1):61–6.
- (73). Rotko T, Koistinen K, Hänninen O, Jantunen M. Sociodemographic descriptors of personal exposure to fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in EXPOLIS Helsinki. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2000;10(4):385–93.
- (74). Rotko T, Kousa A, Alm S, Jantunen M. Exposures to nitrogen dioxide in EXPOLIS-Helsinki: microenvironment, behavioral and sociodemographic factors. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001;11(3):216–23.
- (75). Kore ME. A socioeconomic assessment of human exposure to ozone in the South Coast Air Basin of California. *J Air Waste Manag Assoc* 1996;46(6):547–57.
- (76). Schwab M. An examination of the intra-SMSA distribution of carbon monoxide exposure. *J Air Waste Manage Assoc* 1990;40(3):331–6.
- (77). Brajer V, Hall JV. Recent evidence on the distribution of air pollution effects. *Contemporary Economic Policy* 1992;10(2):63–71.
- (78). Chaix B, Gustafsson S, Jerrett M, Kristersson H, Lithman T, Boalt A, et al. Children's exposure to nitrogen dioxide in Sweden: investigating environmental injustice in an egalitarian country. *J Epidemiol Community Health* 2006;60(3):234–41.
- (79). Woodruff TJ, Parker JD, Kyle AD, Schoendorf KC. Disparities in exposure to air pollution during pregnancy. *Environ Health Perspect* 2003;111(7):942–6.
- (80). Mitchell G, Dorling D. An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A* 2003;35(5):909–29.
- (81). Brainard JS, Jones AP, Bateman IJ, Lovett AA, Fallon PJ. Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England. *Environment and Planning A* 2002;34(4):695–716.
- (82). Mitchell G. Forecasting environmental equity: Air quality responses to road user charging in Leeds, UK. *J Environ Manag* 2005;77(3):212–26.
- (83). Buzzelli M, Jerrett M, Burnett R, Finklestein N. Spatiotemporal Perspectives on Air Pollution and Environmental Justice in Hamilton, Canada, 1985–1996. *Annals of the Association of American Geographers* 2003;93(3):557–73.
- (84). Carstairs V. Deprivation indices: their interpretation and use in relation to health. *J Epidemiol Community Health* 1995;49 Suppl 2:S3–8.

- (85). Brajer V, Hall JV. Changes in the Distribution of Air Pollution Exposure in the Los Angeles Basin from 1990 to 1999. *Contemporary Economic Policy* 2005;23(1):50–8.
- (86). Liu F. Urban ozone plumes and population distribution by income and race: a case study of New York and Philadelphia. *J Air Waste Manag Assoc* 1996;46(3):207–15.
- (87). Diez Roux AV. Investigating neighborhood and area effects on health. *Am.J Public Health* 2001;91(11):1783–9.
- (88). Macintyre S, Ellaway A, Cummins S. Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc Sci Med* 2002;55(1):125–39.
- (89). Fassin D. Le capital social, de la sociologie à l'épidémiologie : analyse critique d'une migration transdisciplinaire. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2003;51(4):403–14.
- (90). Agence Régionale de Santé Midi-Pyrénées. Rapport sur l'état de santé en Midi-Pyrénées. Synthèse 2010.
- (91). Cauvin P, Lebas J. Inégalités et disparités sociales de santé en France. Dans: *Traité de santé publique*. Paris 2007;331–41.
- (92). Haut Conseil de la santé publique. Rapport sur les inégalités sociales de santé -sortir de la fatalité-. HCSP;2009.
- (93). Townsend P. Deprivation. *Journal of Social Policy* 1987;16(125):146.
- (94). Salmond C, Crampton P, Hales S, Lewis S, Pearce N. Asthma prevalence and deprivation: a small area analysis. *J Epidemiol Community Health* 1999;53(8):476–80.
- (95). Sundquist K, Malmstrom M, Johansson SE. Neighbourhood deprivation and incidence of coronary heart disease: a multilevel study of 2.6 million women and men in Sweden. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(1):71–7.
- (96). Havard S, Deguen S, Bodin J, Louis K, Laurent O, Bard D. A small-area index of socio-economic deprivation to capture health inequalities in France. *Soc Sci Med* 2008;67(12):2007–16.
- (97). Chaix B, Rosvall M, Merlo J. Neighborhood socioeconomic deprivation and residential instability: effects on incidence of ischemic heart disease and survival after myocardial infarction. *Epidemiology* 2007;18(1):104–11.
- (98). Rose KM, Suchindran CM, Foraker RE, Whitsel EA, Rosamond WD, Heiss G, et al. Neighborhood disparities in incident hospitalized myocardial infarction in four U.S. communities: the ARIC surveillance study. *Ann Epidemiol* 2009;19(12):867–74.
- (99). Juhn YJ, Qin R, Urm S, Katusic S, Vargas-Chanes D. The influence of neighborhood environment on the incidence of childhood asthma: a propensity score approach. *J Allergy Clin Immunol* 2010;125(4):838–43.
- (100). Borrell C, Plasència A, Huisman M, Costa G, Kunst A, Andersen O, et al. Education level inequalities and transportation injury mortality in the middle aged and elderly in European settings. *In j Prev* 2005;11(3):138–42.

- (101). Shankardass K, McConnell RS, Milam J, Berhane K, Tatalovich Z, Wilson JP, et al. The association between contextual socioeconomic factors and prevalent asthma in a cohort of Southern California school children. *Soc Sci Med* 2007;65(8):1792–806.
- (102). Lovasi GS, Moudon AV, Smith NL, Lumley T, Larson EB, Sohn DW, et al. Evaluating options for measurement of neighborhood socioeconomic context: evidence from a myocardial infarction case-control study. *Health Place* 2008;14(3):453–67.
- (103). Sundquist K, Theobald H, Yang M, Li X, Johansson SE, Sundquist J. Neighborhood violent crime and unemployment increase the risk of coronary heart disease: A multilevel study in an urban setting. *Soc Sci Med* 2006;62(8):2061–71.
- (104). Chaix B, Rosvall M, Merlo J. Assessment of the magnitude of geographical variations and socioeconomic contextual effects on ischaemic heart disease mortality: a multilevel survival analysis of a large Swedish cohort. *J Epidemiol Community Health* 2007;61(4):349–55.
- (105). Stjarne MK, Ponce de LA, Hallqvist J. Contextual effects of social fragmentation and material deprivation on risk of myocardial infarction--results from the Stockholm Heart Epidemiology Program (SHEEP). *Int J Epidemiol* 2004;33(4):732–41.
- (106). Thorslund M, Lundberg O. Health and inequalities among the oldest old. *J Aging Health* 1994;6(1):51–69.
- (107). Hoffmann R. Socioeconomic inequalities in old-age mortality: A comparison of Denmark and the USA. *Soc Sci Med* 2011;72(12):1986–92.
- (108). Hoffmann R. Do socioeconomic mortality differences decrease with rising age? *Demographic Research* 2005;13(2):35–62.
- (109). Borrell LN, ez Roux AV, Rose K, Catellier D, Clark BL. Neighbourhood characteristics and mortality in the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Int J Epidemiol* 2004;33(2):398–407.
- (110). Diez-Roux AV, Nieto FJ, Muntaner C, Tyroler HA, Comstock GW, Shahar E, et al. Neighborhood environments and coronary heart disease: a multilevel analysis. *Am J Epidemiol* 1997;146(1):48–63.
- (111). Diez Roux AV, Merkin SS, Arnett D, Chambless L, Massing M, Nieto FJ, et al. Neighborhood of residence and incidence of coronary heart disease. *N Engl J Med* 2001;345(2):99–106.
- (112). Woodward M. Small area statistics as markers for personal social status in the Scottish heart health study. *J Epidemiol Community Health* 1996;50(5):570-6.
- (113). Litonjua AA, Carey VJ, Weiss ST, Gold DR. Race, socioeconomic factors, and area of residence are associated with asthma prevalence. *Pediatr Pulmonol* 1999;28(6):394–401.
- (114). Ivory VC, Collings SC, Blakely T, Dew K. When does neighbourhood matter? Multilevel relationships between neighbourhood social fragmentation and mental health. *Soc Sci Med* 2011;72(12):1993–2002.

- (115). Truong KD, Ma S. A systematic review of relations between neighborhoods and mental health. *J Ment Health Policy Econ* 2006;9(3):137–54.
- (116). RAND Health Research. Does Neighborhood Deterioration Lead to Poor Health? RAND. 2005 : [http://www.rand.org/pubs/research\\_briefs/RB9074/RAND\\_RB9074.pdf](http://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9074/RAND_RB9074.pdf)
- (117). Cohen DA, Mason K, Bedimo A, Scribner R, Basolo V, Farley TA. Neighborhood physical conditions and health. *Am J Public Health* 2003;93(3):467–71.
- (118). Aneshensel CS, Sucoff CA. The neighborhood context of adolescent mental health. *J Health Soc Behav* 1996;37(4):293–310.
- (119). Chu A, Thorne A, Guite H. The impact on mental well-being of the urban and physical environment: an assessment of the evidence. *Journal of Public Mental Health* 2004;3(2):17–32.
- (120). Guite HF, Clark C, Ackrill G. The impact of the physical and urban environment on mental well-being. *Public Health* 2006;120(12):1117–26.
- (121). Gupta RS, Zhang X, Springston EE, Sharp LK, Curtis LM, Shalowitz M, et al. The association between community crime and childhood asthma prevalence in Chicago. *Ann. Allergy Asthma Immunol* 2010;104(4):299–306.
- (122). Cagney KA, Browning CR. Exploring neighborhood-level variation in asthma and other respiratory diseases: the contribution of neighborhood social context. *J Gen Intern Med* 2004;19(3):229–36.
- (123). Grafova IB. Overweight children: Assessing the contribution of the built environment. *Preventive Medicine* 2008;47(3):304–8.
- (124). Handy SL, Boarnet MG, Ewing R, Killingsworth RE. How the built environment affects physical activity: views from urban planning. *Am J Prev Med* 2002;23(2 Suppl):64–73.
- (125). Nelson MC, Gordon-Larsen P, Song Y, Popkin BM. Built and social environments associations with adolescent overweight and activity. *Am J Prev Med* 2006;31(2):109–17.
- (126). McGinn AP, Evenson KR, Herring AH, Huston SL, Rodriguez DA. Exploring associations between physical activity and perceived and objective measures of the built environment. *J Urban Health* 2007;84(2):162–84.
- (127). Frank LD, Saelens BE, Powell KE, Chapman JE. Stepping towards causation: do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Soc Sci Med* 2007;65(9):1898–914.
- (128). Boer R, Zheng Y, Overton A, Ridgeway GK, Cohen DA. Neighborhood Design and Walking Trips in Ten U.S. Metropolitan Areas. *American Journal of Preventive Medicine* 2007;32(4):298–304.

- (129). King WC, Belle SH, Brach JS, Simkin-Silverman LR, Soska T, Kriska AM. Objective measures of neighborhood environment and physical activity in older women. *American Journal of Preventive Medicine* 2005;28(5):461–9.
- (130). Guagliardo MF. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges. *Int J Health Geogr* 2004;3(1):3.
- (131). Bell JF, Wilson JS, Liu GC. Neighborhood Greenness and 2-Year Changes in Body Mass Index of Children and Youth. *American Journal of Preventive Medicine* 2008;35(6):547–53.
- (132). Tilt JH, Unfried TM, Roca B. Using objective and subjective measures of neighborhood greenness and accessible destinations for understanding walking trips and BMI in Seattle, Washington. *Am J Health Promot* 2007;21(4 Suppl):371–9.
- (133). Forsyth A, Schmitz K, Hearst M., Oakes J. Design and Destinations: Factors Influencing Walking and Total Physical Activity. *Urban Studies* 2008;45(9):1973–96.
- (134). Lovasi GS, Quinn JW, Neckerman KM, Perzanowski MS, Rundle A. Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. *J Epidemiol Community Health* 2008;62(7):647–9.
- (135). Mobley LR, Root ED, Finkelstein EA, Khavjou O, Farris RP, Will JC. Environment, Obesity, and Cardiovascular Disease Risk in Low-Income Women. *Am J Prev Med* 2006;30(4):327.
- (136). Moore LV, Diez Roux AV. Associations of neighborhood characteristics with the location and type of food stores. *American Journal of Public Health* 2006;96(2):325–31.
- (137). Burdette HL, Whitaker RC. Neighborhood playgrounds, fast food restaurants, and crime: relationships to overweight in low-income preschool children. *Prev Med* 2004;38(1):57–63.
- (138). Turrell G, Giskes K. Socioeconomic disadvantage and the purchase of takeaway food: a multilevel analysis. *Appetite* 2008;51(1):69–81.
- (139). Diez Roux AV, Evenson KR, McGinn AP, Brown DG, Moore L, Brines S, et al. Availability of recreational resources and physical activity in adults. *Am J Public Health* 2007;97(3):493–9.
- (140). Cohen DA, McKenzie TL, Sehgal A, Williamson S, Golinelli D, Lurie N. Contribution of public parks to physical activity. *Am J Public Health* 2007;97(3):509–14.
- (141). Rutt CD, Coleman KJ. Examining the relationships among built environment, physical activity, and body mass index in El Paso, TX. *Prev Med* 2005;40(6):831–41.
- (142). Tucker P, Irwin JD, Gilliland J, He M, Larsen K, Hess P. Environmental influences on physical activity levels in youth. *Health & Place* 2009;15(1):357–63.

- (143). Nagel CL, Carlson NE, Bosworth M, Michael YL. The relation between neighborhood built environment and walking activity among older adults. *Am J Epidemiology* 2008;168(4):461–8.
- (144). Lee C, Moudon A. Neighbourhood design and physical activity. *Building Research and Information* 2008;36:395–411.
- (145). Clifton KL ; Dil. Women’s Travel Behavior and Land Use: Will New Styles of Neighborhoods Lead to More Women Walking? 2004.
- (146). Hawe P, Shiell A. Social capital and health promotion: a review. *Soc Sci Med* 2000;51(6):871–85.
- (147). Hsieh C-H. A concept analysis of social capital within a health context. *Nurs Forum* 2008;43(3):151–9.
- (148). Kawachi I. Social capital and community effects on population and individual health. *Ann N Y Acad Sci* 1999;896:120–30.
- (149). Lomas J. Social capital and health: implications for public health and epidemiology. *Soc Sci Med* 1998;47(9):1181–8.
- (150). Macintyre S, Ellaway A. Neighbourhood cohesion and health in socially contrasting neighbourhoods: implications for the social exclusion and public health agendas. *Health Bull* 2000;58(6):450–6.
- (151). Salinero-Fort MA, Del Otero-Sanz L, Martín-Madrado C, de Burgos-Lunar C, Chico-Moraleja RM, Rodés-Soldevila B, et al. The relationship between social support and self-reported health status in immigrants: an adjusted analysis in the Madrid Cross Sectional Study. *BMC Fam Pract* 2011;12:46.
- (152). Stephens C, Alpass F, Towers A, Stevenson B. The Effects of Types of Social Networks, Perceived Social Support, and Loneliness on the Health of Older People: Accounting for the Social Context. *J Aging Health*. 2011.
- (153). Harpham T, Grant E, Thomas E. Measuring social capital within health surveys: key issues. *Health Policy Plan* 2002;17(1):106–11.
- (154). Shankardass K, Jerrett M, Milam J, Richardson J, Berhane K, McConnell R. Social environment and asthma: associations with crime and No Child Left Behind programmes. *J Epidemiol Community Health* 2010; 65(10):859-65
- (155). Scheffler RM, Brown TT, Syme L, Kawachi I, Tolstykh I, Iribarren C. Community-level social capital and recurrence of acute coronary syndrome. *Soc Sci Med* 2008;66(7):1603–13.
- (156). Sundquist J, Johansson SE, Yang M, Sundquist K. Low linking social capital as a predictor of coronary heart disease in Sweden: A cohort study of 2.8 million people. *Soc Sci Med* 2006;62(4):954–63.
- (157). Merlo O, Bell SJ, Meng B, Whitwell GJ. Social capital, customer service orientation and creativity in retail stores. *Journal of Business Research* 2006;59(12):1214–21.

- (158). Clark CJ, Guo H, Lunos S, Aggarwal NT, Beck T, Evans DA, et al. Neighborhood cohesion is associated with reduced risk of stroke mortality. *Stroke* 2011;42(5):1212–7.
- (159). Lochner KA, Kawachi I, Brennan RT, Buka SL. Social capital and neighborhood mortality rates in Chicago. *Soc Sci Med* 2003;56(8):1797–805.
- (160). Bjornstrom EES. The neighborhood context of relative position, trust, and self-rated health. *Soc Sci Med* 2011;73(1):42–9.
- (161). Evans GW. The built environment and mental health. *J Urban Health* 2003;80(4):536–55.
- (162). Echeverría S, Diez-Roux AV, Shea S, Borrell LN, Jackson S. Associations of neighborhood problems and neighborhood social cohesion with mental health and health behaviors: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Health & Place* 2008;14(4):853–65.
- (163). Stafford M, De Silva M, Stansfeld S, Marmot M. Neighbourhood social capital and common mental disorder: testing the link in a general population sample. *Health & Place* 2008;14(3):394–405.
- (164). Sundquist K, Lindstrom M, Malmstrom M, Johansson SE, Sundquist J. Social participation and coronary heart disease: a follow-up study of 6900 women and men in Sweden. *Soc Sci Med* 2004;58(3):615–22.
- (165). Rosenbaum E. Racial/ethnic differences in asthma prevalence: the role of housing and neighborhood environments. *J Health Soc Behav* 2008;49(2):131–45.
- (166). Zick C, Smith KR, Fan JX, Brown BB, Yamada I, Kowaleski-Jones L. Running to the Store? The Relationship between Neighborhood Environments and the Risk of Obesity. *Soc Sci Med* 2009;69(10):1493–500.
- (167). Bard D, Laurent O, Filleul L, Havard S, Deguen S, Segala C, et al. Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes: an overview of the PAISARC Project. *Environ Res Lett* 2007;2 045003 (7pp)
- (168). Laurent O, Pedrono G, Segala C, Filleul L, Havard S, Deguen S, et al. Air Pollution, Asthma Attacks, and Socioeconomic Deprivation: A Small-Area Case-Crossover Study. *Am J Epidemiology* 2008; 168(1):58-65.
- (169). Lin M, Chen Y, Villeneuve PJ, Burnett RT, Lemyre L, Hertzman C, et al. Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada. *Am J Epidemiol* 2004;159(3):294-303.
- (170). Diez Roux AV. Residential environments and cardiovascular risk. *Journal of Urban Health* 2003;80(4):569–89.
- (171). Gern JE. The Urban Environment and Childhood Asthma study. *J Allergy Clin Immunol* 2010;125(3):545–9.

- (172). Gern JE, Visness CM, Gergen PJ, Wood RA, Bloomberg GR, O'Connor GT, et al. The Urban Environment and Childhood Asthma (URECA) birth cohort study: design, methods, and study population. *BMC Pulm Med* 2009;9:17.
- (173). Li J, Newcomb P. Disparities in childhood asthma hospitalizations: A spatial analysis of contextual effects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2009;14(5):317–25.
- (174). Weil CM, Wade SL, Bauman LJ, Lynn H, Mitchell H, Lavigne J. The relationship between psychosocial factors and asthma morbidity in inner-city children with asthma. *Pediatrics* 1999;104(6):1274–80.
- (175). Wright RJ, Mitchell H, Visness CM, Cohen S, Stout J, Evans R, et al. Community violence and asthma morbidity: the Inner-City Asthma Study. *American Journal of Public Health* 2004;94(4):625–32.
- (176). Suglia SF, Ryan L, Laden F, Dockery DW, Wright RJ. Violence exposure, a chronic psychosocial stressor, and childhood lung function. *Psychosomatic Medicine* 2008;70(2):160–9.
- (177). Sternthal MJ, Jun H-J, Earls F, Wright RJ. Community violence and urban childhood asthma: a multilevel analysis. *Eur Respir J* 2010;36(6):1400–9.
- (178). Wainwright NW, Surtees PG, Wareham NJ, Harrison BD. Psychosocial factors and incident asthma hospital admissions in the EPIC-Norfolk cohort study. *Allergy* 2007;62(5):554–60.
- (179). Wainwright NWJ, Surtees PG, Wareham NJ, Harrison BDW. Psychosocial factors and asthma in a community sample of older adults. *Journal of Psychosomatic Research* 2007;62(3):357–61.
- (180). Haavet OR, Straand J, Saugstad OD, Grunfeld B. Illness and exposure to negative life experiences in adolescence: two sides of the same coin? A study of 15-year-olds in Oslo, Norway. *Acta Paediatr* 2004;93(3):405–11.
- (181). Turyk ME, Hernandez E, Wright RJ, Freels S, Slezak J, Contreras A, et al. Stressful life events and asthma in adolescents. *Pediatr Allergy Immunol* 2008;19(3):255–63.
- (182). Sandberg S, Paton JY, Ahola S, McCann DC, McGuinness D, Hillary CR, et al. The role of acute and chronic stress in asthma attacks in children. *The Lancet* 2000;356(9234):982–7.
- (183). Bockelbrink A, Willich SN, Dirzus I, Reich A, Lau S, Wahn U, et al. Environmental noise and asthma in children: sex-specific differences. *J Asthma* 2008;45(9):770–3.
- (184). Niemann H, Bonnefoy X, Braubach M, Hecht K, Maschke C, Rodrigues C, et al. Noise-induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study. *Noise & Health* 2006;8(31):63–79.
- (185). Blanc PD, Yen IH, Chen H, Katz PP, Earnest G, Balmes JR, et al. Area-level socioeconomic status and health status among adults with asthma and rhinitis. *Eur Respir J* 2006;27(1):85–94.

- (186). Laurent O, Filleul L, Havard S, Deguen S, Declercq C, Bard D. Asthma attacks and deprivation: gradients in use of mobile emergency medical services. *J Epidemiol Community Health* 2008;62(11):1014–6.
- (187). Burr ML, Verrall C, Kaur B. Social deprivation and asthma. *Respir Med* 1997;91(10):603–8.
- (188). Liu SY, Pearlman DN. Hospital readmissions for childhood asthma: the role of individual and neighborhood factors. *Public Health Rep* 2009;124(1):65–78.
- (189). Saha C, Riner ME, Liu G. Individual and neighborhood-level factors in predicting asthma. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2005;159(8):759–63.
- (190). Cesaroni G, Farchi S, Davoli M, Forastiere F, Perucci CA. Individual and area-based indicators of socioeconomic status and childhood asthma. *Eur Respir J* 2003;22(4):619–24.
- (191). Gupta RS, Zhang X, Sharp LK, Shannon JJ, Weiss KB. The protective effect of community factors on childhood asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2009;123(6):1297–304.
- (192). Corburn J, Osleeb J, Porter M. Urban asthma and the neighbourhood environment in New York City. *Health & Place* 2006;12(2):167–79.
- (193). Juhn YJ, Sauver JS, Katusic S, Vargas D, Weaver A, Yunginger J. The influence of neighborhood environment on the incidence of childhood asthma: a multilevel approach. *Soc Sci Med* 2005;60(11):2453–64.
- (194). Pearce J, Witten K, Hiscock R, Blakely T. Are socially disadvantaged neighbourhoods deprived of health-related community resources? *Int J Epidemiol* 2007;36(2):348–55.
- (195). Wright RJ, Subramanian SV. Advancing a multilevel framework for epidemiologic research on asthma disparities. *Chest* 2007;132(5 Suppl):757S-769S.
- (196). Diez Roux AV, Borrell LN, Haan M, Jackson SA, Schultz R. Neighbourhood environments and mortality in an elderly cohort: results from the cardiovascular health study. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(11):917–23.
- (197). Chaix B, Lindstrom M, Merlo J, Rosvall M. Neighbourhood social interactions and risk of acute myocardial infarction. *J Epidemiol Community Health* 2008;62(1):62–8.
- (198). Chaix B, Rosvall M, Merlo J. Recent increase of neighborhood socioeconomic effects on ischemic heart disease mortality: a multilevel survival analysis of two large Swedish cohorts. *Am J Epidemiol* 2007;165(1):22–6.
- (199). Foraker RE, Rose KM, Kucharska-Newton AM, Ni H, Suchindran CM, Whitsel EA. Variation in Rates of Fatal Coronary Heart Disease by Neighborhood Socioeconomic Status: The Atherosclerosis Risk in Communities Surveillance (1992-2002). *Ann Epidemiol* 2011;21(8):580-8. doi: 10.1016/j.annepidem.2011.03.004

- (200). Smith GD, Hart C, Watt G, Hole D, Hawthorne V. Individual social class, area-based deprivation, cardiovascular disease risk factors, and mortality: the Renfrew and Paisley Study. *J Epidemiol Community Health* 1998;52(6):399–405.
- (201). Belojević G, Jakovljević B, Stojanov V, Paunović K, Ilić J. Urban noise and myocardial infarction in the population. *Srp Arh Celok Lek* 2007;135(5-6):367–70.
- (202). Leyland AH. Socioeconomic gradients in the prevalence of cardiovascular disease in Scotland: the roles of composition and context. *J Epidemiol Community Health* 2005;59(9):799–803.
- (203). Anand SS, Razak F, Davis AD, Jacobs R, Vuksan V, Teo K, et al. Social disadvantage and cardiovascular disease: development of an index and analysis of age, sex, and ethnicity effects. *Int J Epidemiol* 2006;35(5):1239–45.
- (204). Wight RG, Cummings JR, Miller-Martinez D, Karlamangla AS, Seeman TE, Aneshensel CS. A multilevel analysis of urban neighborhood socioeconomic disadvantage and health in late life. *Soc Sci Med* 2008;66(4):862–72.
- (205). Nordstrom CK, ez Roux AV, Jackson SA, Gardin JM. The association of personal and neighborhood socioeconomic indicators with subclinical cardiovascular disease in an elderly cohort. The cardiovascular health study. *Soc Sci Med* 2004;59(10):2139–47.
- (206). Dragano N, Hoffmann B, Stang A, Moebus S, Verde PE, Weyers S, et al. Subclinical coronary atherosclerosis and neighbourhood deprivation in an urban region. *Eur J Epidemiol* 2009;24(1):25–35.
- (207). Chaix B. Geographic life environments and coronary heart disease: a literature review, theoretical contributions, methodological updates, and a research agenda. *Annu Rev Public Health* 2009;30:81–105.
- (208). Ali SM, Merlo J, Rosvall M, Lithman T, Lindström M. Social capital, the miniaturisation of community, traditionalism and first time acute myocardial infarction: A prospective cohort study in southern Sweden. *Soc Sci Med* 2006;63(8):2204–17.
- (209). Rosengren A, Wilhelmsen L, Orth-Gomer K. Coronary disease in relation to social support and social class in Swedish men. A 15 year follow-up in the study of men born in 1933. *Eur Heart J* 2004;25(1):56–63.
- (210). Lawlor DA, Tooth L, Lee C, Dobson A. A comparison of the association between socioeconomic position and cardiovascular disease risk factors in three age cohorts of Australian women: findings from the Australian Longitudinal Study on Women's Health. *J Public Health* 2005;27(4):378–87.
- (211). Stjärne MK, Diderichsen F, Reuterwall C, Hallqvist J. Socioeconomic context in area of living and risk of myocardial infarction: results from Stockholm Heart Epidemiology Program (SHEEP). *J Epidemiol Community Health* 2002;56(1):29–35.
- (212). Silhol R, Zins M, Chauvin P, Chaix B. Investigating the spatial variability in incidence of coronary heart disease in the Gazel cohort: the impact of area socioeconomic position and mediating role of risk factors. *J Epidemiol Community Health* 2011;65(2):137–43.

- (213). Horne BD, Muhlestein JB, Lappé DL, Renlund DG, Bair TL, Bunch TJ, et al. Less affluent area of residence and lesser-insured status predict an increased risk of death or myocardial infarction after angiographic diagnosis of coronary disease. *Ann Epidemiol* 2004;14(2):143–50.
- (214). Ewing R, Schmid T, Killingsworth R, Zlot A, Raudenbush S. Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *Am J Health Promot* 2003;18(1):47–57.
- (215). Morris RW, Wannamethee G, Lennon LT, Thomas MC, Whincup PH. Do socioeconomic characteristics of neighbourhood of residence independently influence incidence of coronary heart disease and all-cause mortality in older British men? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15(1):19–25.
- (216). Lawlor DA, Davey SG, Patel R, Ebrahim S. Life-course socioeconomic position, area deprivation, and coronary heart disease: findings from the British Women’s Heart and Health Study. *Am J Public Health* 2005;95(1):91–7.
- (217). Winkleby M, Sundquist K, Cubbin C. Inequities in CHD Incidence and Case Fatality by Neighborhood Deprivation. *American Journal of Preventive Medicine* 2007;32(2):97–106.
- (218). Deguen S, Lalloue B, Bard D, Havard S, Arveiler D, Zmirou-Navier D. A small-area ecologic study of myocardial infarction, neighborhood deprivation, and sex: a Bayesian modeling approach. *Epidemiology* 2010;21(4):459–66.
- (219). Sundquist K, Winkleby M, Ahlen H, Johansson SE. Neighborhood socioeconomic environment and incidence of coronary heart disease: a follow-up study of 25,319 women and men in Sweden. *Am J Epidemiol* 2004;159(7):655–62.
- (220). Kawakami N, Li X, Sundquist K. Health-promoting and health-damaging neighbourhood resources and coronary heart disease: a follow-up study of 2 165 000 people. *J Epidemiol Community Health* 2011;65(10):866-72
- (221). Alter DA, Eny K. The relationship between the supply of fast-food chains and cardiovascular outcomes. *Can J Public Health* 2005;96(3):173–7.
- (222). Augustin T, Glass TA, James BD, Schwartz BS. Neighborhood psychosocial hazards and cardiovascular disease: the Baltimore Memory Study. *Am J Public Health* 2008;98(9):1664–70.
- (223). Oyana TJ, Rogerson P, Lwebuga-Mukasa JS. Geographic clustering of adult asthma hospitalization and residential exposure to pollution at a United States-Canada border crossing. *American Journal of Public Health* 2004;94(7):1250–7.
- (224). Mobley LR, Finkelstein EA, Khavjou OA, Will JC. Spatial analysis of body mass index and smoking behavior among WISEWOMAN participants. *J Women’s Health* 2004;13(5):519–28.
- (225). Smith GD, Neaton JD, Wentworth D, Stamler R, Stamler J. Socio-economic differentials in mortality risk among men screened for the Multiple Risk Factor

- Intervention Trial: I. White men. *American Journal of Public Health* 1996;86(4):486–96.
- (226). Middleton N, Gunnell D, Frankel S, Whitley E, Dorling D. Urban-rural differences in suicide trends in young adults: England and Wales, 1981-1998. *Soc Sci Med* 2003;57(7):1183–94.
- (227). Elliott P, Briggs D, Morris S, de HC, Hurt C, Jensen TK, et al. Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. *British Medical Journal* 2001;323(7309):363–8.
- (228). Pearce J, Witten K, Bartie P. Neighbourhoods and health: a GIS approach to measuring community resource accessibility. *J Epidemiol Community Health* 2006;60(5):389–95.
- (229). Beard JR, Blaney S, Cerda M, Frye V, Lovasi GS, Ompad D, et al. Neighborhood characteristics and disability in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2009;64(2):252–7.
- (230). Sundquist J, Malmstrom M, Johansson SE. Cardiovascular risk factors and the neighbourhood environment: a multilevel analysis. *Int J Epidemiol* 1999;28(5):841–5.
- (231). Pampalon R, Raymond G. Indice de défavorisation matérielle et sociale: son application au secteur de la santé et du bien-être. *Santé, Solidarité et Société* 2003;(2):191–208.
- (232). Phillimore P, Beattie A, Townsend P. Widening inequality of health in northern England, 1981-91. *BMJ* 1994;308(6937):1125–8.
- (233). Eachus J, Williams M, Chan P, Smith GD, Grainge M, Donovan J, et al. Deprivation and cause specific morbidity: evidence from the Somerset and Avon survey of health. *BMJ* 1996;312(7026):287–92.
- (234). Payne JN, Coy J, Milner PC, Patterson S. Are deprivation indicators a proxy for morbidity? A comparison of the prevalence of arthritis, depression, dyspepsia, obesity and respiratory symptoms with unemployment rates and Jarman scores. *J Public Health Med* 1993;15(2):161–70.
- (235). Pickett KE, Pearl M. Multilevel analyses of neighbourhood socio-economic context and health outcomes: a critical review. *Journal J Epidemiol Community Health* 2001;55(2):111–22.
- (236). Gehlke C, Biehl K. Certain effects of grouping upon the size of the correlation in census tract material. *Journal of the American Statistical Association* 1943;29 (Special Supplement):169–70.
- (237). Openshaw S. The modifiable areal unit problem. Norwich, UK. 1984.
- (238). Crayford T, Shanks J, Bajekal M, Langford S. Analysis from inner London of deprivation payments based on enumeration districts rather than wards. *BMJ*. 1995;311(7008):787–8.

- (239). Reijneveld SA, Verheij RA, de Bakker DH. The impact of area deprivation on differences in health: does the choice of the geographical classification matter? *J Epidemiol Community Health* 2000;54(4):306–13.
- (240). Unwin D. GIS spatial analysis and spatial statistic. *Progress in Human Geography* 1996;20:540–51.
- (241). Flowerdew R, Manley DJ, Sabel CE. Neighbourhood effects on health: Does it matter where you draw the boundaries? *Soc Sci Med* 2008;66(6):1241–55.
- (242). Palladini S. ArcObjects Development in Zone Design Using Visual Basic for Applications in: Laganá A, Gavrilova ML, Kumar V, Mun Y, Tan CJK, Gervasi O. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2004. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2004. p. 1057–68.
- (243). Cockings S, Martin D. Zone design for environment and health studies using pre-aggregated data. *Soc Sci Med* 2005;60(12):2729–42.
- (244). Martin D, Nolan A, Tranmer M. The application of zone design methodology to the 2001 UK Census. *Environment and Planning A* 2001;33:1949–62.
- (245). Openshaw S, Rao L. Algorithms for reengineering 1991 Census geography. *Environment and Planning A* 1995;27(3):425–46.
- (246). Stafford M, Duke-Williams O, Shelton N. Small area inequalities in health: Are we underestimating them? *Soc Sci Med* 2008;67(6):891–9.
- (247). Haynes R, Daras K, Reading R, Jones A. Modifiable neighbourhood units, zone design and residents' perceptions. *Health & Place* 2007;13(4):812–25.
- (248). Tatalovich Z, Wilson JP, Milam JE, Jerrett ML, McConnell R. Competing definitions of contextual environments. *Int J Health Geogr* 2006;5:55.
- (249). Haining R, Wise S, Blake M. Constructing regions for small area analysis: material deprivation and colorectal cancer. *J Public Health Med* 1994;16(4):429–38.
- (250). Burra TA, Moineddin R, Agha MM, Glazier RH. Social disadvantage, air pollution, and asthma physician visits in Toronto, Canada. *Environ Res* 2009;109(5):567–74.
- (251). Laurent O, Bard D, Filleul L, Segala C. Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *J Epidemiol Community Health* 2007;61(8):665–75.
- (252). Clougherty JE, Levy JJ, Kubzansky LD, Ryan PB, Suglia SF, Canner MJ, et al. Synergistic effects of traffic-related air pollution and exposure to violence on urban asthma etiology. *Environ Health Perspect* 2007;115(8):1140–6.
- (253). Wilhelm M, Qian L, Ritz B. Outdoor air pollution, family and neighborhood environment, and asthma in LA FANS children. *Health & Place*. 2009;15(1):25-36.

## **Partie II**

---

*DEFINITION ET CARACTERISATION D'UN ZONAGE ADAPTE  
POUR TESTER L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT DE  
VOISINAGE SUR LES EVENEMENTS DE SANTE A COURT TERME.*



---

---

## **II. DEFINITION ET CARACTERISATION D'UN ZONAGE ADAPTE POUR TESTER L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT DE VOISINAGE SUR LES EVENEMENTS DE SANTE A COURT TERME**

---

---

Nous avons, dans la partie précédente, identifié les principaux concepts et méthodes développés autour du thème de « l'environnement de voisinage », décrit dans les travaux de champs divers allant, entre autres, de l'épidémiologie, à la géographie et la sociologie.

Cette partie de la thèse vise à décrire une démarche multidisciplinaire d'analyse de l'environnement de voisinage appliquée à notre territoire d'étude : La Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).

Une description de notre territoire d'étude et de l'échelle d'analyse, suivie de l'examen des bases de données, du choix des variables et de leur disponibilité, et enfin d'un repérage des données, sont exposés dans le premier chapitre (1).

Les deux chapitres suivants (2 et 3) sont consacrés aux outils de la géographie et de l'épidémiologie, nécessaires pour décrire les caractéristiques contextuelles de notre territoire d'étude.

Les différents traitements spatiaux des données contextuelles, élaborées à l'aide d'un Système d'Informations Géographiques (SIG), sont examinés, en détail, dans le chapitre 2. Une note méthodologique, à la fin de cette partie, apportera un éclairage complémentaire sur les procédures mises au point.

Pour dresser un état des lieux des disparités contextuelles, nous proposons, dans le chapitre 3, une approche multidimensionnelle. Nous présenterons la démarche d'analyse factorielle adoptée pour examiner les données recueillies nécessaires à la description de l'environnement de voisinage.

Le dernier chapitre (4) est axé sur la définition des limites spatiales de l'environnement de voisinage. Il décrit l'approche expérimentale mise en place pour concevoir un nouveau zonage adapté à l'évaluation des effets contextuels d'un environnement sur la santé.



## **Chapitre 1 : Territoire d'étude et données contextuelles**

---

La phase préliminaire de ce chapitre décrit le territoire d'étude, en l'occurrence la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), et le schéma de définition de l'environnement de voisinage.

La deuxième phase expose le matériel, c'est-à-dire les bases de données utilisées pour caractériser l'environnement de voisinage et leur fine échelle d'analyse : cellules de 250\*250m d'un maillage carré.

---

### **II.1.1. Zone d'étude**

Notre zone d'étude est la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS). Elle regroupe une population d'environ 450 000 habitants au recensement de 1999.

Le choix de la communauté urbaine de Strasbourg (CUS) s'est principalement imposé pour des raisons relatives à la qualité des données de la pollution atmosphérique, disponibles et productibles par l'association locale de surveillance de la qualité de l'air (ASPA).

De plus, les effectifs annuels des cas d'infarctus du myocarde sur la CUS ainsi que la disponibilité des données sur l'asthme sont potentiellement suffisants pour les analyses que nous prévoyons de mener.

Ce choix a été effectué en concertation avec l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) lors des travaux antérieurs (projet PAISA et PAISIM (1)).

### **II.1.2. Schéma de définition et de caractérisation de l'environnement de voisinage**

La synthèse de la littérature que nous avons menée (en première partie), nous a permis de retenir les éléments caractérisant, au mieux, l'environnement de voisinage, susceptibles d'influencer l'état de santé des individus, et plus particulièrement l'asthme et les pathologies cardiaques.

Afin de préciser ces définitions (éléments) contextuelles de l'environnement de voisinage, nous nous sommes intéressés à la perception des citoyens sur la qualité de vie.

#### **II.1.2.1. Etat de la question en France**

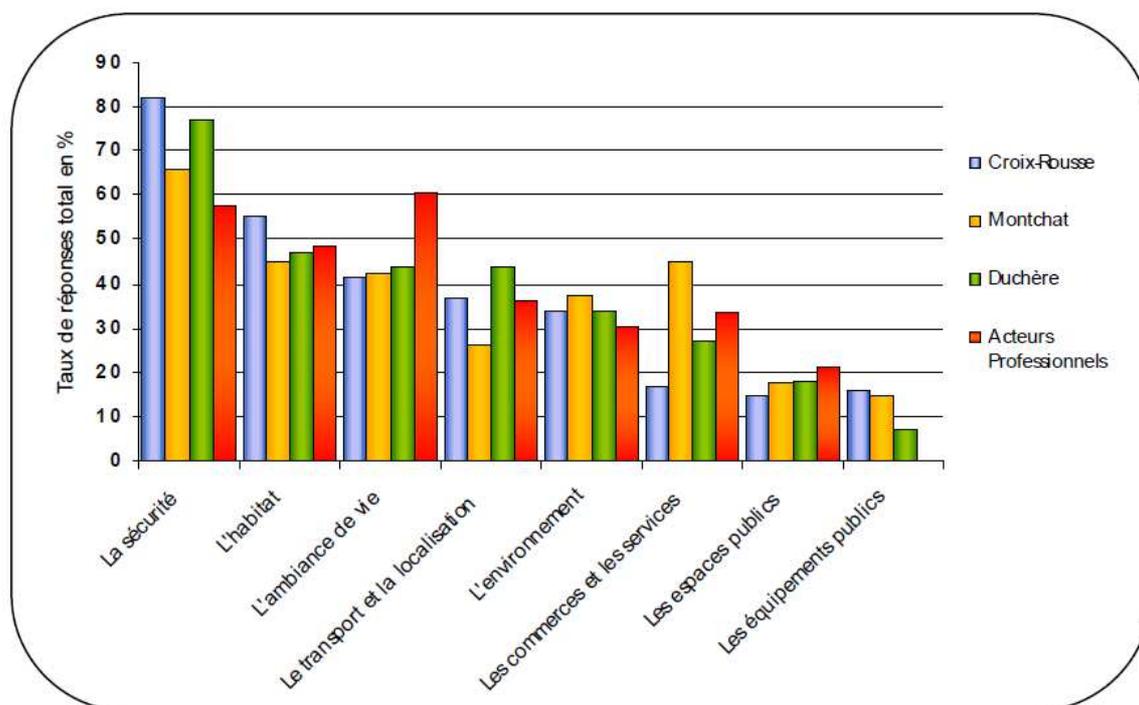
La réflexion sur l'environnement de voisinage (lieu de résidence) est encore récente en France. Par ailleurs, peu de travaux ont été réalisés à ce jour sur le lien entre le contexte de voisinage et les événements sanitaires.

Néanmoins, la question de l'environnement de voisinage, plus précisément, de la qualité de vie, a été abordée par le CERTU (2006) dans ses travaux de recherche (2).

Cette étude, conduite sur l'agglomération Lyonnaise, s'est intéressée de plus près à l'évaluation et l'analyse des disparités spatiales de la qualité de vie quotidienne. Ces travaux menés par le Certu sur le territoire de Lyon avaient comme objectif de déterminer les critères qui définissent la qualité de vie. Au total, lors de l'enquête réalisée dans cette étude, l'échantillon comptait 303 habitants réparti de manière suivante : 101 questionnaires pour le quartier *Centre Croix-Rousse*, 102 questionnaires pour le quartier *Montchat-Chambovet* et 100 questionnaires pour le quartier du *Plateau de la Duchère* et 34 *professionnels* sur une période de cinq mois.

A l'issue des enquêtes menées auprès des acteurs professionnels et des habitants, les auteurs de ces travaux ont pu identifier de manière subjective les critères perçus comme essentiels à la qualité de vie.

Les résultats de ces enquêtes (résumés dans la Figure 5) fournissent une idée plus précise de la définition de l'environnement de voisinage adaptée au contexte français, en établissant des liens avec la littérature internationale.



© BARBARINO-SAULNIER Natalia, 2004.

**Figure 5.** Classement des thèmes par ordre d'importance pour le maintien de la qualité de la vie

D'après l'étude du CERTU, 2006 (2)

### II.1.2.2. Choix des éléments contextuels pour caractériser l'environnement de voisinage

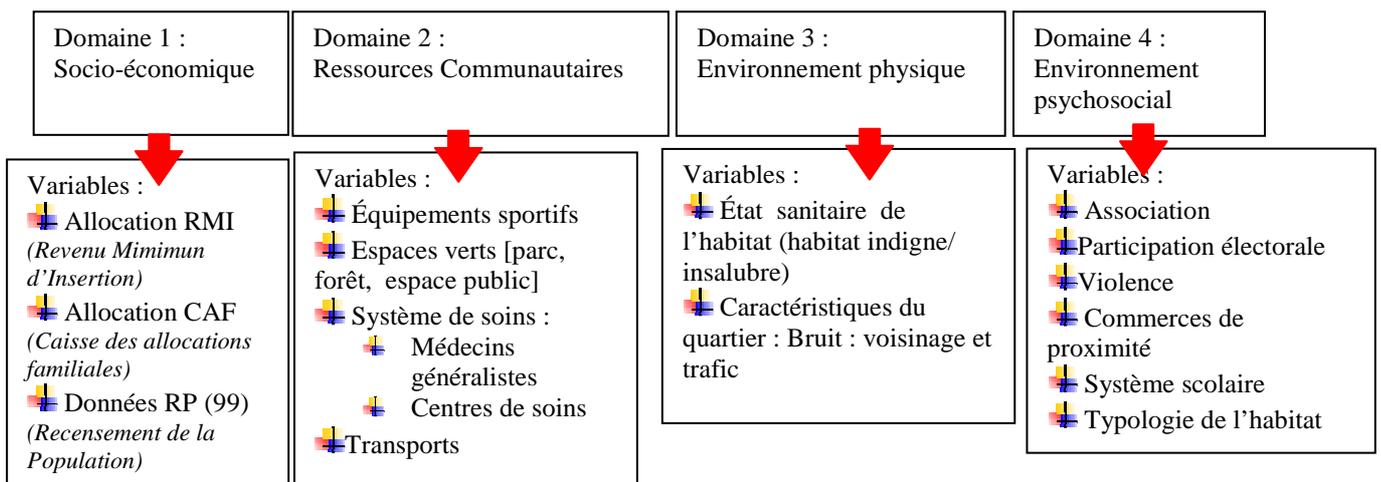
Suite aux constats de l'étude du CERTU, et à l'instar des schémas des mesures contextuelles britanniques, nous avons entrepris une démarche de caractérisation d'un environnement de voisinage en employant 4 domaines qui illustrent les 4 thèmes décrits dans la littérature (3) : l'environnement socio-économique, la disponibilité des ressources publiques, l'environnement physique et l'environnement psychosocial ou encore appelé la cohésion communautaire (sociale) (Figure 6).

L'environnement socio-économique, décrit dans le premier domaine, reflète les différents aspects de la défaveur matérielle et sociale, étudiés habituellement dans la littérature, à l'aide des indices composites (4, 5) ou encore par le biais des mesures proxy (6-9).

Le deuxième domaine, consacré à la disponibilité des infrastructures, résume l'accessibilité à certaines ressources qui influencent d'une manière générale l'état de santé, directement (10, 11) ou indirectement (12, 13).

Le domaine 3 décrit l'environnement physique extérieur et intérieur. Il résume les caractéristiques du logement (14, 15) et de l'environnement extérieur des rues, qui reflètent les conditions de voisinage des habitants strasbourgeois.

L'environnement psychosocial exploré dans le quatrième et dernier domaine résume le degré de volontariat et le niveau d'intéressement des individus au bon fonctionnement et à la gestion de leur quartier et de ce qui les entoure. Ceci permet d'aborder le degré de convivialité et le dynamisme territorial du lieu tel qu'examiné dans la littérature (16-19).



**Figure 6.** Eléments contextuels retenus pour caractériser l'environnement de voisinage

### **II.1.3. Données contextuelles**

#### **II.1.3.1. Identification et localisation des données disponibles**

Nous avons cherché le plus grand nombre de données possibles qui décrivent, au mieux, les 4 domaines identifiés et qui permettent une analyse complète de l'environnement de voisinage. Nous avons sollicité de nombreux organismes : la Caisse d'Allocations Familiales du Bas-Rhin (CAF), la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS), la Chambre de Commerce et de l'Industrie (CCI), la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), l'Inspection académique, le Conseil régional du Bas-Rhin, le Conseil général de l'Alsace, le Ministère de la jeunesse et des sports, etc.

Une convention avec le service d'études de la CAF du Bas-Rhin, nous a permis d'obtenir les données concernant la part de la population couverte par le RMI et les allocataires de la CAF.

Une réunion de travail a été mise en place regroupant les différents services de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), à savoir : le Service Promotion de la santé, le Service hygiène et santé, le Service Système d'informations, Télécommunication et réseaux et le Service Programmation et conception urbaines pour obtenir des données recueillies par les divers services.

Les données obtenues à l'issue de nos nombreux entretiens et réunions avec les différents services sollicités sont résumées dans le tableau 5.

#### **II.1.3.2. Disponibilité des données**

La contrainte majeure que nous avons rencontrée est la couverture spatiale des données contextuelles. Nous avons constaté que la disponibilité de certaines données est restreinte à la ville de Strasbourg. C'est le cas pour les données du bruit de voisinage et des habitats insalubres répertoriés en fonction des plaintes disponibles, qui ne sont disponibles, d'une manière exhaustive, qu'au sein de la ville de Strasbourg. Au niveau des autres communes, le recueil de cette information n'est ni centralisé ni de format standardisé : chaque commune traite la donnée de manière différente. Dans le cadre de ce travail, il n'était pas envisageable de construire un cadre d'analyse pour ces données.

D'autres données ne sont pas du tout disponibles, ni à l'échelle de la CUS, ni à l'échelle de Strasbourg, c'est le cas de la violence dans les quartiers, et du bruit lié au trafic. Ces données restent très sensibles, et leur utilisation dans le domaine de la recherche n'est pas courante. A notre connaissance, en France, aucune étude n'a utilisé ces données à l'échelle infra-communale.

### **II.1.3.3. Métadonnées des données recueillies**

Avant toute analyse, nous avons produit des métadonnées associées aux données que nous avons collectées. Ce traitement consiste à renseigner les différents éléments d'une variable pour en apprécier la qualité : comme la source, le type de données (statistique ou cartographie), le mode d'acquisition, le volume du jeu de données, la précision spatiale, la couverture spatiale et la date de la dernière mise à jour des données. Des informations complémentaires sont aussi renseignées telles que les contraintes d'accès (droits éventuels et coûts), ou encore les contraintes d'utilisation (droits éventuels). Les données du fournisseur référent et celle du contact au sein de la structure, sont également importantes.

### **II.1.4. Bases de données géographiques : Données et informations spatiales**

D'autres données et informations spatiales, notamment des bases de données géographiques, ont été mises à notre disposition par l'Institut de Géographie National (IGN) et la Coopération de l'Information Géographique d'Alsace (CIGAL). Ces bases de données sont décrites plus en détail dans l'*Annexe N°1 (Bases de données et informations spatiales)* de ce travail.

**Tableau 5.** Synthèse des données collectées pour caractériser l'environnement de voisinage

Domaine	Thème	Variabes	Base de données (Année/résolution)	Fournisseurs
Domaine 1 : environnement socio-économique	<b>Population</b>	Population	Recensement Général de la population (1999/ IRIS)	INSEE (1999) (Institut national de la statistique et des études économiques)
		Proportion d'étrangers		
	<b>Emploi</b>	Taux de chômage		
		Taux d'ouvriers parmi les actifs, Taux d'emplois stables		
		Taux d'emplois précaires		
	<b>Education</b>	Proportion de personnes de 15 ans et plus sans diplôme		
		Proportion de personnes de 15 ans et plus avec Brevet, Bac		
		Proportion de personnes de 15 ans et plus avec bac +2		
	<b>Famille</b>	Proportion de familles monoparentales		
	<b>Ménage</b>	Proportion de ménages sans voiture		
Proportion de ménages avec 2 voitures				
<b>Revenu</b>	Proportion de la population couverte par les allocations CAF <sup>1</sup>	Fichier de la CAF (2008/IRIS)	CAF du Bas-Rhin Service Etudes et Statistiques	
	Proportion de la population couverte par le RMI <sup>2</sup>			
Domaine 2 : ressources publiques	<b>Système de soins</b>	Localisation des médecins	Répertoire ADELI : (2007/ adresse)	DRASS (Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales)
		Localisation des centres de soins	FINESS (2008/ adresse) (Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux)	DRASS
	<b>Espaces verts publics</b>	Localisation et surface des espaces verts publics	Fichier en Format Shape des espaces verts de la CUS, et BD occupation du sol (2003)	CUS et CIGAL
	<b>Equipements sportifs</b>	Localisation des équipements sportifs	Base de données RES (2008/coordonnée GPS) (Recensement des Equipements Sportifs)	D.R.D.J.S. Alsace et Bas-Rhin (Direction départementale de la jeunesse et des sports)

**Suite du Tableau 5.** Synthèse des données collectées pour caractériser l'environnement de voisinage

<sup>1</sup> CAF : Caisse des Allocations Familiales

<sup>2</sup> RMI : Revenu Minimum d'Insertion

Domaine	Thème	Variables	Base de données (Année/ résolution)	Fournisseurs
Domaine 3 : environnement physique	Milieu extérieur	Habitat insalubre	Fichier des plaintes pour insalubrité (2000-2008/ adresse)	Service hygiène et environnement (CUS)
	Milieu extérieur	Gêne extérieure	Fichier des plaintes du voisinage (2000-2008/ adresse)	Service hygiène et environnement (CUS)
Domaine 4 : environnement psychosocial	Commerce de proximité	Localisation des commerces	Fichier SIRENE (2005/ adresse géolocalisée)	CUS
		Localisation des marchés	Fichier de recensement des marchés (commerces ambulants) (2008/ adresse du lieu)	
	Caractérisation du système éducatif	Violence	Base de données SIGNA (2005/ établissements)	Ministère de l'éducation
		Classement des établissements sensibles	Fichier de classement ministériel (2008/ établissement)	Inspection d'académie
		Primaire et élémentaire en ZEP	Fichier de classement (2008/ établissement)	Service Accueil et Vie Scolaire (CUS)
		Collège ZEP et AR	Fichier de classement (2008/ établissement)	Inspection de l'académie de Strasbourg
		Carte scolaire des établissements primaire et collège	Base de données de sectorisation (2007)	Conseil général du Bas-Rhin
Lycées	Base de données de sectorisation (2007)	Conseil régional		
Domaine 4 : environnement psychosociale	<b>Participation Electorale</b>	La participation électorale	résultats définitifs 1er tour et 2ème tour (2000 à 2008/ bureau de vote ; adresse)	Mairie de Strasbourg (bureau des Elections)
	<b>Tissu associatif</b>	Association	Fichier SIRENE (2005/ adresse géolocalisée)	CUS
		Typologie du tissu associatif : Religieux, politique, bénévolat	Fichier SIRENE (2005/ adresse géolocalisée)	CUS

## II.1.5. L'unité statistique et le choix de l'échelle de l'analyse

L'hétérogénéité des données recueillies pour caractériser l'environnement de voisinage est visible au travers des échelles spatiales, des dates de collecte, de l'exhaustivité des données. Les diverses unités spatiales associées aux données collectées ne sont pas nécessairement cohérentes entre elles ou hiérarchiques (tableau 5). Les zonages administratifs semblent inadéquats, car ils ne tiennent pas compte des structures sociales et spatiales réelles. Aussi, leurs limites ne sont pas forcément pertinentes lorsqu'elles doivent être utilisées à d'autres fins que celles qui ont déterminé leur construction.

### II.1.5.1. Mise en place du carroyage

Nous avons, donc, cherché une solution robuste, pour définir une unité statistique arbitraire (non-prédéfinie) et commune aux différentes données recueillies : un carroyage<sup>22</sup> a été créé. Ainsi, toutes les données disponibles aux différentes unités spatiales ont été ventilées selon un même référentiel : la cellule. Le territoire de la ville de Strasbourg a été découpé en 5127 cellules de 250 m X 250 m.

La méthode du carroyage (20) correspond à un découpage spatial neutre. L'espace est découpé suivant une grille orthonormée et géoréférencée (Figure7). La méthode permet, en appliquant une grille définie, de ventiler des valeurs associées à une information géographique initialement relevée ou représentée selon une unité spécifique à la cellule concernée. Selon la surface de recouvrement correspondante, les valeurs sont recalculées proportionnellement tout en conservant l'intégrité du total de l'information initiale. Nous avons donc construit un carroyage où chaque carré du maillage constitue l'unité statistique de base (Figure7). L'espace étudié a été découpé de manière neutre et arbitraire suivant une grille orthonormée et géoréférencée.

Pour choisir la taille de la maille, nous avons cherché à caractériser la distribution spatiale des différents éléments géolocalisés pris en compte dans la définition de l'environnement de voisinage. Pour les données ponctuelles, c'est-à-dire la localisation des lieux, comme les commerces, les centres de soins ou les médecins, etc., la méthode du plus proche voisin a été utilisée pour caractériser les semis de points correspondants (21). La surface totale introduite dans le calcul est celle de la CUS (en excluant Bleisheim d'une surface de 9,96 km<sup>2</sup>, qui compte 1368 habitants, qui a récemment été ajouté à la CUS, 2006). La distance euclidienne a été choisie pour cette partie de l'analyse.

---

<sup>22</sup> Le carroyage est défini comme « *une méthode de rassemblement et de traitement de données en vue d'une exploitation statistique et cartographique, consistant à découper l'étendue en carreaux égaux et repérés. Elle offre des avantages substantiels pour les données non numériques (présence/absence), par la possibilité de mettre en relation des variables relevant de domaines différents.....* » (20).

La distance moyenne obtenue séparant les points est en moyenne de l'ordre de 270 m. Nous avons choisi un pas de grille de 250m, proche de cette distance « moyenne » et facilitant une agrégation aisée à des niveaux supérieurs. Cette dimension de mailles, quelle que soit la variable considérée, permet d'éviter l'éclatement de certaines concentrations et pour ne pas en créer là où elles n'existent pas.

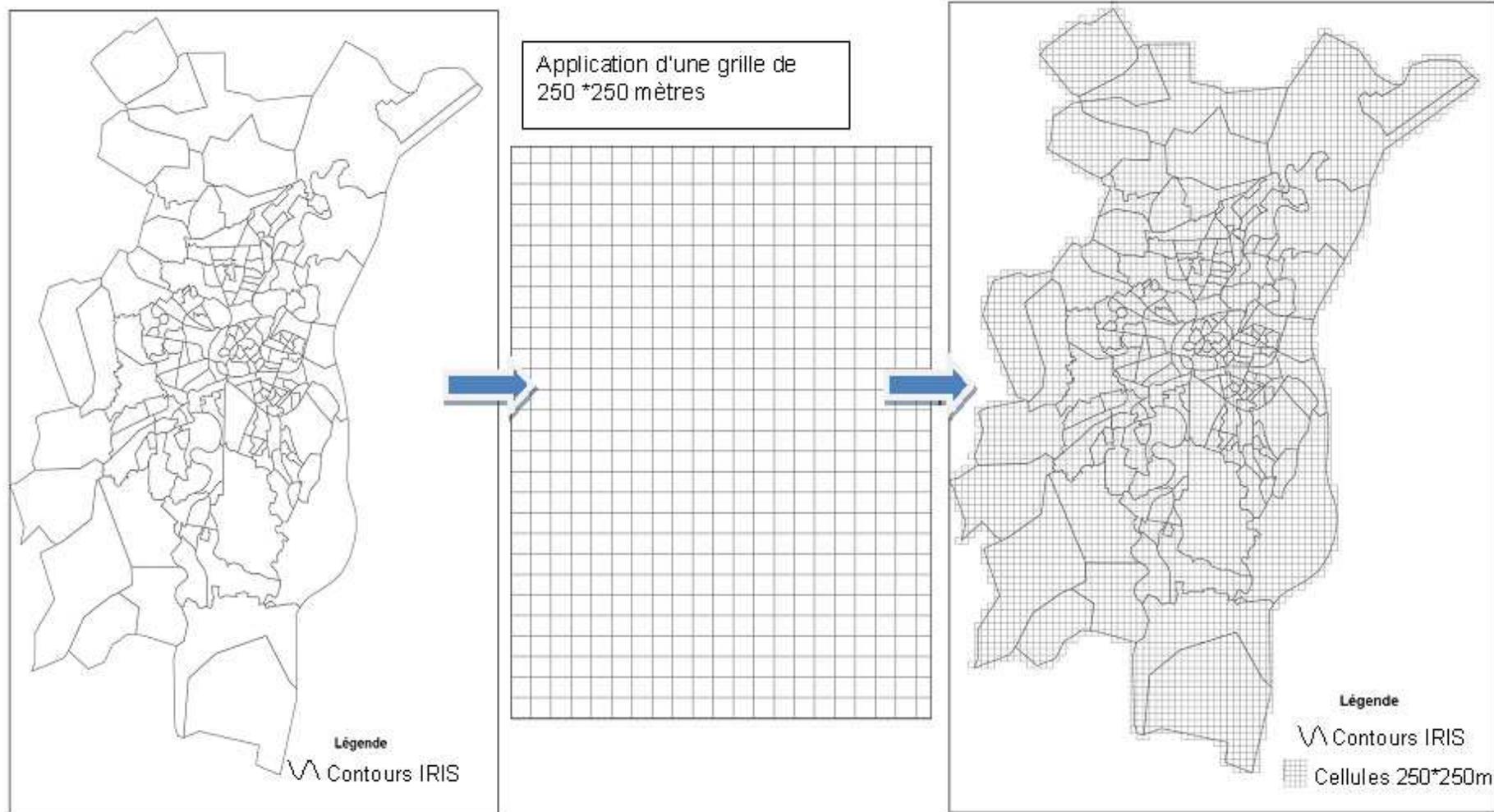
#### **II.1.5.2. Avantages de l'échelle d'analyse**

L'utilisation de ces cellules, comme unités géographiques d'observation, a un double intérêt : une analyse extrêmement fine, tout en préservant totalement l'anonymat des données.

Le carroyage a l'avantage d'être fixe, car construit et non soumis à des modifications spatio-temporelles contrairement aux limites administratives, susceptibles d'évoluer dans le temps, selon leur finalité ou pour des raisons politiques ou démographique par exemple.

L'utilisation d'un carroyage unique permet de minimiser l'effet d'échelle associé au MAUP (*Modifiable Area unit Problem*) puisque toutes les unités spatiales ont, par construction, la même surface.

En France, l'utilisation de cellule de 250mx250m a permis d'étudier le lien éventuel entre la pollution et les cas recensés d'insuffisance respiratoire sur le grand Rouen. D'autres travaux ont apporté un éclairage sur la consommation de médicaments psychotropes (tranquillisants, somnifères) (22).



**Figure 7.** Découpage de l'espace d'étude : à gauche le découpage administratif pré-défini de la CUS : l'IRIS, à droite le découpage non administratif choisi : des cellules de 250\*250 m, au milieu une grille orthonormée dont le pas est défini à 250m\*250m qui permet de découper notre espace d'étude

## Chapitre 2 : Traitement spatial des données contextuelles

---

Ce chapitre est consacré aux outils de géographie employés pour caractériser l'environnement de voisinage. La première section décrit la mise en place du SIG élaboré pour discerner, à l'échelle de la CUS, les caractéristiques locales susceptibles de définir l'environnement de voisinage. Nous présentons ensuite, en deuxième section, les traitements spatiaux des données recueillies décrites par domaine contextuel.

---

### II.2.1. Outil d'analyse : Système d'Information Géographique (SIG)

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) s'impose comme un choix pertinent lorsqu'il s'agit de traiter des données spatialisées.

Le terme de SIG désigne à la fois le traitement de l'information géographique, les outils qui permettent de développer les analyses (logiciels) et les applications qui en sont issues. De ce fait, il n'existe pas un consensus sur une définition des SIG. La finalité d'un SIG est de permettre une analyse des différentes couches de données géoréférencées et attributaires, de les mettre en relation, entre elles, afin d'en extraire de nouvelles informations (23).

Pour notre étude, c'est le système d'information géographique ArcGIS 9.3 qui a été choisi. De nombreuses fonctions de ce logiciel ont été utilisées dans les différentes approches pour la réalisation de multiples tâches.

#### II.2.1.1. Elaboration d'un modèle conceptuel de données (MCD)

Le traitement d'une problématique avec un SIG requiert une étape primordiale : la conception d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD)<sup>23</sup>.

Le modèle conceptuel de données, (Figure 8), est une représentation théorique des données recueillies et des relations qu'elles entretiennent entre elles. Les données sont structurées en classes d'objets et en attributs (représentés par des ellipses). Quant aux liens entre les données, ils sont représentés par des droites.

---

<sup>23</sup> Ce travail a été réalisé en étroite collaboration avec les ingénieurs du LIVE

Le MCD théorique que nous avons mis en place comprend 11 classes. A partir de ce MCD, différentes couches d'informations seront définies et introduites dans le SIG.

### **II.2.1.2. Représentation des données**

Il existe deux modèles pour présenter les données : le modèle vectoriel décrit tout objet par l'intermédiaire des primitives géométriques, à savoir : le point, les lignes (ou polygones) et les surfaces (polygones). Le deuxième est le modèle raster ou encore Image, représentant l'espace géographique par l'intermédiaire de cellules. La nature des données et le type d'analyse que l'on souhaite appliquer déterminent la façon de traiter nos informations spatiales. Dans notre étude, les données dont on dispose sont en format « Vecteur » et de fichiers tabulaires liés par un géocodage aux couches « table attributaire ». De ce fait, nous avons utilisé le modèle vectoriel.

Les cardinalités complètent l'information sur l'arborescence du MCD. La cardinalité<sup>24</sup> (1,\*) entre la commune et les IRIS, signifie par exemple qu'il y a une seule commune pour plusieurs (\*) IRIS, alors que (1-1), toujours entre IRIS et commune (sens inverse), signifie qu'un IRIS ne peut appartenir qu'à une seule commune.

---

<sup>24</sup> Une cardinalité, dans une association, exprime le nombre de participations possibles d'une occurrence de chaque entité à l'association.

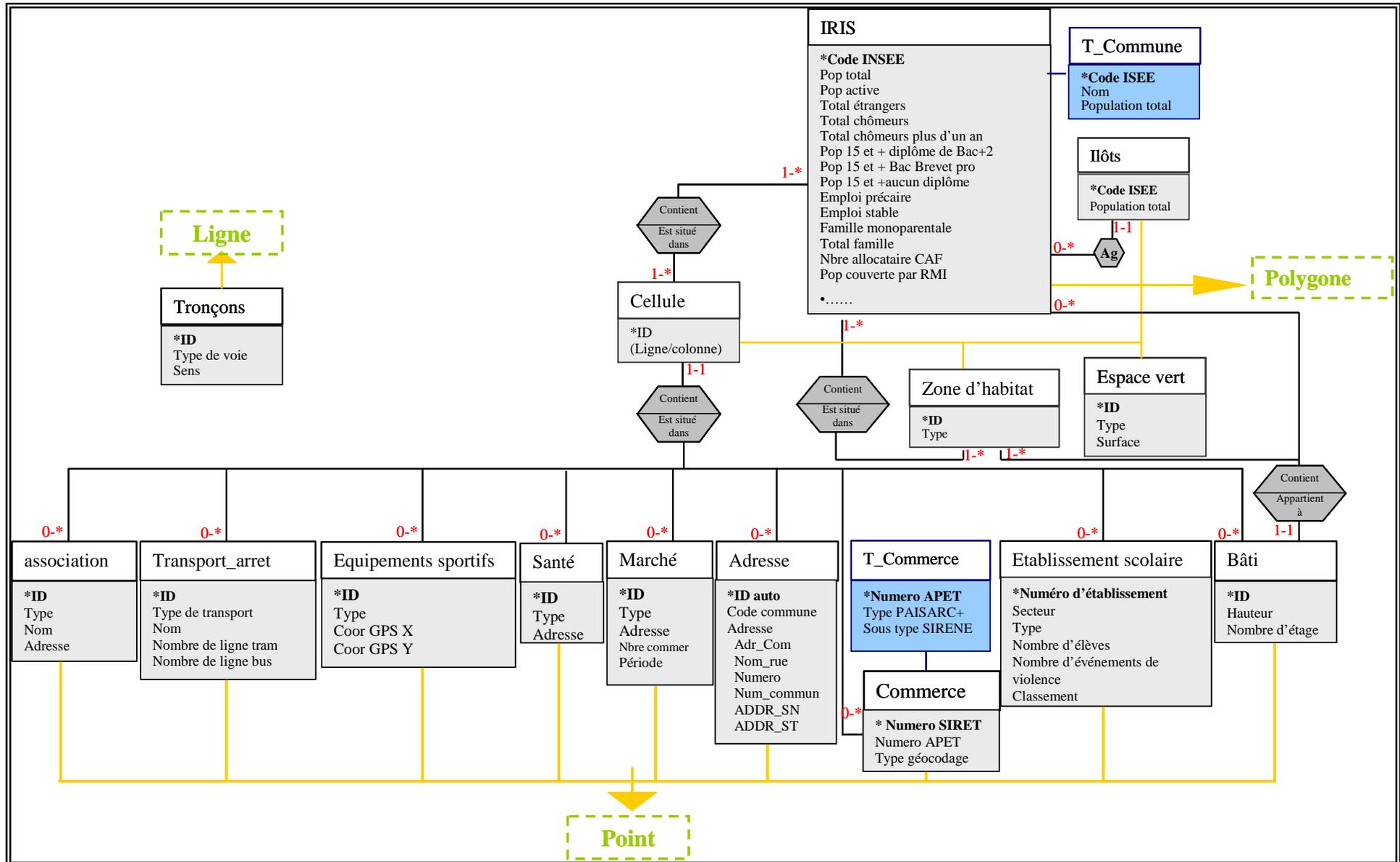


Figure 8. Représentation du Modèle Conceptuel des données (MCD), données CUS.

## **II.2.2. Traitement spatial des données**

Le traitement des données recueillies sera présenté par domaine, en tenant compte de la nature ponctuelle ou zonale des données. En effet, les méthodes de spatialisation associées sont différentes et requièrent des choix d'application spécifiques.

### **II.2.2.1. Domaine socio-économique**

Les variables qui décrivent le statut socio-économique de notre zone d'étude sont principalement les données du recensement de la population ainsi que les données fournies par les services de la CAF.

Elles sont de nature zonale, fournies à l'échelle des IRIS pour le recensement de la population (RP). De nombreux travaux expliquent cependant que les données zonales, telles que les données obtenues lors du RP de 1999, peuvent être reportées dans un carroyage.

#### ***II.2.2.1.1. Principe de la méthode de désagrégation***

Les méthodes de ventilation (appelée aussi désagrégation) des données s'effectuent selon un principe général purement géométrique ; ainsi le pourcentage d'informations transférées est fonction de la surface occupée par la zone de départ dans la cellule du carroyage. Cette solution suppose, évidemment, que l'information initiale soit répartie uniformément sur la zone « équirépartition spatiale du phénomène ».

Or, l'espace n'est pas isotrope. Cette contrainte peut être dépassée si l'on dispose d'informations sur la zone initiale permettant de préciser la localisation des phénomènes au sein des cellules.

Nous avons donc cherché des méthodes qui nous permettent d'estimer nos données à l'échelle des cellules du carroyage sans pour autant rompre l'hypothèse d'une répartition homogène ou d'« équirépartition » (d'autres modèles de ventilation fondés sur les probabilités auraient pu être développés, comme celui de Monte-Carlo, par exemple). La diversité des données nous a conduits à choisir une ventilation plus simple mais tout aussi robuste.

Une étude portant sur les méthodes d'estimation de la population a retenu notre attention. Ces travaux ont été menés par le Centre d'études Techniques de l'Équipement Normandie-Centre (24)<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Etude menée par le Centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. A la différence de cette CETE-Normandie, où les auteurs ont estimé la population à l'échelle de l'îlot à partir des données recensées à l'IRIS, nous avons estimé la population à une échelle plus fine : les cellules d'une grille.

**II.2.2.1.2. Descriptif des différentes approches**

Nous avons mis en place 3 approches en fonction des informations liées à la répartition des bâtiments, apportées par des bases de données géographiques : la base d'occupation du sol BDOCS2000©CIGAL et la BD topographique©IGN (*cf. Annexe N°1*), ainsi que des informations complémentaires permettant de préciser ces localisations (*pour plus de détail voir note méthodologique N°1 : analyse spatiale*). L'hypothèse sous-jacente est que la population et les données s'y référant sont localisées dans des bâtiments de résidence idéalement :

- *La méthode de désagrégation simple M1* (BDCONTOURS IRIS) ne nécessite pas de données spécifiques. L'hypothèse émise dans cette méthode est l'équirépartition de la population sur la totalité de la surface des IRIS, unité de base du RP. Cette approche estime les données selon la formule suivante :

$$\text{Population} = P_1 * \frac{\text{surface}_1}{\text{Surface IRIS}_1} + P_2 * \frac{\text{surface}_2}{\text{Surface IRIS}_2} + \dots + P_n * \frac{\text{surface}_n}{\text{Surface IRIS}_n} \quad \text{(Équation 1)}$$

Surface<sub>1</sub> : Surface de l'IRIS<sub>1</sub> qui participe à la cellule ; P<sub>1</sub> : population de l'IRIS<sub>1</sub>; Surface IRIS<sub>1</sub> : Surface totale de l'IRIS<sub>1</sub>

Surface<sub>2</sub> : Surface de l'IRIS<sub>2</sub> qui participe à la cellule ; P<sub>2</sub> : population de l'IRIS<sub>2</sub>; Surface IRIS<sub>2</sub> : Surface totale de l'IRIS<sub>2</sub>

Surface<sub>n</sub> : Surface de l'IRIS<sub>n</sub> qui participe à la cellule ; P<sub>n</sub> : population de l'IRIS<sub>n</sub>; Surface IRIS<sub>n</sub> : Surface totale de l'IRIS<sub>n</sub>

- *La méthode de désagrégation selon l'occupation du sol M2* (BDOCS2000). Dans cette approche nous supposons que la population se répartit de manière homogène sur la surface bâtie. Cette approche estime la donnée suivant la formule ci-dessous :

$$\text{Population} = P_1 * \frac{\text{surface}_1}{\text{Surface IRIS}_1} + P_2 * \frac{\text{surface}_2}{\text{Surface IRIS}_2} + \dots + P_n * \frac{\text{surface}_n}{\text{Surface IRIS}_n} \quad \text{(Équation 2)}$$

Surface<sub>1</sub> : Surface bâtie de l'IRIS<sub>1</sub> qui participe à la cellule ; P<sub>1</sub> : population de l'IRIS<sub>1</sub>; Surface IRIS<sub>1</sub> : Surface habitable totale de l'IRIS<sub>1</sub>

Surface<sub>2</sub> : Surface bâtie de l'IRIS<sub>2</sub> qui participe à la cellule ; P<sub>2</sub> : population de l'IRIS<sub>2</sub>; Surface IRIS<sub>2</sub> : Surface habitable totale de l'IRIS<sub>2</sub>

Surface<sub>n</sub> : Surface bâtie de l'IRIS<sub>n</sub> qui participe à la cellule ; Surface IRIS<sub>n</sub> : Surface bâtie totale de l'IRIS<sub>n</sub>; P<sub>n</sub> : population de l'IRIS<sub>n</sub>

➤ La méthode de désagrégation selon l'occupation des bâtiments M3 (DB Topographique) estime la population dans les cellules selon trois hypothèses possibles :

☞ Soit on postule que l'équirépartition des données est fonction du nombre de bâtiments (M3-a) : l'estimation de la population des cellules est obtenue selon la formule suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Population} = \sum_{i=1}^n P_i \\ P_i = \frac{P_{IRIS\ i}}{I_{IRIS\ i}} \end{array} \right. \quad \text{(Équation 3)}$$

$P_{IRIS\ i}$  : population de l'IRIS<sub>i</sub>  
 $I_{IRIS\ i}$  : nombre de bâtiments dans l'IRIS<sub>i</sub>

☞ Soit on postule que l'équirépartition des données est fonction de la surface au sol des bâtiments<sup>26</sup> (M3-b) : l'estimation de la population des cellules est obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Population} = \sum_{i=1}^n P_{IRIS\ i} * \frac{\sum_{b=1}^n \text{surface bâtiment}_i}{\text{surface totale au sol des bâtiments de l'IRIS}_i} \quad \text{(Équation 4)}$$

Où : Surface bâtiment = surface au sol

☞ Soit on postule l'équirépartition des données est fonction de la volumétrie des bâtiments<sup>7</sup> (M3-c) : l'estimation de la population des cellules est obtenue selon la formule suivante (CERTU, 2005) (25):

$$\text{Population} = \sum_{i=1}^n P_{IRIS\ i} * \frac{\sum_{b=1}^n \text{surface bâtiment}_i}{\text{surface totale des bâtiments de l'IRIS}_i} \quad \text{(Équation 5)}$$

Où : Surface bâtiment = Surface au sol \* Nombre d'étages habitables  
 Nombre d'étages habitables = [Hauteur du bâtiment]/3  
 (La hauteur moyenne d'un étage étant estimée à 3 m)

<sup>26</sup> Bâtiment : bâti localisé dans une zone habitable

### II.2.2.1.3. *Test de comparaison et validation*

Pour valider et comparer les différentes approches présentées ci-dessus, nous avons adopté la démarche proposée par le centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (24). Cette approche consiste à estimer la population des îlots (dont la population est connue) à partir d'une échelle de zonage supérieure : l'IRIS (dont la population est connue). Après ventilation des données des IRIS vers les îlots, plusieurs indicateurs sont calculés afin d'examiner l'écart d'estimation entre les données zonales et les données réelles. Les différences obtenues permettront de déterminer les marges d'erreur inhérentes à chaque approche.

Pour chaque îlot, deux estimations des erreurs sont effectuées, l'*écart absolu* (cf. équation 6) et l'*écart relatif* (cf. équation 7), pour évaluer l'écart entre la population estimée (par chaque méthode) et la population prise comme référence. Le premier écart présente les marges d'erreur en nombre d'individus et la seconde estime l'écart en pourcentage.

$$\Delta\_absolu = |population\ estimée - population\ réelle\ (du\ RP99)| \quad (\text{Équation 6})$$

$$\Delta\_relatif = \frac{|population\ estimée - population\ réelle\ (du\ RP99)|}{population\ réelle\ (du\ RP99)} * 100 \quad (\text{Équation 6})$$

Pour avoir une idée sur l'erreur moyenne et limiter l'importance des écarts des îlots très peu peuplés, nous avons calculé des écarts relatifs pondérés (cf. équation 8). Cet indicateur pondéré par la population réelle des îlots semble plus pertinent pour tester la validité de ces méthodes sur l'ensemble de l'échantillon.

$$\Delta\_moyen\ pondéré = \frac{\sum_{ilots} \Delta\_relatif * Population\ réelle\ (RP99)}{\sum_{ilots} Population\ réelle\ (RP99)} \quad (\text{Équation 7})$$

#### ***II.2.2.1.4. Evaluation de la précision des estimations***

L'analyse exploratoire des données a été réalisée au début en cartographiant les données estimées pour examiner visuellement la répartition des variables générées par la désagrégation simple (M1) et complexe selon l'occupation du sol (M2), la densité de bâtiments (M3-a), la surface au sol des bâtiments (M3-b), la volumétrie (M3-c).

En comparant les cartes de population par cellule et par IRIS (Figure 9), nous avons noté un gain de lisibilité évident pour le carroyage. Le dessin des frontières administratives (IRIS) disparaît pour laisser place à une information thématique exprimée sous forme de carreaux dont le niveau de gris exprime l'étendue des valeurs. Une finesse de résultats plus satisfaisante pour la suite des travaux est remarquable. Certes, la forme urbaine de Strasbourg disparaît en partie, mais l'essentiel est de visualiser l'information géographique.

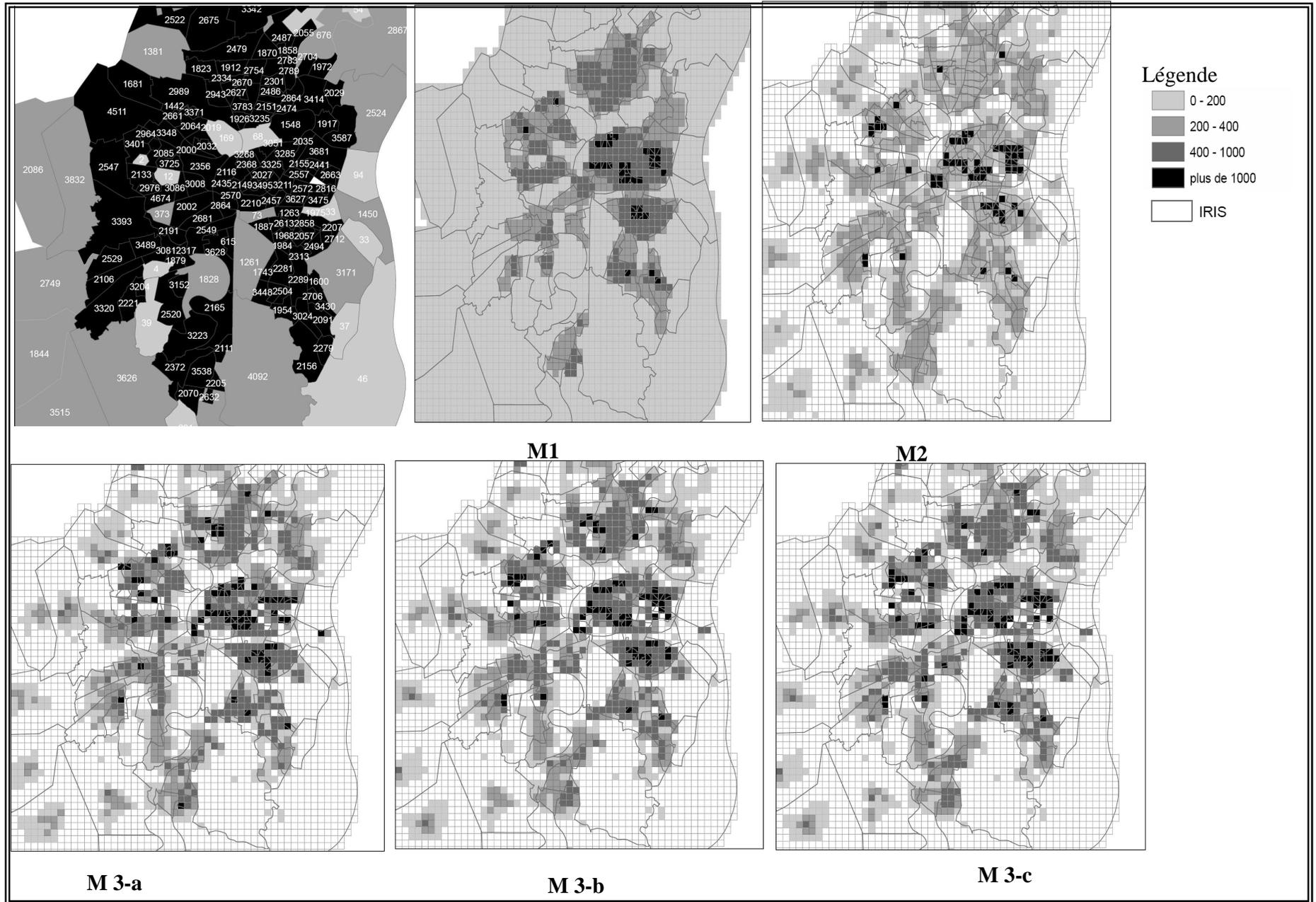
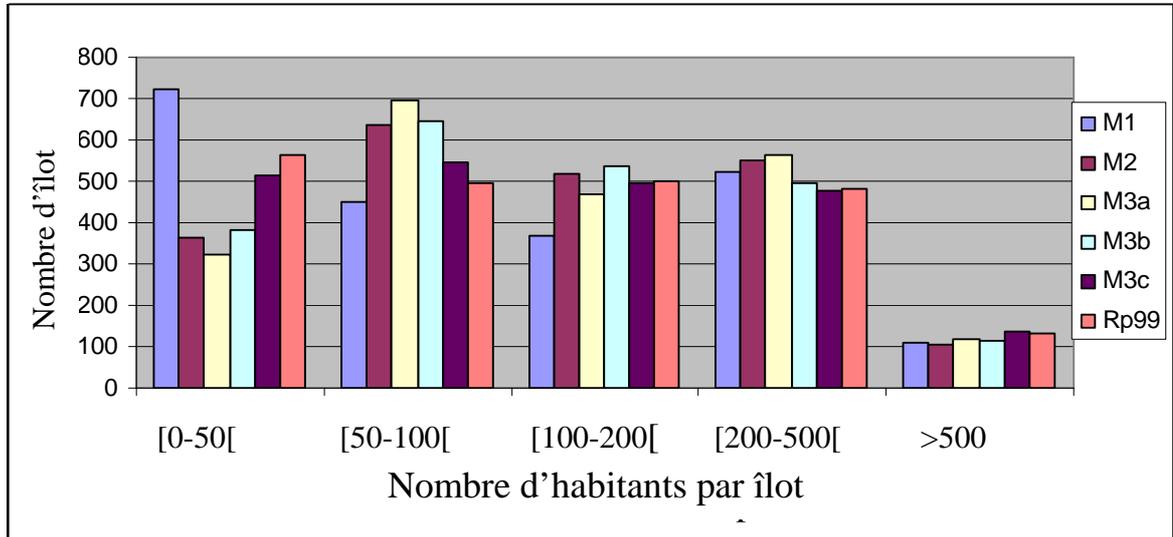


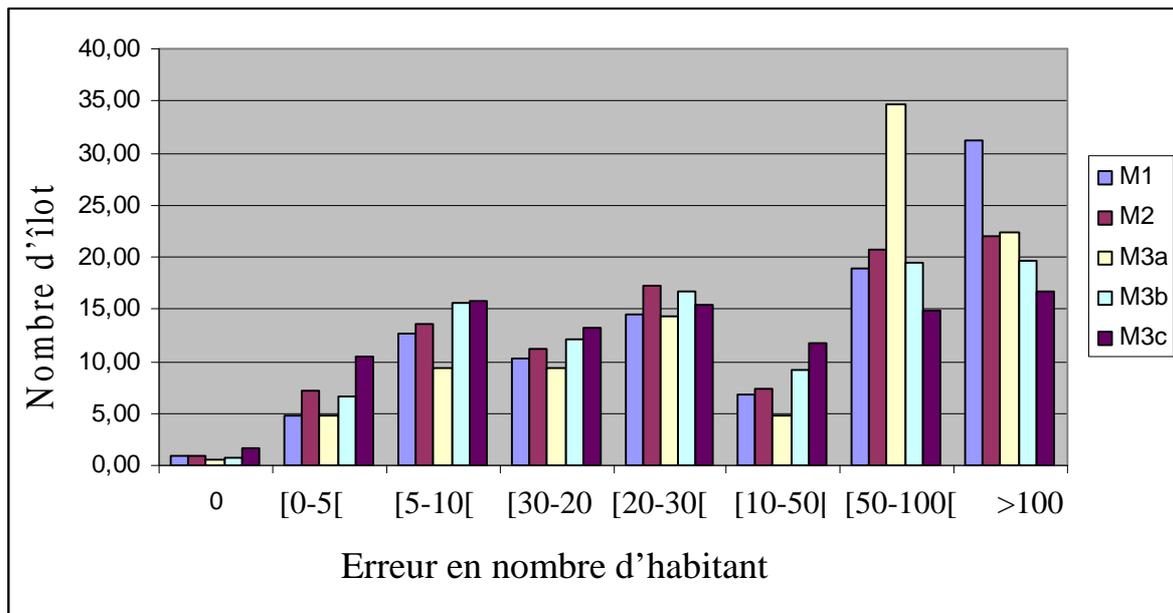
Figure 9. Cartographie des estimations du nombre d'habitants selon les différentes approches (M1, M2 et M3 (a,b,c))

La Figure 10 illustre la répartition de la population sur les îlots, selon chacune des méthodes. Les résultats les plus satisfaisants, par comparaison avec les données de référence, sont ceux d'une ventilation contrainte par des informations de bâti et plus particulièrement de la volumétrie du bâti.



**Figure 10.** Répartition de la population estimée et de référence

Les résultats contenus, dans la Figure 11, représentent les écarts mesurés en nombre d'habitants (équation 6).



**Figure 11.** Répartition des erreurs relatives en nombre d'habitants

Les résultats, présentés dans le Tableau 6, montrent une *erreur moyenne* d'une centaine d'habitants en utilisant M1 et M3-a, de 70 habitants pour M2 et M3-b, et d'une cinquantaine d'habitants pour M3-c. Pour la moitié de l'effectif, l'erreur est de moins de 60 habitants (M1 et M3-a), de moins de 40 (M2 et M3-b) et de 27 habitants pour la M3-c.

Rapportée à la population réelle de l'IRIS, l'erreur moyenne est de 272 % pour M1 et de 67% pour M3-c. Mais la moitié des îlots a une erreur inférieure à 27%. Ceci implique des écarts importants parmi les îlots.

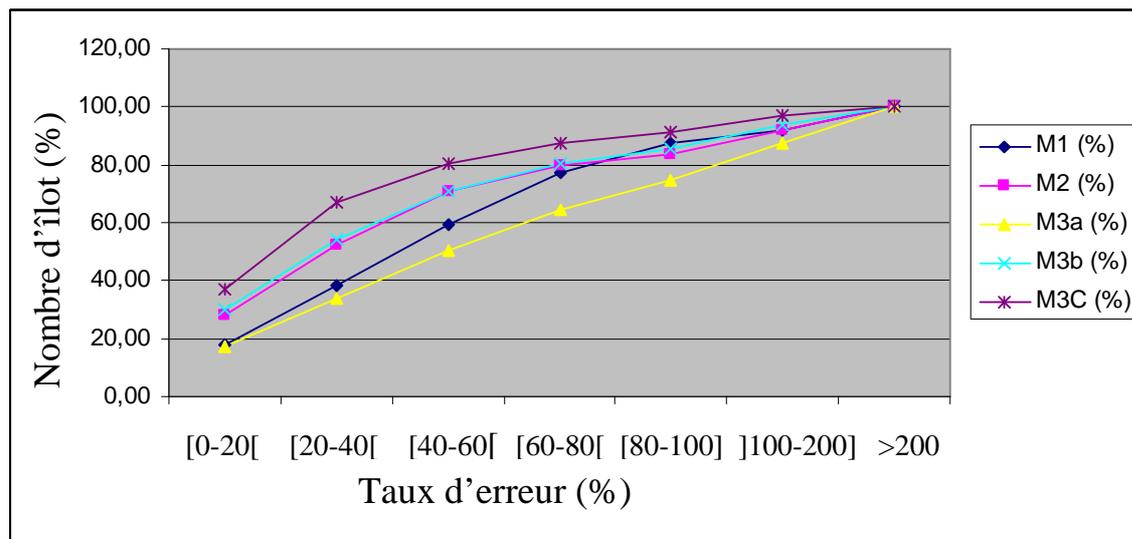
**Tableau 6.** Résultats de comparaison entre population estimée et la population de référence (INSEE)

	<i>Population de référence</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3-a</i>	<i>M3-b</i>	<i>M3-c</i>
<b><i>Nombre moyen d'habitants par îlots</i></b>	169	148	172	175	176	176
Médiane	105	80	118	116	124	113
Moyenne des écarts absolus		109	72	110	70	54
Médiane des écarts absolus		<b>50</b>	40	60	36	<b>27</b>
Moyenne des écarts relatifs		<b>272</b>	114	130	85	<b>67</b>
Médiane des écarts relatifs		<b>51</b>	36	59	36	<b>27</b>

La comparaison des estimations de population produites par les différentes méthodes avec la population de référence montre que la méthode M3-c est de loin la plus précise. La méthode la plus simple à mettre en place (M1) n'est pas la plus mauvaise et la moins précise. La méthode M3-a, utilise une base de données précise pour localiser la population, mais ne fournit pas des résultats satisfaisants : le nombre de bâtiments n'est donc pas un indicateur intéressant.

Par contre, l'utilisation de la méthode M2, apporte un gain de précision non négligeable, même si les informations concernant l'occupation des sols de la BDOCS2000 ne sont pas aussi précises que celles apportées par la BDTPOPO, pour des raisons d'échelle.

La Figure 12 présente le taux d'erreur cumulée pour chaque méthode et permet de les comparer. Plus la courbe est située au-dessus de la diagonale, meilleure est la méthode. Si on examine la courbe de la méthode M3-c, 70% des îlots présentent une erreur d'estimation de moins de 40%, alors que la courbe de la méthode M1 montre que 70% des îlots présentent une erreur d'estimation de plus de 60%. Quant à la courbe qui résulte de la méthode M3-a, elle met en évidence que 70% des îlots présentent une erreur d'estimation de plus de 80%, ce qui confirme les résultats décrits dans les histogrammes précédents.



**Figure 12.** Comparaison des méthodes d'estimation de la population

A l'issue de ces tests de validation, l'approche retenue pour désagréger le reste des données socio-économiques décrites dans le tableau 5 est l'approche M3-c qui utilise la base de données BD Topo, en se basant sur la surface habitable estimée selon la hauteur des bâtis. Le descriptif des données désagrégées est résumé dans le Tableau 7.

**Tableau 7.** Description des variables du RP99 et de la CAF désagrégées de l'IRIS vers la cellule pour caractériser l'environnement socio-économique

Données socio-économiques du RP 99	Echelle d'analyse							
	IRIS (189 IRIS)				Cellules 250*250m (1608 unités)			
	Moyenne	Min	Max	Médiane	Moyenne	Min	Max	Médiane
Population totale	2386.95	2	4885	2457	280.43	1	2586	157
Population étrangère	237.78	0	1118	189	27.94	0	762	7
Population de plus de 15 sans Diplôme	290.71	0	1165	226	34.15	0	671	14
Population de plus de 15 avec BAC	212.14	0	501	217	24.92	0	177	16
Population de plus de 15 avec BAC+2	174.78	0	464	188	20.54	0	173	12
Ménage sans voiture	264.01	0	1145	245	31.03	0	766	7
Ménage avec 2 voitures	246.84	0	882	209	29.00	0	163	22
Total des familles monoparentales	85.25	0	280	76	10.02	0	121	4
Population avec un emploi stable	765.36	1	1803	755	89.92	0	571	57
Population avec un emploi précaire	147.84	0	318	149	17.37	0	175	8
Population ouvrière	235.07	0	640	220	27.62	0	325	14
Total des chômeurs	125.59	0	433	109	14.75	0	249	5
Total des chômeurs de plus d'un an	56.20	0	199	49	6.60	0	132	2
Population couverte par les allocations de la CAF	1133.46	0	2985	1139	47.16	1	393	44
Population couverte par le RMI	117.11	0	1131	67	3.51	0	223	1

### **II.2.2.2. Domaine des ressources publiques**

Afin de caractériser les différentes ressources publiques, comme par exemple les équipements sportifs et l'espace vert, nous avons recensé différents types de données, telles que la densité d'une ressource, la distance aux plus proches ressources, le temps parcouru pour rejoindre la ressource, ou la présence/absence d'une ressource dans un rayon défini (zone tampon : buffer). Nous avons tenté d'identifier la meilleure mesure convenant à chaque ressource.

En appliquant la relation « émetteur-récepteur » (2), des indices sont calculés selon deux approches :

- soit à partir de la ressource : dans le cas où l'on considère que la ressource possède une « aire d'influence » qui est définie en fonction de ses propriétés : c'est le cas des transports en commun et des espaces verts.

- soit à partir du centroïde de la zone bâtie de chaque cellule: dans ce cas on s'intéresse à un comportement lié à un usage du territoire, tel que la distance parcourue pour atteindre une ressource, par exemple l'accès aux médecins généralistes, aux centres de soins ou aux équipements sportifs.

Les indices les plus élaborés (indice d'attractivité, de desserte et de potentialité) sont exposés plus en détail dans une note méthodologique présentée à la fin de cette partie.

#### ***II.2.2.2.1. Le niveau de desserte en transport en commun***

Le réseau de transport en commun de la CUS comprend essentiellement le tramway et les bus.

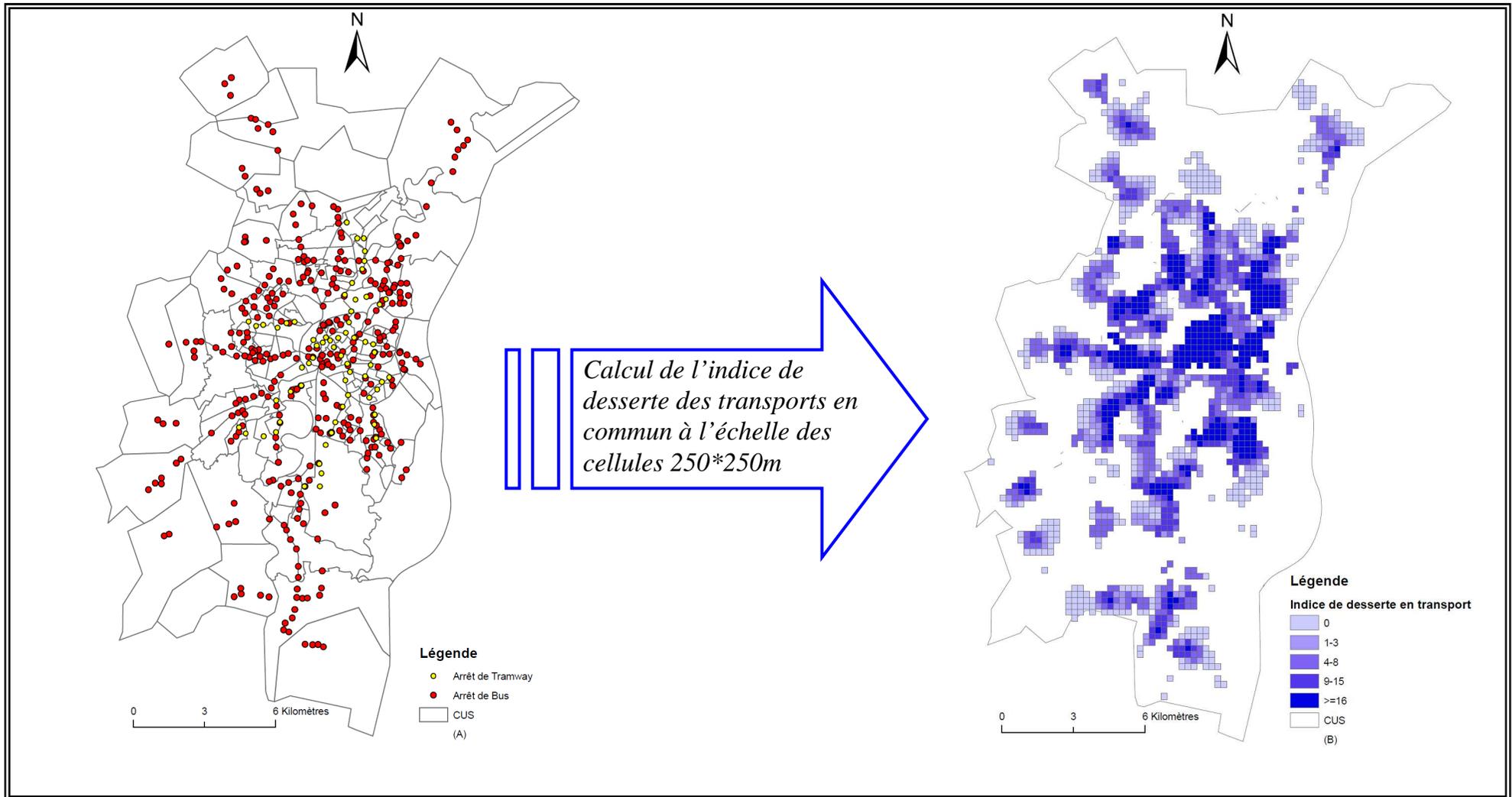
Nous disposons de deux informations concernant les transports en commun :

1. la localisation des 346 arrêts de bus et de 66 arrêts de tramway,
2. le nombre de lignes qui desservent chaque arrêt.

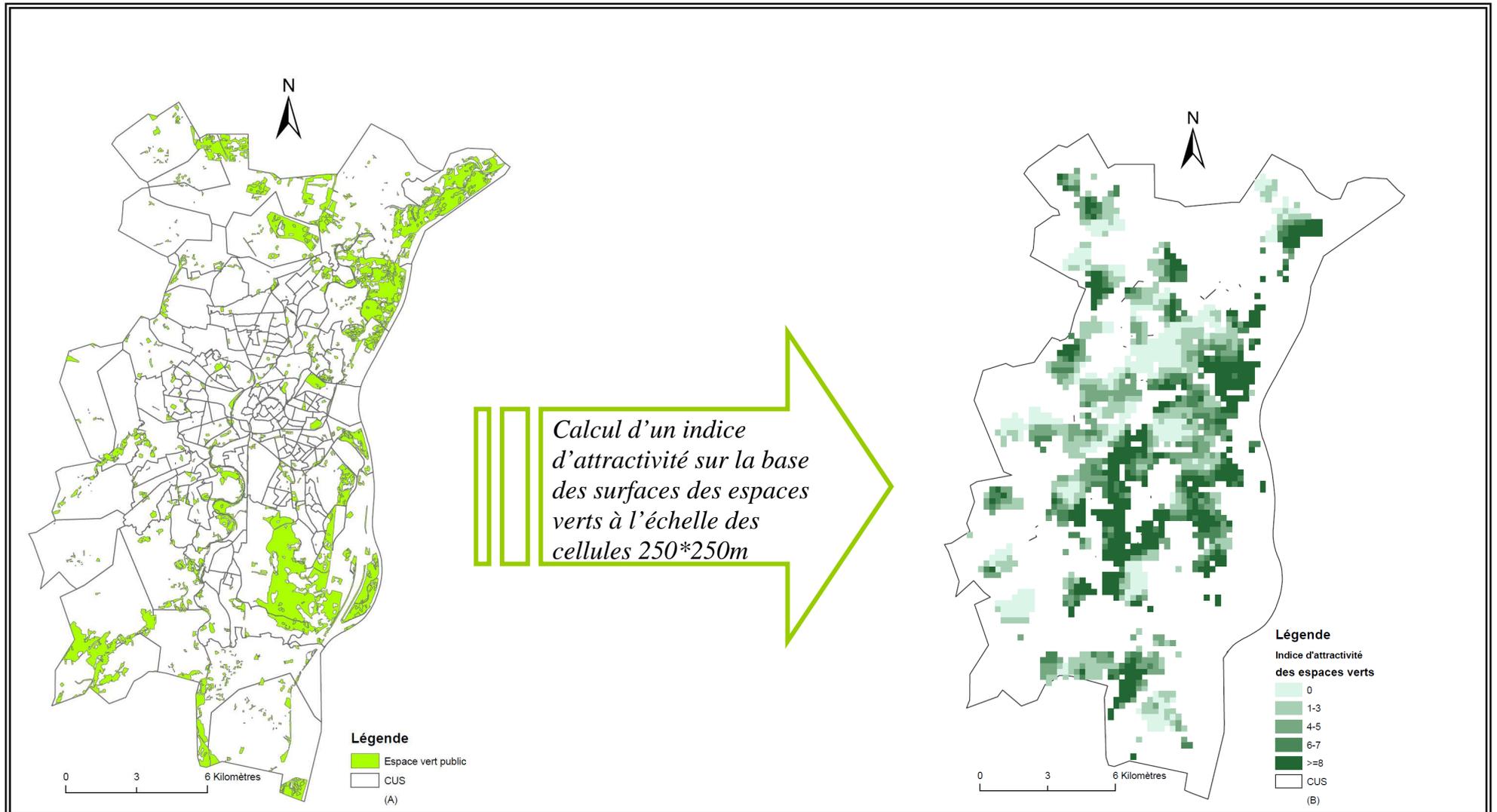
Ces données fournies par le service de la CUS et l'ASPA (Tableau 5) étaient déjà géo-localisées ; nous avons renseigné chacun des arrêts des bus et stations de tramway par le nombre de lignes qui les desservent. A partir du jeu de données construit, nous avons élaboré un indicateur d'offre proposé en transport. Sur la base de l'attractivité modale différentielle entre le réseau de bus et tramway, chaque arrêt ou station se voit attribuer une aire de rayonnement définie (arrêt de bus : 300 mètres et station de tramway : 400 mètres) (2), puis le nombre de lignes de cette aire d'influence. Chaque unité statistique (unité spatiale) incluse dans cette zone, se voit attribuer l'indice d'offre adéquat. L'indice calculé est cartographié dans la Figure 13. (*Cf. Note méthodologique N°1 : analyse spatiale*).

**II.2.2.2.2. *Espaces verts publics***

A partir des bases de données répertoriant les espaces verts publics, mises à notre disposition par le service de la CUS et CIGAL (Alsace) (cf. tableau 5) et en appliquant les connaissances empiriques d'attractivité des espaces verts (25), nous avons construit un indicateur d'attractivité qui varie de 1 à 3 en fonction de la superficie des espaces verts (1 concerne les espaces verts de moins 1 ha, 2 pour les espaces verts de 1 à 10 ha, et 3 identifie les espaces verts de plus 10 ha). A l'aide des outils SIG, nous avons pu construire des zones d'influence autour de chaque espace vert public en fonction de sa superficie (26) : 100 mètres pour les parcs de moins de 1 ha, 500 mètres pour les parcs de moins de 10 ha et 1 000 mètres pour les parcs de plus de 10 ha. Ces zones d'influences sont décomposées en bandes concentriques (100, 400 et 500 m) (2) auxquelles sont attribuées différentes valeurs de l'indice d'attraction. Par la suite, le calcul de cet indice s'effectue de manière individuelle pour chaque unité spatiale. Ainsi, l'indice d'attractivité construit est cumulatif *i.e* ; si une cellule appartient à deux zones d'attractivité, nous additionnons les deux indices (cf. Figure 14). (*Pour plus de détail voir note méthodologique N°1 : analyse spatiale*).



**Figure 13.** Cartographie de la disponibilité des transports en commun sur le territoire de la CUS, localisation des arrêts de tram et Bus (A) ; l'indice de desserte calculé (B)



**Figure 14.** Cartographie de la disponibilité des espaces verts publics sur le territoire de la CUS, (A) Sélection des espaces verts publics (parc, forêt) à l'échelle de la CUS; (B) l'indice d'attractivité calculé à l'échelle des cellules 250\*250m

### **II.2.2.2.3. Autres mesures d'indice d'accessibilité aux ressources**

Les trois ressources pour lesquelles nous avons choisi la mesure d'accessibilité comme étant la distance au plus proche voisin sont décrites ci-dessous.

#### ➤ *Système de soins et médecins généralistes*

La géo-localisation de l'ensemble des adresses fournies par la DRASS (sous Arc GIS) nous a permis de constituer une base de données géographiques homogènes et globales des systèmes de soins (centre de soins et médecins généralistes) sur la CUS. En utilisant la fonction « *network* » dans Arc Info, nous avons attribué à chaque centroïde de nos unités statistiques la distance au plus proche médecin généraliste et au centre de soins (distance routière et non euclidienne).

#### ➤ *Équipements sportifs*

Nous avons bénéficié de la mise à disposition de la base de données du RES (Recensement des Equipements Sportifs) géo-localisées établie par la D.R.D.J.S. Alsace et Bas-Rhin. Chaque centroïde se voit attribuer la distance au plus proche équipement sportif selon le réseau routier.

### **II.2.2.3. Environnement psycho-social**

Pour caractériser l'environnement psycho-social, nous avons utilisé différentes mesures proxy tant au niveau du lieu de vie (taux de participation électorale, tissu urbain, associatif, et le commerce de proximité) qu'à celui de l'environnement scolaire (les disparités scolaires).

#### **II.2.2.3.1. Potentialité commerciale**

Nous avons utilisé la potentialité des commerces de proximité comme signe de dynamisme territorial, d'un mode de vie plus convivial, et d'une certaine forme de lien social.

Afin de caractériser la potentialité en commerce de proximité, nous nous sommes inspirés d'une méthode développée par le CERTU. Cette approche prend en compte à la fois la disponibilité du commerce de proximité, qui contribue en principe à la vie quotidienne, et sa diversité.

Ainsi, le traitement spatial des deux bases de données complémentaires (le répertoire SIRENE géo-localisé et le recensement des commerces ambulants de la ville sous forme de table attributaire non géo-référencée) consiste à évaluer la potentialité commerciale dans un rayon de 200 mètres<sup>27</sup> autour du centroïde de l'unité spatiale. La valeur qui résulte de la pondération du comptage des commerces (quantité de commerces disponibles par rapport aux commerces qui existent) par leur diversité (trois types de commerce de proximité sont distingués : (i) commerce alimentaire, (ii) non alimentaire, (iii) commerce de type marché) est attribuée à chaque unité (**cf. Note méthodologique N°1 : analyse spatiale**).

---

<sup>27</sup> 200 mètres est la distance pour laquelle 50% des unités ont au moins un commerce.

#### ***II.2.2.3.2. Typologie urbaine***

Afin de caractériser la nature du tissu urbain des différentes unités spatiales étudiées, nous nous sommes basés sur les données de la BD OCS2000 (CIGAL) et la classification<sup>28</sup> selon l'usage du type de bâti CIGAL. Nous avons donc attribué à chaque cellule une typologie selon le type de bâti présent dans les cellules<sup>29</sup>. Les cellules ont été classées en 4 types d'habitats : habitat collectif ; habitat mixte ; habitat individuel ; habitat du centre ville (Figure 15).

#### ***II.2.2.3.3. Taux de participation électorale***

Les données mises à notre disposition par le bureau des élections de la Mairie de Strasbourg étaient sous forme d'Excel et papiers. Ces informations ont été traitées avant d'être intégrées au SIG. En s'appuyant sur les aires de recrutement de chaque bureau de vote et de la BD adresse (fournie par la CUS), chaque unité s'est vu attribuer le taux de participation du bureau de vote auquel elle est rattachée.

#### ***II.2.2.3.4. Tissu associatif***

La base de données SIRENE géo-localisée et bien renseignée, nous a permis de calculer le ratio du nombre d'associations pour 100 habitants dans chaque unité. Afin de compléter ce ratio, nous avons apporté une information sur la typologie des associations (religieuse, politique, autres).

#### ***II.2.2.3.5. Disparité scolaire (éducatif)***

En France, pour lutter contre l'échec scolaire, l'Éducation Nationale a élaboré en 1981 une circulaire interministérielle qui distingue 3 zones d'éducation, rompant ainsi avec l'égalitarisme traditionnel du système éducatif français (« donner plus à ceux qui en ont le plus besoin ») :

- Les zones d'éducation prioritaires (ZEP), dans lesquelles sont situées les établissements dotés de moyens supplémentaires et d'une plus grande autonomie pour faire face à des difficultés d'ordre scolaire et social,
- Les zones en ambition réussite (AR) à une échelle inférieure (moins de besoin, moins de moyen)
- Les zones non classées

L'analyse du système éducatif prend en compte deux notions : la classification des établissements en zone d'éducation prioritaire (ZEP) ou en ambition réussite (AR), ainsi que la violence dans les

---

<sup>28</sup> Classification selon l'usage du sol et non de son occupation.

<sup>29</sup> Si 90% au moins de la surface des cellules est couverte par un même type de bâti, on la considère homogène.

établissements. Nous avons recueilli des bases de données géo-localisées de tous les établissements scolaires publics de la ville de Strasbourg. Pour affiner notre analyse, nous avons tenu compte des aires de recrutement des différents établissements (cartes scolaires). Pour ce faire, l'Académie de Strasbourg et le Conseil général du Bas-Rhin nous ont fourni les périmètres de recouvrement. Nous avons ainsi procédé au géo-référencement de la totalité des données. Ainsi, à chaque centroïde de cellule sont attribués tous les établissements fréquentés (primaire, collège, lycée) sur la base de la carte scolaire. Une fois le jeu de données homogènes construit, la phase d'analyse spatiale des disparités scolaires consiste à construire un indice pour qualifier l'environnement psycho-social scolaire de chaque unité. Sur cette base nous avons construit des scores pour qualifier les établissements fréquentés par chaque cellule :

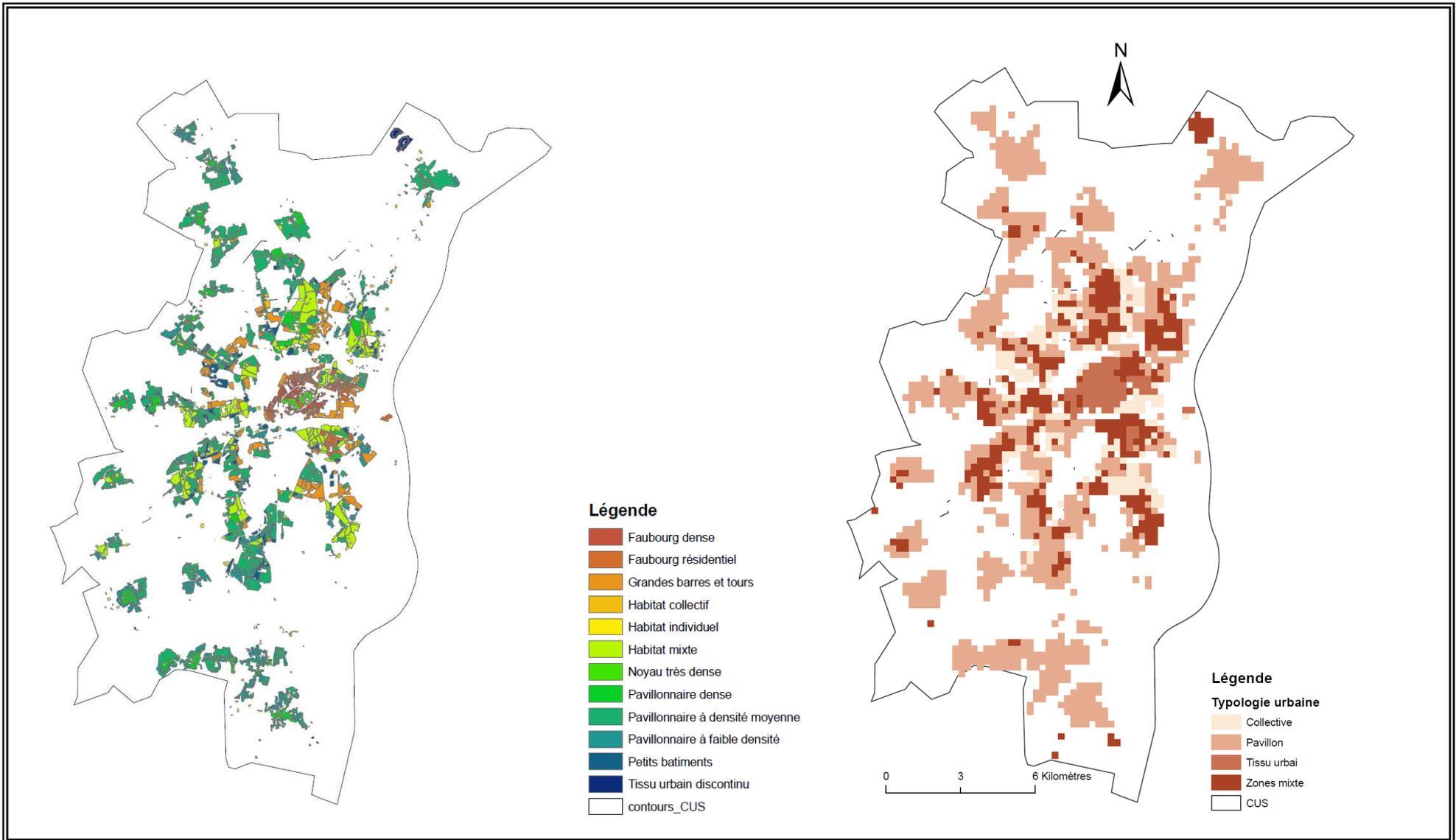
- ✓ Si tous les établissements fréquentés par une cellule sont non classés, alors l'indice attribué à l'unité est égale à 0.
- ✓ Au contraire, si tous les établissements (élémentaires et secondaires) fréquentés sont classés en ZEP, l'indice attribué à la cellule est de 6.
- ✓ Des scores intermédiaires sont attribués : si par exemple 1 seul établissement est classé en Ambition réussite, l'indice attribué à la cellule est égale à 1.

Suivant ce processus, l'indice de synthèse élaboré varie de 0 à 6 en prenant en compte le nombre d'établissements classés (primaire, secondaire) et la typologie du classement.

#### **II.2.2.4. Environnement physique : interne et externe**

L'état de salubrité des logements constitue pour nous une mesure proxy de l'environnement physique intérieur. Au stade de notre étude, il n'existe pas encore de recensement des logements insalubres sur la ville de Strasbourg. Nous avons donc utilisé les plaintes des insalubrités enregistrées par le service environnement et santé de la CUS, auprès duquel toutes les plaintes sont centralisées. Les données sont transmises sous forme d'adresses. Un travail de géocodage suivi du calcul du nombre de logements insalubres par unité a été réalisé. Quant à l'environnement de vie extérieur, nous avons utilisé les gênes extérieures recensées par le service de l'environnement et santé dans l'optique de caractériser la gêne extérieure perçue par les habitants de la ville de Strasbourg. Cet indice se traduit par le nombre de gênes perçues, conçu sur le nombre de plaintes recueillies par la ville de Strasbourg

Au final, chaque unité spatiale (statistique) est représentée par un nombre de logements insalubres et un nombre de gênes extérieures perçues.



**Figure 15.** Caractérisation de la typologie urbaine de la CUS, (A) description de l'occupation du sol BD OCSol, CIGAL, (B) synthèse de la typologie urbaine attribuée à chaque cellule (250\*250m)

### **II.2.3. Discussion**

#### **II.2.3.1. Méthodes d'analyse des données zonales : « l'approche de désagrégation »**

Nous avons utilisé 3 approches d'estimation de la population en nous basant sur l'utilisation d'outils et de concepts SIG, habituellement appliqués dans les domaines de la géographie et de l'aménagement. Les analyses des représentations cartographiques réalisées pour les estimations à l'échelle des cellules fournissent une première idée sur l'apport notable d'informations ancillaires. En effet, en utilisant des données de contrainte de localisation issues des bases de données géographiques et topographiques, les zones spécifiquement bâties ou les surfaces habitables, la distribution des valeurs de population est plus précisément définie.

La précision des différentes approches a été évaluée, en estimant la population des îlots par rapport à une population de référence : celle de l'IRIS. Les résultats suggèrent que l'estimation de la population est très sensible à un gain de précision obtenu par une meilleure connaissance de l'occupation du sol et de l'usage (habitable ou pas) des bâtiments. Les hypothèses formulées pour dépasser la contrainte de l'hypothèse « d'équirépartition de l'information à ventiler » semblent pertinentes dans ce cas.

L'analyse des écarts indique que les méthodes nécessitant des données qui identifient les « surfaces utiles », sont les plus précises et permettent d'approcher au mieux la répartition réelle de la population. Bien entendu, selon l'espace d'étude retenu typiquement urbain, périurbain ou rural, les méthodes s'avèrent plus ou moins pertinentes.

En ce qui concerne les zones d'habitations collectives, ou des zones d'habitations mixtes (collectives et individuelles), ou encore des zones d'études englobant différentes formes urbaines (comme la CUS), la seule approche appropriée est celle fondée sur la méthode (M3-c) qui prend en compte la volumétrie. Cependant, d'autres facteurs entrent en jeu au moment de l'analyse, tels que le temps de la mise en place et le niveau de précision que l'on souhaite obtenir.

Les résultats doivent être analysés avec prudence. Dans certains cas, on peut parfois obtenir des taux d'erreur très importants lorsque la population réelle est très faible ; dans ce cas, des vérifications sur terrain ou des recherches cartographiques plus poussées pourraient améliorer ou expliquer ces écarts importants.

Les travaux, conduits dans ce chapitre, montrent qu'il est possible d'estimer des données du type de population, ou des données qui y sont associées, et de les ventiler dans des périmètres autres que les entités administratives initiales.

On peut ainsi dépasser la contrainte d'utilisation de zones administratives prédéfinies inappropriées aux problématiques environnementales et estimer des risques d'exposition avec une répartition du nombre d'habitants plus proche de la réalité.

### **II.2.3.2. Les traitements spatiaux et concepts SIG mis en place**

En termes *de traitement spatial mis en œuvre*, nous avons élaboré, des indices adaptés à chaque infrastructure, en comparaison aux indices calculés à ce jour dans les études épidémiologiques.

L'ensemble des données recueillies et traitées est résumé dans le Tableau 8 qui décrit les variables, les échelles de recueil, les différents fournisseurs, le traitement spatial des variables contextuelles.

Pour décrire l'offre en espace vert, les indices utilisés habituellement mesurent le niveau de verdurisation, tels que l'indice de végétation (NDVI) (27-29), la superficie totale des parcs (30), la proportion du territoire dédiée aux parcs et espaces verts (30, 31), le nombre d'arbres par longueur de voies routières (32, 33). D'autres indices plus spécifiques sont calculés, tels que la distance au plus proche espace vert (30, 34-36) ou la distance entre l'espace vert et le lieu de résidence, ou encore la densité, ou le nombre d'espaces verts et de parcs (31, 37). Mais aucun de ces indices n'inclut la notion d'usage des espaces verts. Dans notre étude, l'indice qui évalue l'attractivité des espaces verts obéit à deux principes : d'une part, l'indice d'attractivité des espaces verts est fonction de la superficie des espaces verts et, d'autre part, que cette valeur d'attractivité décline avec l'éloignement.

En ce qui concerne les systèmes de soins et les équipements sportifs, nous avons opté pour un calcul de la distance, selon le réseau, aux ressources les plus proches, au lieu de mettre en place des indices de densité de ressources (38-40), ou le nombre de ressources ou d'infrastructures de loisirs pour un nombre d'habitants ou encore l'utilisation de la distance euclidienne (34, 41, 42).

Quant au niveau de desserte en transport, les mesures habituellement mises en place prennent en compte, soit le nombre de lignes d'autobus (36), soit la densité des stations de transport en commun (33, 43). D'autres travaux calculent la distance à l'équipement de transport en commun le plus proche (33, 44).

L'indice, élaboré dans notre étude, prend en compte, aussi bien le nombre de stations, que le nombre de lignes. En attribuant des zones de desserte différentes, notre approche prend en compte aussi l'attractivité modale différentielle entre le réseau de bus et tramway. L'indice construit est ainsi cumulatif : dans le cas d'une multi proximité, le centroïde de notre unité se voit affecter une valeur cumulée de l'indice.

Et enfin, pour décrire la potentialité des commerces de proximité, au lieu de calculer la densité des commerces habituellement utilisés (45-47), nous avons pris en compte tous les critères d'un commerce de proximité, à savoir : la diversité (les commerces de type alimentaire , autres services : poste, banque, blanchisserie, et les commerces ambulants, ...), la quantité et la proximité.

Après avoir défini et présenté les indices qui permettent d'évaluer les différentes caractéristiques contextuelles de l'environnement de voisinage, nous proposons une nouvelle mesure de « défaveur » contextuelle pour percevoir les disparités contextuelles spatiales, à fine échelle, au sein de la CUS. L'indice construit à partir du modèle des indices britanniques (IMD) est décrit dans le chapitre suivant.

**Tableau 8.** Récapitulatif des données spatiales, fournisseurs, échelle de recueil, et traitement spatial

Variables	Base de données/ échelle de recueil	Fournisseurs	Traitement spatial et indices
<b>Domaine 1: environnement socio-économique</b>			
Population	Recensement de la population Général 1999/ IRIS	INSEE	Désagrégation des données de l'IRIS à l'échelle de cellule de 250m de côté
Taux de chômage			IDEM
Taux d'ouvriers parmi les actifs			IDEM
Taux d'emplois stables			IDEM
Taux d'emplois précaires			IDEM
Proportion de personnes de 15 et plus sans diplôme			IDEM
Proportion de personnes de 15 et plus avec Bac, brevet			IDEM
Proportion de personnes de 15 et plus avec bac +2			IDEM
Proportion de familles monoparentales			IDEM
Proportion de ménages sans voiture			IDEM
Proportion de ménages avec 2 voitures			IDEM
Proportion de la population couverte par les allocations CAF	Fichier de la CAF/ IRIS et Commune	CAF du Bas-Rhin: Service Etudes et Statistiques	IDEM
Proportion de la population couverte par le RMI			IDEM
<b>Domaine 2: ressources publiques</b>			
Système de soins : Médecins	ADELI (2007)/ Adresse	DRASS Alsace	Distance au plus proche
Centre de soins	FINESS (2008)/ Adresse	Idem	Distance au plus proche
Transport public	Localisation des arrêts de transport et nombre de passage / localisation exacte	CUS, ASPA, CST	Indice de desserte
Espace vert public	Les espaces verts de la CUS, et BD occupation du sol	CUS et CIGAL	Indice d'attractivité
Equipements sportifs	Base de données RES (2008)/ coord GPS	D.R.D.J.S. alsace et Bas-Rhin	Distance au plus proche
<b>Domaine 3: environnement physique</b>			
Habitat insalubre	Fichier des plaintes pour insalubrité (2000-2008)/ Adresses	Service hygiène et environnement (CUS)	Nombre de logement insalubre par cellule
Gêne extérieure	Fichier des plaintes du voisinage (2000-2008)/ Adresse	Service hygiène et environnement (CUS)	Nombre de gêne extérieure par cellule
<b>Domaine 4: environnement psychosocial</b>			
Commerce de proximité	Fichier SIRENE/ Localisation	CUS	Indice de potentialité
Système scolaire			
Violence	Base de données SIGNA/ établissement	Source : ministère de l'éducation	taux de violence scolaire
	Fichier de classement ministériel/ établissement	Inspection d'académie	
Classement des établissements primaire et élémentaire ZEP et Collège ZEP et AR	Fichier de classement / établissement	Service Accueil et Vie Scolaire (CUS), Inspection de l'académie de Strasbourg	création d'un score pour caractériser le système éducatif en fonction du type et le nombre d'établissement classé
Participation Electorale	Résultats du 1er et 2ème tour (2000 à 2008). Municipale, Cantonale, Européenne/ Bureau de vote	Mairie de Strasbourg, Bureau des Elections	Taux de participation
Association	Fichier SIRENE/ localisation exacte	CUS	Nombre d'associations pour 100 habitants
Typologie du tissu associatif	Fichier SIRENE/ Localisation exacte	CUS	
Religieuse, Politique, Bénévolat		IDEM	Présence/ absence

Res : Répertoire des équipements sportifs

Finess : Fichier National des Etablissements Sanitaires

## Chapitre 3 : Traitement statistique des données contextuelles

---

Nous exposerons, dans un premier temps, l'analyse statistique mise en œuvre pour décrire les caractéristiques contextuelles de l'environnement de voisinage. Dans un second temps, nous décrirons les résultats spatialisés à l'échelle de la CUS pour mettre en exergue les disparités spatiales des profils contextuels.

---

### II.3.1. Approches méthodologiques pour caractériser l'environnement de voisinage

La stratégie d'analyse retenue pour caractériser l'environnement de voisinage a été l'analyse factorielle.

Ces analyses évaluent la ressemblance entre les individus (dans notre étude, il s'agit des cellules) en fonction des variables (ou groupe de variables) qui les caractérisent ; autrement dit : deux cellules se ressemblent d'autant plus qu'elles possèdent des valeurs communes pour l'ensemble des variables (48).

Les variables utilisées pour caractériser l'environnement de voisinage sont de nature soit quantitative soit qualitative : de ce fait, deux types d'analyse sont alors possibles :

- une *Analyse factorielle des Correspondances Multiples (ACM)* : qui s'applique à des données exclusivement qualitatives pour obtenir des associations entre les modalités des variables et les individus.
- une *Analyse Factorielle Multiple (AFM)* : qui s'applique à des données qui peuvent être mixtes - qualitatives et quantitatives - par l'intermédiaire de groupes de variables à définir. Cette méthode consiste à réaliser simultanément une ACP (Analyse des composantes Principales) pour les groupes de variables quantitatives et une ACM pour les groupes de variables qualitatives (Figure 16).

A l'issue de nombreux tests (décrits et développés en Discussion), nous avons opté pour la mise en place de l'Analyse Factorielle Multiple pour traiter les variables contextuelles.

### II.3.2. Méthode

Les données contextuelles traitées préalablement (cf. tableau 5) ont été introduites dans l'analyse (AFM) en groupe de variables prédéfinies (dans les 4 domaines) comme l'illustre la Figure 16 . Cette approche a l'avantage de pouvoir conserver en tant que telles les variables quantitatives car



### II.3.3. Résultats

Parmi les 5127 cellules de la grille qui composent la CUS, seules les 1608 cellules habitables sont retenues et analysées. Le tableau de données est composé de 1608 individus (cellules), 3 domaines (socio-économique, ressources publiques et environnement psychosocial) qui comprennent 27 variables. Dans l'analyse factorielle, (29,14%) de l'inertie totale est associée aux deux premiers axes (*pour plus de détails sur le descriptif des résultats de l'AFM voir Annexe N°2*)

La typologie, issue de la classification ascendante hiérarchique (CAH) (*cf. Annexe N°3*), présente 5 groupes de « *profils contextuels* ». Les résultats de la classification pour chaque groupe sont résumés dans le Tableau 9. Les 5 *profils contextuels* obtenus constituent les 5 classes de notre *mesure de défaveur contextuelle* pour caractériser l'environnement de voisinage.

#### II.3.3.1. Description des profils contextuels

Le **groupe A** se compose des cellules où le taux d'emploi stable et la proportion de diplômés sont les plus élevés ; à l'inverse, les taux de chômage et d'emploi précaire sont les plus bas. Ce groupe est caractérisé par un très faible lien psychosocial et une très faible accessibilité (distances les plus longues pour accéder aux soins ou aux équipements, très mal desservi par les transports en commun, très faible potentialité commerciale, très peu d'associations). Ce groupe *décrit un profil de population très favorisé socio-économiquement, avec un lien psychosocial très faible et une très faible accessibilité aux ressources publiques.*

Le **groupe B** est constitué de cellules où le taux d'emploi stable et la proportion de diplômés sont élevés, et pour lesquels les taux de chômage et d'emploi précaire sont bas. Ce groupe est caractérisé par un faible lien psychosocial et une faible accessibilité (longues distances pour accéder à un système de soins ou un équipement, mal desservi par les transports en commun, faible potentialité commerciale, peu d'associations). Ce groupe *décrit un profil de population favorisée socio-économiquement, avec un lien psychosocial faible et une faible accessibilité aux ressources publiques.*

Le **groupe C** dégage un profil de population moyenne pour la grande majorité des variables, excepté pour le lien psychosocial qui est fort avec un taux élevé d'établissements classés en ZEP. Ce groupe *décrit un profil de population moyennement favorisée (défavorisée) avec un fort lien psychosocial et une accessibilité moyenne aux ressources publiques.*

Le **groupe D** est caractérisé par une forte densité de population et une proportion importante de personnes couvertes par la CAF. Ce groupe se distingue également par un indice de desserte, d'attractivité et de potentialité en commerce le plus élevé. Ce groupe *décrit un profil de*

*population défavorisée avec un très fort lien psychosocial et une très bonne accessibilité aux ressources publiques.*

Le **groupe E** est composé des cellules où les proportions de population couverte par la CAF et le RMI, les taux d'emploi précaire et la proportion d'étrangers sont les plus élevés. Ce groupe est caractérisé par une forte disponibilité des espaces verts et des indices de desserte et de potentialité moyenne. Ce groupe décrit un *profil de population très défavorisé avec un lien psychosocial moyen et une bonne accessibilité aux ressources publiques.*

**Tableau 9.** Description des profils contextuels à l'échelle de la CUS

	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E
<b>Population couverte par la CAF</b>	--	-	+/-	+	++
<b>Population couverte par le RMI</b>	--	-	+	+/-	++
<b>Densité de la population</b>	--	-	+	++	+/-
<b>Proportion des emplois précaires</b>	--	-	+/-	+	++
<b>Proportion des emplois stables</b>	++	+	+/-	-	--
<b>Taux de Chômage</b>	--	-	+/-	+	++
<b>Proportion d'ouvriers</b>	--	-	+	+/-	++
<b>Proportion de diplômés</b>	++	+	-	+/-	--
<b>Proportion de familles monoparentales</b>	--	-	+/-	+	++
<b>Proportion d'étrangers</b>	--	-	+/-	+	++
<b>Proportion de personnes sans voiture</b>	--	-	+/-	++	+
<b>Proportion de personnes possédant 2 voitures</b>	++	+	+/-	--	-
<b>Indice d'espace Vert</b>	+/-	++	-	--	+
<b>Distance au système de soin</b>	--	-	+	++	+/-
<b>Accessibilité des transports</b>	--	-	+	++	+/-
<b>Distance aux équipements sportifs</b>	--	-	+/-	++	+
<b>Quantité d'associations</b>	--	-	+	++	+/-
<b>Typologie des établissements scolaires</b>	++	+	-	+/-	--
<b>Présence de commerces de proximité</b>	--	-	+	++	+/-
<b>Tissu urbain (typologie de l'habitat)</b>	Pavillonnaire	Pavillonnaire + Mixte	Mixte	Mixte et centre	Collectif

(+ + très fort, + fort, +/- moyen, - faible, -- très faible)

En résumé (Tableau 10), à partir de la typologie, on obtient :

- Deux groupes de profils de population favorisés socio-économiquement (les plus aisés), l'un vivant plutôt dans des logements de type pavillonnaire (avec un très faible lien social et une très faible accessibilité aux ressources publiques) (**Groupe A**) et l'autre vivant plutôt dans des logements de type pavillonnaire mixte (avec un faible lien social et une faible accessibilité aux ressources publiques) (**Groupe B**).
- Deux groupes de profils de population défavorisés socio-économiquement (les moins aisés), l'un vivant plutôt dans des habitats mixtes et au centre ville (avec un très fort lien psychosocial et une très bonne accessibilité aux ressources publiques) (**Groupe D**), et l'autre dans l'habitat collectif (avec un lien psychosocial moyen et une bonne accessibilité aux ressources publiques) (**Groupe E**)
- Et, enfin, le groupe C où le profil de la population peut être caractérisé de « moyen » tant sur le plan socio-économique que sur le plan de l'accessibilité aux ressources publiques avec un fort lien psychosocial.

**Tableau 10.** Tableau récapitulatif de la typologie des cellules de la CUS

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Groupe	Effectif
Favorisé socio-économiquement	Lien psychosocial très faible, très faible accessibilité, typologie urbaine type habitat pavillonnaire			<b>A</b>	<b>345</b>
	Lien psychosocial faible, accessibilité aux ressources publiques faible, typologie urbaine type habitat pavillonnaire et mixte			<b>B</b>	<b>724</b>
	Lien psychosocial fort, accessibilité aux ressources publiques moyenne, typologie urbaine type habitat centre ville			<b>C</b>	<b>252</b>
Défavorisé socio-économiquement	Accessibilité aux ressources publiques élevée	Lien psychosocial très fort, accessibilité aux ressources très élevée, typologie urbaine type habitat mixte et centre ville		<b>D</b>	<b>88</b>
		Lien psychosocial moyen, accessibilité aux ressources publique élevée et typologie urbaine type habitat collectif		<b>E</b>	<b>199</b>

### II.3.3.2. La disparité spatiale des profils contextuels

La distribution spatiale de la mesure de défaveur contextuelle construite à l'échelle des cellules (250\*250m) au niveau de la CUS montre un gain de lisibilité par rapport à l'usage de l'IRIS 2000

de l'INSEE. La caractérisation de l'environnement de voisinage est concentrée uniquement autour des cellules habitables.

La cartographie des profils contextuels, illustrée par la Figure 17 ci-dessous, montre que la défaveur contextuelle n'est pas homogène à travers notre zone d'étude et nous permet d'identifier les zones les plus différentes : (i) Deux groupes socio-économiquement défavorisés de la population, l'un vivant dans les zones avec des logements de style banlieue, avec un très faible lien social (cohésion sociale) et d'une accessibilité très faible pour les ressources publiques (groupe A) et les autres groupes vivant dans la banlieue avec des logements du style mixte (avec un faible capital social et une faible accessibilité aux ressources publiques) (groupe B). (ii) Deux groupes de population de profils défavorisés socio-économiquement, l'un vivant dans les zones d'habitat mixte et du centre-ville avec une cohésion sociale (lien psychosocial très fort et une très bonne accessibilité à des ressources publiques) (Groupe D) et l'autre dans le logement collectif avec un capital social moyen et un bon accès aux ressources publiques (Groupe E). (iii) un groupe caractérisé par un profil "moyen" à la fois en termes de niveau socio-économique et d'accessibilité aux ressources publiques, mais avec une forte cohésion sociale (Groupe C).

Aussi, la cartographie de la typologie, illustrée ci-dessus, nous permet de discerner des zones de regroupement spatial de profils similaires sur le territoire strasbourgeois. Après examen de la carte, on peut en déduire :

- une opposition des différences de profils entre le centre de Strasbourg et la périphérie.

Les cellules où l'habitat est essentiellement pavillonnaire ou mixte sont davantage représentées dans la deuxième couronne de l'agglomération. La périphérie de la CUS est alors principalement composée de cellules appartenant aux groupes A et B.

- Une opposition à l'intérieur même de la ville de Strasbourg où l'on observe de grandes différences entre les cellules, en termes de profils de population et de caractéristiques de l'habitat.

Ainsi, nous pouvons discerner un gradient centre-périphérie avec deux classes D et C qui caractérisent le centre et les noyaux urbains anciens. Une première couronne de la classe E est concentrée sur les banlieues de Strasbourg. Les deuxième et troisième couronnes (classe A et B) correspondent à des extensions urbaines de ces dernières décennies et l'étalement urbain analysés dans la CUS.

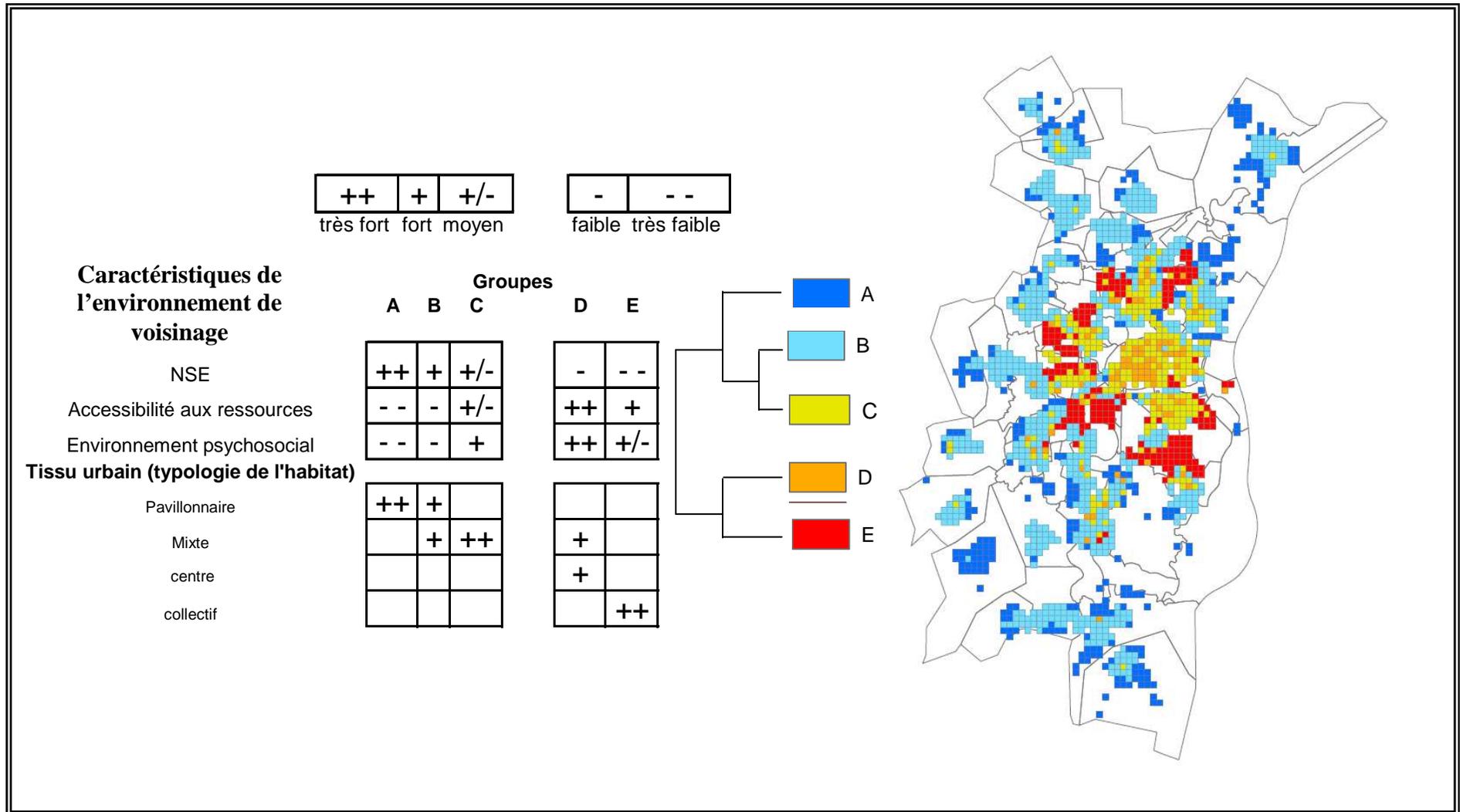


Figure 17. Description des profils contextuels des unités spatiales, les cellules, CUS

## II.3.4. Discussion

### II.3.4.1. Stratégie pour définir l'environnement de voisinage

Il n'existe pas d'approche de référence pour caractériser l'environnement de voisinage. De nombreux indices ont été créés et utilisés pour caractériser les lieux de résidence. Ces indices diffèrent par la méthode de construction et par les variables utilisées (49,50), mais tous sont construits à partir des bases de données, purement socio-économiques, recueillies en routine comme, par exemple, le recensement de la population. Ces indices évaluent uniquement le désavantage social ou matériel d'une population, sans tenir compte des autres thématiques et caractéristiques des lieux de vie, qui sont susceptibles d'influencer l'état de santé d'une manière générale.

Plus récemment, « *the Index of Multiple Deprivation : IMD* » a été élaboré spécifiquement en vue d'analyser les autres composantes de l'environnement de voisinage, notamment sur les problématiques d'accès aux différentes ressources (51). Cet indice est construit à l'aide de plusieurs sources d'information issues d'agences gouvernementales et locales et compte 6 (ou 7 selon les variantes) grands domaines compilés pour obtenir un score unique (51). A travers ces 6 domaines, ce score prend en compte les facteurs suivants : revenu, travail, incapacité et état de santé, niveau d'études et de formation, logement, accès physique aux services (distance à la poste, grande surface, médecin, école primaire...).

Du point de vue du mode d'approche des données contextuelles, notre démarche est voisine de celle entreprise pour la construction de l'indice IMD, à savoir, regrouper les variables contextuelles en groupe. La construction de l'IMD et de ses variantes repose sur 6, voire 7 domaines (51). Dans notre étude, nous avons choisi de regrouper nos variables en 4 domaines plus synthétiques que les domaines de l'IMD qui illustrent très bien les 4 dimensions de l'environnement de résidence reconnues par de nombreux auteurs (3).

Ainsi, à partir des différentes variables recueillies sur la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), notre approche multidimensionnelle nous a permis de développer une nouvelle mesure de la défaveur contextuelle. Jusqu'ici, en France, comme ailleurs, excepté l'IMD « *l'index of multiple deprivation* », quelle que soit l'échelle d'étude, tous les indices calculés pour décrire l'environnement de voisinage prennent en compte une seule dimension du contexte de vie.

### II.3.4.2. Analyses statistiques multidimensionnelles pour caractériser l'environnement de voisinage.

Pour analyser les liens entre conditions de vie sociale et la santé, les scores habituellement employés (4, 5) sont construits sur la base de la somme de quatre variables standardisées et normalisées : la proportion de chômeurs, de ménages sans voiture, de personnes qui ne sont pas propriétaires de leur logement et d'habitat surpeuplé.

Toutefois, une approche britannique plus originale a été adoptée pour la construction de l'indice IMD (51) et de ses variantes, basée sur un regroupement des variables en domaines « 6 ou 7, voire 8 », de telle sorte que chaque domaine soit décrit par un indice.

Afin de construire le score global, les indices décrivant chaque domaine sont standardisés et normalisés puis pondérés en fonction de leur importance (ex : revenu et chômage : 25%, santé et éducation : 15% et logement et accessibilité : 10%) (50). La procédure de pondération est totalement subjective, et ce processus est non explicite.

Bien qu'inspirés de cette approche britannique, dans nos travaux, nous avons adopté une stratégie d'analyse sans hypothèse *a priori* sur l'importance des variables contextuelles étudiées, donc sans aucune pondération subjective. Pour ce faire, nous avons écarté l'analyse multicritères<sup>30</sup> et orienté notre approche vers une analyse factorielle.

Nous avons envisagé au début de notre travail deux approches possibles pour caractériser l'environnement de voisinage : (i) soit une *Analyse des Correspondances Multiples (ACM)*, (ii) soit une *Analyse Factorielle Multiple (AFM)*.

Dans un premier temps, nous avons conduit la première étape de l'analyse en considérant les deux approches. Les données ont été traitées par une analyse (ACM) en tant que variables qualitatives, toutes confondues. Dans un second temps, les données ont été introduites dans l'analyse (AFM) en groupe de variables prédéfinies. Nous avons retenu l'approche qui concentre le plus d'informations dans les premiers axes, c'est en l'occurrence, l'AFM pour laquelle les deux premiers axes expliquent une plus grande partie de l'information (29,14%) contenue dans les données, alors que les 2 premiers axes issus de l'ACM n'en expliquent que 23%. Cette approche a également l'avantage de pouvoir conserver en tant que telles les variables quantitatives car le fait de les discrétiser systématiquement peut engendrer des pertes d'informations parfois importantes. Ainsi, nous avons privilégié l'AFM.

---

<sup>30</sup> Cette approche consiste à pondérer les variables selon leur importance relative à la constitution de l'indice. Une cartographie de chaque variable, dont les valeurs ont été préalablement reclassées, est effectuée. Les cartes sont ensuite additionnées ou multipliées en tenant compte de leur pondération.

La typologie élaborée à l'aide des analyses factorielles donne ainsi un état des lieux des profils contextuels. A partir de ces analyses sont définis des groupes d'unités géographiques ayant des caractéristiques sociales proches. La cartographie des résultats nous a permis d'identifier des concentrations de profils de populations similaires.

Les unités spatiales utilisées contiguës et homogènes seront agrégées pour concevoir un nouveau découpage zonal à l'aide de logiciels conçus à cet effet (52). Le zonage obtenu sera cohérent et sensé pour nous permettre de détecter les disparités contextuelles dans les variations de santé dans les études écologiques. C'est essentiellement l'objet du prochain chapitre.

## Chapitre 4 : Conception (Design) d'un nouveau découpage de l'environnement de voisinage

---

Ce chapitre décrit le développement d'une approche expérimentale de conception d'un nouveau découpage de l'environnement de voisinage pour contourner les limites spatiales administratives prédéfinies employées à ce jour.

Nous exposerons, dans une première phase, les principes de la procédure expérimentale et dans une deuxième phase, la mise en œuvre de la méthode et l'analyse des résultats obtenus

---

### II.4.1. Outils d'analyse : procédure d'analyse

La conception du nouveau découpage spatial à partir des *1608 unités spatiales (cellules de 250m\*250m)* est basée sur l'approche de zonage développée par Oppenshaw avec l'emploi du logiciel AZTool mis à notre disposition par les Professeurs David Martin, Sam Cockings et Andy Harfoot (the Department of Geography, University of Southampton, United Kingdom). Ce programme est couplé avec un SIG.

Le principe de cette procédure est d'agréger des unités spatiales contiguës pour concevoir un zonage en fonction d'un ou de plusieurs objectifs (ou critères) pré-définis.

Cependant, ces objectifs n'ont pas forcément la même importance ; ainsi, afin d'optimiser l'agrégation, les critères sélectionnés sont pondérés en fonction de leur importance dans la conception du zonage final.

### II.4.2. Développement méthodologique : mise en place de l'approche expérimentale

La conception du découpage spatial de l'environnement de voisinage, qu'on appellera dans ce chapitre « zonage », est conduite en collaboration avec l'équipe des géographes de l'université d'EXTER UK dirigée par Clive SABEL (School of Geography) qui a accepté de porter un regard critique sur ce travail.

#### II.4.2.1. Phase d'identification des objectifs d'agrégation

L'objectif de notre zonage est de concevoir un environnement de voisinage homogène qui compte, en moyenne, 2000 habitants. Nous avons donc identifié 3 objectifs dans l'ordre suivant :

(i) homogénéité du zonage « *output zone homogeneity* », (ii) la taille de la population cible « *population target size* » et (iii) la forme du zonage final « *shape compactness* ».

#### *Description des critères sélectionnés*

Les objectifs ainsi définis se traduisent dans notre procédure par 3 critères :

- **le premier critère** retenu est la contrainte d'homogénéité pour obtenir la plus grande **homogénéité intra-zone** et la plus grande **hétérogénéité inter-zones**. Dans nos travaux, la typologie contextuelle construite (décrite dans le chapitre 2) constitue notre mesure d'homogénéité.
- **Le second critère** identifié est la taille de la population cible. Nous avons retenu comme critère une taille de population cible d'en moyenne 2000 habitants pour deux raisons :
  - a. Produire un environnement de voisinage similaire, en termes de taille de population, au découpage infra communal étudié en France (l'IRIS).
  - b. Obtenir un effectif de population suffisant pour chaque classe d'âge et sexe dans chaque agrégat afin de satisfaire aux conditions d'anonymisation des données imposées par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL)<sup>31</sup>
- **Le troisième critère** est la forme de la zone pour produire des zones plus compactes (plus circulaires que linières).

#### **II.4.2.2. Phase d'optimisation**

Dans un premier temps, une agrégation dite *nulle* est réalisée où les unités spatiales contiguës sont agrégées en considérant que les objectifs ont la même importance ; cela se traduit par l'attribution du même poids aux trois critères : homogénéité, taille de population et forme de l'agrégat.

Ensuite, dans un second temps, nous avons mis en place différentes combinaisons de pondération des 3 critères sélectionnés (homogénéité, la taille de la population cible et la forme de l'agrégat) pour créer une série de zonages (agrégats) à analyser et à comparer. Parmi les nombreuses conditions expérimentales de pondération que nous avons testées, 6 sont décrites dans le Tableau 11 (I à VI, où I correspond à une pondération nulle).

---

<sup>31</sup> La CNIL nous a imposé qu'au moins 8 personnes d'une même tranche d'âge résident dans chaque IRIS afin de garantir l'impossibilité d'effectuer des recoupements d'information permettant l'identification des patients.

Les pondérations telles qu'elles ont été mises en place dans les combinaisons (II à VI) décrites dans le Tableau 11, nous indiquent le degré d'importance accordé à chaque objectif (ou critère) ; ainsi, par exemple, la formule V caractérisée par les coefficients suivants : *population* : 100, *forme* : 100, *homogénéité* : 900, signifie que nous concentrons 9 fois plus d'importance à l'homogénéité des agrégats qu'à leur forme et à la taille de la population.

**Tableau 11.** Conditions expérimentales de pondération

Conditions expérimentales	Population target	Population weight	Shape weight	homogeneity weight
I	2000	100	100	100
II	2000	100	100	200
III	2000	100	100	300
IV	2000	100	100	500
V	2000	100	100	900
VI	2000	100	100	1000

### II.4.2.3. Evaluation des zonages

Le choix de l'agrégation optimale impose une évaluation des critères définis pour le zonage final et ce pour chaque combinaison (I à VI) mise en place (Tableau 12).

L'homogénéité des agrégats est évaluée à l'aide de l'indice IAC “ *Intra-Aera Correlation* ” calculé comme suit :

$$IAC = \frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (1-p_k) \delta_k \quad \text{(Équation 8)}$$

Où:  $\delta_k$  est la contribution des profils contextuels k (5 profils) à l'indice IAC:

$$\delta_k = \frac{\frac{1}{M-1} \sum_{g=1}^M N_g (P_{kg} - P_k)^2}{(N^* - 1) P_k (1 - P_k)} - \frac{1}{(N^* - 1)} \quad \text{(Équation 9)}$$

Où  $M$  est le nombre d'unités spatiales,  $N_k$  est le nombre d'habitants du groupe de profil  $K$ , et  $\overline{N^*}$  la taille moyenne de la population,  $P_{kg}$  est la proportion de la population de la zone  $g$  et du groupe de profil  $k$ , et  $P_g$  la proportion d'habitants dans le groupe de profil  $k$ .

### II.4.3. Résultats

#### II.4.3.1. Description des agrégats

Le Tableau 12 présenté ci-dessous décrit les valeurs de l'indice d'homogénéité (IAC) obtenues pour chaque agrégat des 6 combinaisons (de I à VI).

Ces résultats montrent que les agrégats issus des combinaisons V et VI produisent les valeurs les plus élevées.

**Tableau 12.** Valeurs des scores IAC pour les 6 conditions expérimentales, France.

Experimental conditions	Population target	Population weight	Shape weight	Homogeneity weight	IAC
<i>I</i>	2000	100	100	100	0.484
<b>II</b>	2000	100	100	200	0.525
<b>III</b>	2000	100	100	300	0.539
<b>IV</b>	2000	100	100	500	0.561
<b>V</b>	2000	100	100	900	<b>0.572</b>
<b>VI</b>	2000	100	100	1000	<b>0.596</b>

De fait, plus on donne de l'importance à un critère en attribuant un poids important, plus les agrégats obtenus présentent une valeur optimale de l'objectif concerné.

Etant donné que l'indice IAC mesure l'homogénéité (similitude du profil contextuel au sein de chaque agrégat), plus le poids attribué à ce critère est important plus le score d'IAC est élevé.

Théoriquement, les valeurs très élevées du score IAC obtenues sont considérées comme optimum, décrivant ainsi un degré d'homogénéité optimal. Cependant, en terme pratique, ces résultats ne sont pas satisfaisants, car les agrégats aux scores les plus élevés ne sont pas compacts mais plutôt linéaires.

Ceci implique que l'homogénéité est pondérée au détriment des autres objectifs. Ce processus n'a pas produit une solution d'agrégation acceptable. La note méthodologique présentée à la fin de ce chapitre décrit plus en détail les différents agrégats obtenus.

L'objectif premier est de produire un environnement de voisinage homogène ; par conséquent, un IAC élevé est fortement recherché, sans pour autant négliger la forme des agrégats ; ainsi, il est aussi important de produire des formes plus compactes qu'homogènes. C'est donc un compromis entre homogénéité et forme qui nous permet de trouver l'agrégation la plus optimale.

Un score de l'indice IAC d'une valeur de 0.5 implique un degré d'homogénéité acceptable et recommandé (53). Ainsi, nous avons retenu les combinaisons II et III, pour lesquels  $IAC > 0.5$  et présentant des agrégats plus compacts, pour essayer de les optimiser dans une deuxième étape.

#### **II.4.3.2. Nombre optimal d'itérations d'AZTool**

L'augmentation du nombre de simulations (nombre de run) de 1000 à 10000 ne semble pas améliorer les deux solutions identifiées, à savoir la combinaison II et III (*cf. note méthodologique N°2 : Procédure d'agrégation (AZTool)*). Nous avons donc retenu la combinaison II qui fournit les conditions pour une agrégation la plus optimale possible.

Ainsi, comme illustré dans la Figure 18, les 1608 unités spatiales de base utilisées dans cette procédure sont agrégées en 220 zones définies comme des environnements de voisinage homogènes qui comptent 2000 habitants en moyenne.

#### **II.4.4. Discussion**

##### **II.4.4. 1. Les méthodes de délimitation spatiale de l'environnement de voisinage**

En France, la plus petite zone géographique utilisée dans les études épidémiologiques, définie comme environnement de voisinage, est le découpage infra-communal IRIS (avec en moyenne 2000 habitants), pour lequel les données du recensement sont disponibles.

Ces zonages n'étant pas adaptés ni à notre définition, ni à l'examen des données contextuelles, nous avons cherché une solution pour contourner les limites du découpage préexistant.

Une des solutions proposées et recommandées par Openshaw est de définir un découpage alternatif pour analyser l'effet de l'environnement de voisinage par le développement d'outils de conception automatisés connus sous le nom « *Automated Zoning Procedure* ».

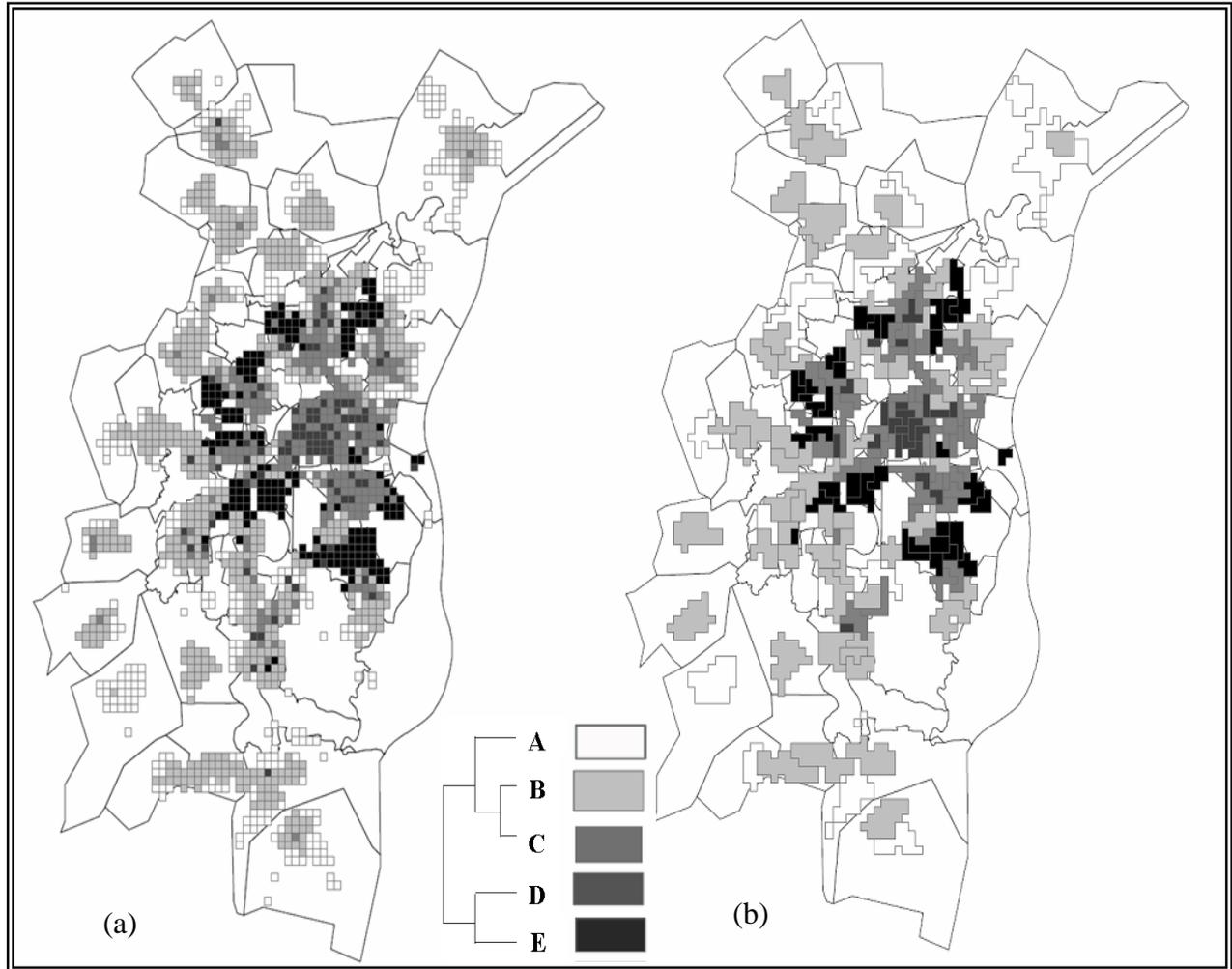
Ces méthodologies de conception automatisées de zone offrent un ensemble riche de concepts et d'outils pour des applications, telles que l'environnement et les études de santé, où il y a un besoin

de créer des zones pour l'analyse. Cependant, ces méthodes n'ont pas encore été utilisées par un large éventail de chercheurs pour de différentes applications.

De nombreuses études (54-57) ont également tenté de définir le voisinage en utilisant Electoral Division (ED) comme blocs de construction pour construire des systèmes alternatifs de zones, puis expérimenter pour vérifier si ces voisinages définis de différentes manières ont une même implication pour la santé (LLTI *self reported Limiting Long Term Illness*) : les effets sur la santé, l'indice de masse corporelle, la consommation d'alcool, l'exercice physique, le tabagisme et l'état de santé général perçu.

Dans tous les travaux, à l'exception de l'approche de Martin (58), les auteurs ont ré-agrégé les unités spatiales standard (prédéfinies) pour lesquelles des données sont disponibles pour produire des zones conçues selon des critères clairement définis. Par conséquent, dans chacune de ces approches, les frontières entre les zones qui en résultent sont un sous-ensemble des limites des unités de base de construction utilisées comme point de départ. Cette conclusion a été soutenue par Cocking et Martin (2005), car ils ont souligné que les unités habituellement employées telles que *ED (Electoral division)*, par exemple, ont quelques limites : « *they pointed out that studies of epidemiology, environment and health often use aggregation of EDs, but EDs have some limitations such as variations in population size, geographical shape, or area and social composition* ».

Dans notre travail, nous avons développé une approche expérimentale pour la conception automatisée des zones qui définissent l'environnement de voisinage en utilisant des cellules de petite taille (taille de 250m X 250m) en tant que composante de base sans les contraintes des limites de la zone pré-existante. Notre approche est originale en 2 points : d'abord, nous avons utilisé une unité de base totalement libre de frontières administratives, ensuite, nous avons sélectionné les seules unités habitables comme les blocs de construction de base (ceux qui contiennent des habitants).



**Figure 18.** Unité de base de l'agrégation (A) et l'agrégat optimum issu d'une condition optimale (ex. conditions III) (B)

#### II.4.4.2. Les avantages de notre approche

Les points forts de notre travail peuvent être résumés dans deux points: (i) l'intérêt d'utiliser des unités spatiales carrées régulières comme unités de base pour l'agrégation, (ii) la définition d'un « environnement de voisinage » caractérisé par l'ensemble de données contextuelles.

##### II.4.4.2.1. L'intérêt d'utiliser des unités spatiales carrées régulières

Le choix des cellules carrées à partir d'une grille, comme une unité spatiale de base, a permis de concevoir un zonage adapté à nos besoins, pour, notamment, utiliser plusieurs types de données. Cette unité régulière spatiale présente divers avantages :

- **Stabilité de l'unité de base.** Ces cellules carrées ont l'avantage de pouvoir être fixes (les limites n'évoluent pas avec le temps, si on ne veut pas qu'elles évoluent), ce qui permet de

s'affranchir des limites administratives qui sont, pour leur part, susceptibles d'évoluer dans le temps en fonction de leur finalité et de la logique de leur construction et qui peuvent introduire une notion de « limite » qui n'est pas forcément pertinente.

- **Homogénéisation et compilation des différentes données spatiales.** Les données contextuelles sont très hétérogènes en termes d'échelles spatiales, de dates de collecte, et d'exhaustivité. L'utilisation de la grille permet de les homogénéiser, dans une certaine mesure, avant toute analyse statistique ou spatiale.
- **Effet d'échelle de MAUP.** L'utilisation d'une grille unique nous a permis de minimiser l'effet d'échelle associé au MAUP puisque toutes les unités spatiales ont, de par leur conception, la même surface.
- **Réduire le rapport signal/bruit.** En sélectionnant uniquement les cellules habitables, à savoir 1608 unités sur les 5127 unités qui constituent l'ensemble de la CUS, nous avons réduit la surface d'analyse. Ainsi, ce gain de précision de l'ordre de 0.31 nous permettra de réduire le rapport signal/bruit lors de notre analyse finale.
- **Mieux approcher les zones habitables.** Les travaux décrits dans ce chapitre montrent qu'il est possible de définir un environnement de voisinage autour des zones uniquement habitables, afin de mieux cerner les caractéristiques locales « micro environnementales » et ainsi analyser son influence sur la santé.

#### **II.4.4.2.2. La définition d'un « environnement de voisinage »**

Notre développement expérimental constitue une approche alternative pour produire un découpage fin pour des études futures. La conception de ces espaces statistiques homogènes, définissant l'environnement de voisinage, est destinée à remplir plusieurs objectifs :

- Premièrement, le résultat devrait être plus stable que les unités locales existantes comme l'IRIS.
- Deuxièmement, ces zonages constituent un découpage intermédiaire entre les unités spatiales existantes, notamment entre les découpages infra-communales du recensement (IRIS) et toutes les autres unités spatiales.
- Troisièmement, ces unités spatiales uniquement bâties permettent de stocker les différentes données qui couvrent un large éventail de domaines contextuels exploitables en fonction des besoins.
- Et enfin, notre zonage synthétique qui définit l'environnement de voisinage, nous permet de mieux comprendre l'influence des caractéristiques contextuelles sur les événements de santé

(asthme et infarctus du myocarde) à une échelle fine, avec la réduction de l'effet de zonage de MAUP (*ce point fait essentiellement l'objet de la prochaine partie*)

#### **II.4.4.3. Notre approche présente aussi des limites inhérentes au programme utilisé.**

Toutes les approches de conception automatisée de zones basées sur ce principe de contiguïté présentent une certaine faiblesse liée à la contiguïté entre chaque unité de base. Dans notre étude, nous avons contourné cette limite en utilisant une étape supplémentaire en supprimant manuellement (par exemple des polygones Island), ou ré-agrégation de l'unité de base (par exemple, partiellement isolée) (*cf. plus en détail la note méthodologique N°2 : Procédure d'agrégation (AZTool)*).

Toutefois, ces limitations ont un impact très faible sur notre analyse puisque la perte d'informations relatives à cette problématique a été très limitée (leur population ne représentait que 0,018% de la population totale de la CUS). Cependant, la solution manuelle adoptée dans notre approche ne peut pas être appliquée dans d'autres travaux. Ainsi, cette problématique pourrait constituer une limite importante à cette approche.

## Conclusion partie II

---

La méthodologie employée pour caractériser et définir l'environnement de voisinage résumé dans la Figure 19, inspirée des démarches des travaux ayant mené des recherches sur les mêmes thématiques d'études, est présentée dans cette deuxième partie. Nous avons été amenés à :

- définir le cadre de l'analyse : territoire d'étude et données contextuelles ainsi que l'échelle d'analyse,
- développer une approche multidisciplinaire pour traduire la défaveur contextuelle au sein de la CUS,
- concevoir un nouveau découpage pour définir l'environnement de voisinage.

Chaque chapitre de cette partie explique une étape de la démarche méthodologique adoptée pour répondre à notre questionnement de départ. Nous nous appuyons, pour cela, sur des méthodes récemment introduites en épidémiologie (conception de zones) et en analyse spatiale (analyse exploratoire de données spatiales).

Ces chapitres se sont révélés intéressants à plusieurs titres : (i) le mode d'approche des variables contextuelles (choix et regroupement des variables en 4 domaines), (ii) les concepts SIG adoptés et mis en place, (iii) la stratégie de l'analyse statistique choisie pour traiter des données multidimensionnelles, (iv) le choix de l'unité spatiale et statistique de base, et (v) définition spatiale de l'environnement de voisinage.

A partir des différentes variables recueillies sur la Communauté Urbaine de Strasbourg, notre approche multidimensionnelle nous a permis de développer une nouvelle mesure de la défaveur et de décrire, ainsi, l'environnement de voisinage d'une manière plus contextuelle que les études précédemment menées par d'autres travaux réalisés sur ce même territoire (73, 74, 76).

La mise en place de l'approche expérimentale développée par Dave Martin, nous a permis d'affiner l'échelle d'analyse concentrée autour des zones exclusivement habitables homogènes, définies comme étant « *l'environnement de voisinage* ».

L'analyse de cet environnement de voisinage révèle des concentrations de profils de populations similaires qui témoignent d'une grande disparité contextuelle au sein de la CUS :

- une opposition de profils contextuels de populations entre le centre de Strasbourg et la périphérie.
- une opposition de profils contextuels à l'intérieur même de la ville de Strasbourg.

La spatialisation des profils contextuels met en évidence une concentration de trois formes de disparités qui divise l'espace urbain en 3 couronnes :

- un gradient centre-périphérie avec deux profils qui caractérisent le centre et les noyaux urbains anciens : une première couronne de profils contextuels concentrés autour de la ville,
- deux couronnes qui correspondent à des extensions urbaines de ces dernières décennies et à l'étalement urbain réalisé dans la CUS.

Dès lors, il est nécessaire d'examiner la relation entre l'environnement de voisinage, la santé et les expositions environnementales. Les zones qui cumulent les facteurs de risque, ont-elles de mauvais états de santé, et /ou des expositions environnementales plus élevées ?

Répondre à ces questions implique d'estimer, au préalable, des données sanitaires et des données d'exposition environnementale.

Dans la suite de ce travail, notre analyse portera sur les liens entre les profils contextuels des territoires, les expositions environnementales, et l'état de santé au sein de l'espace de la CUS, en l'occurrence la survenue d'exacerbation d'asthme et de l'Infarctus du Myocarde.

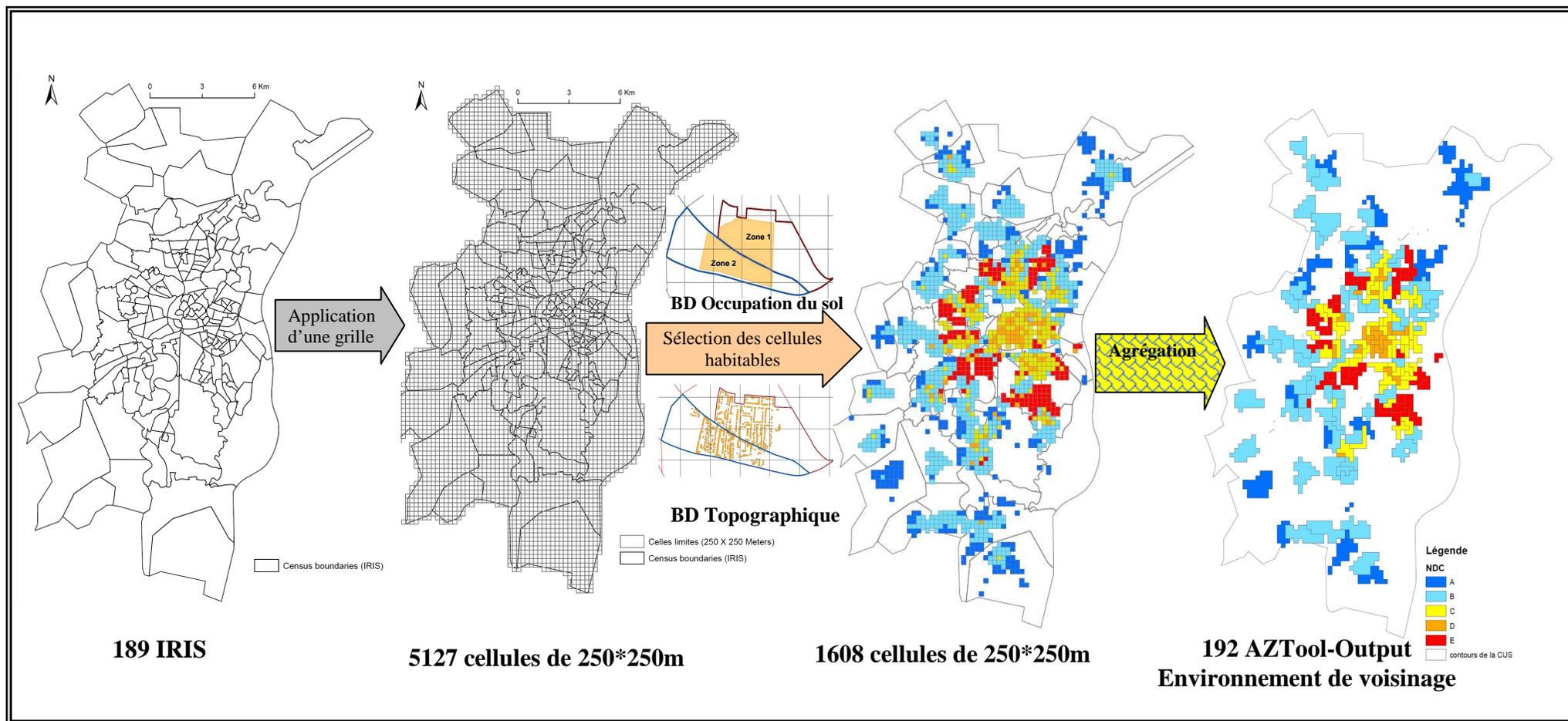


Figure 19. Schéma récapitulatif des différentes étapes de notre approche expérimentale

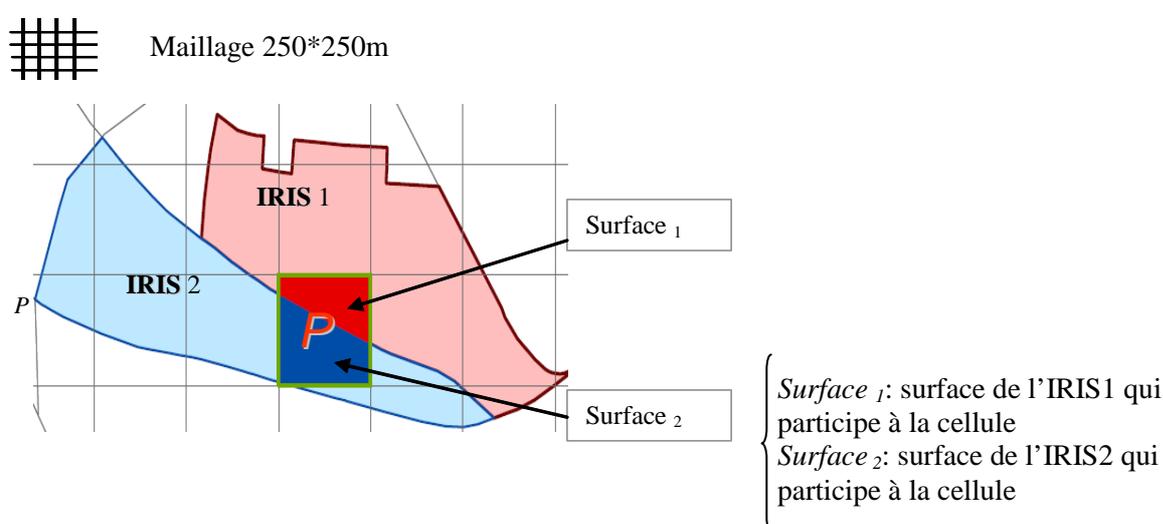
## Note méthodologique N°1: Analyse spatiale

### 1. Traitement spatial des données zonales

#### 1.1. Estimation de la population des cellules à partir des IRIS de manière proportionnelle à la surface de l'IRIS qui contribue à la cellule : Désagrégation simple (méthode 1)

On postule dans cette méthode une équirépartition des populations sur le périmètre des IRIS

Cette méthode s'obtient par une fonction du logiciel ArcGIS. Cette méthode ne nécessite pas de données spécifiques. Elle consiste à affecter la population de l'IRIS (qui est connue) à une zone étudiée (la cellule) de manière proportionnelle à la surface de l'IRIS intersectée par le périmètre de la cellule (Figure 20).



**Figure 20.** Exemple d'estimation de la population selon la méthode « 1 » dans une cellule 250\*250m qui appartient à deux IRIS

#### 1.2. L'estimation de la population des cellules à partir des IRIS de manière proportionnelle à la surface bâtie (bâtiments) comprise dans les cellules (méthode 2)

Cette méthode suppose que la population se répartit de manière homogène sur la surface bâtie.

Cette méthode nécessite une base de données d'occupation du sol présentant une surface bâtie. Comme décrit plus haut, nous disposons de deux couches d'occupation du sol : BDCarto de l'IGN et la BDOCS2000 CIGAL.

La couche d'occupation du sol de la BDCarto de l'IGN comprend de nombreux thèmes (*cf. Annexe N°1 : base de données*) : nous avons donc effectué une sélection dans l'optique de garder uniquement les zones bâties.

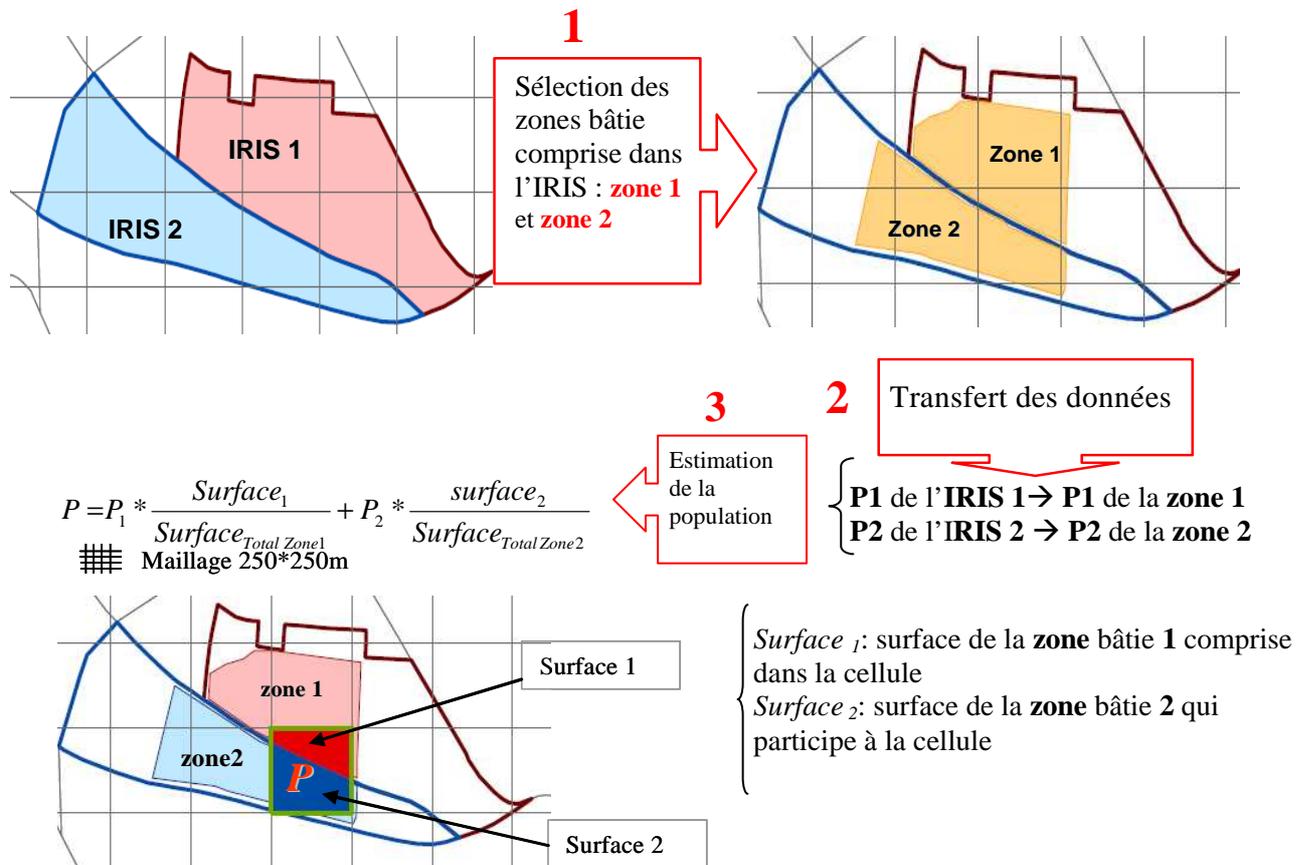
De la même manière, nous avons sélectionné les zones bâties dans la base de données BDOCS2000 de CIGAL.

À la différence de la BDOCS2000 de CIGAL, la BDCarto de l'IGN ne distingue pas le bâti habité du non habité (Figure 21). Afin de pouvoir exclure tout ce qui ne constitue pas des lieux de vie, comme les cimetières, les gares, les hôpitaux, les grandes zones d'espaces verts, les infrastructures commerciales, industrielles (usine à gaz, marché de gros) ou portuaires, et ne garder que les zones bâties habitées, nous avons retenu la BDOCS2000, CIGAL.



**Figure 21.** Superposition des couches bâties des deux bases de données : BDCarto, IGN et BDOCS2000, CIGAL

Une fois la couche bâtie choisie, la méthode consiste dans un premier temps à transférer les données de l'IRIS vers la zone bâtie comprise dans cet IRIS. Cela s'obtient par la fonction découpage du logiciel ArcGIS (Figure 22).

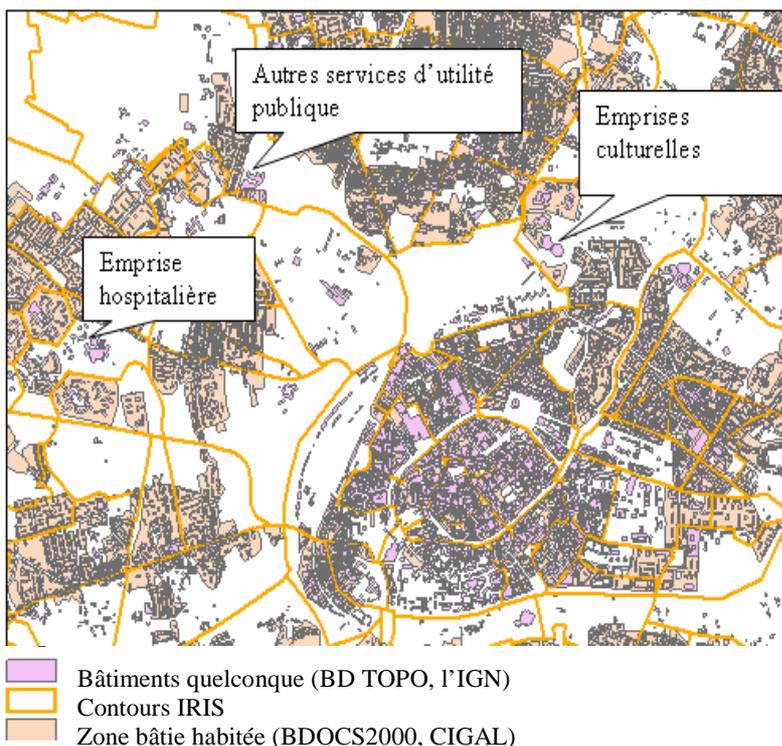


**Figure 22.** Description de l'estimation de la population « P » de la cellule 250\*250m selon la méthode

### 1.3. Estimation de la population des cellules à partir des IRIS de manière proportionnelle à la densité des bâtiments inclus dans les cellules (méthode 3)

La méthode nécessite une base de données vectorielles caractérisant la situation des bâtiments d'habitation. C'est le cas de la BDTopo de l'IGN. Cette base de données distingue les bâtiments de type industriel, agricole ou commercial des autres bâtiments, nommés « quelconques ».

Ces bâtiments quelconques regroupent l'habitat, mais aussi des bâtiments de bureaux relevant du secteur tertiaire (Figure 23).



Les bâtiments classés « quelconques » dans la BDTOPO, IGN regroupent aussi bien les bâtiments habités que les bâtiments d'autres usages

**Figure 23.** Description des bâtis de la BDTOPO, IGN

Une extraction des bâtiments habités a été réalisée à l'aide de la base BDOCS-2000 CIGAL. Nous avons ainsi sélectionné 39 834 bâtiments habités.

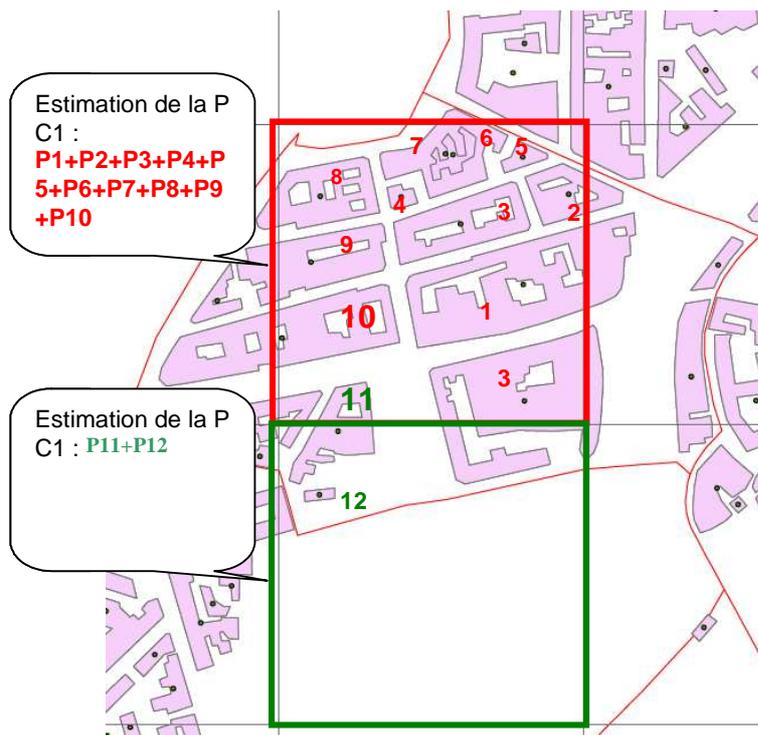
Cette sélection nous conduit à exclure un certain nombre d'IRIS ne contenant pas de bâtiments quelconques habités.

Dans un premier temps, il est nécessaire de sélectionner les bâtiments qui sont inclus dans l'IRIS pour pouvoir transférer les données de l'IRIS vers les bâtiments.

De la même manière, nous avons transféré les données de l'IRIS à la totalité des bâtiments à l'intérieur de l'IRIS, puis nous avons estimé la population dans chaque bâtiment habité.

### 1.4. Estimation de la population des cellules à partir des IRIS de manière proportionnelle à la surface des bâtiments inclus dans les cellules (méthode 4).

A la différence de la première méthode, on postule que la répartition de la population s'opère en fonction de la surface des bâtiments. Nous avons utilisé les mêmes types de données (BDTopo, IGN), avec les mêmes hypothèses (Figure 24).



Exemple : bâtiment 3 :

Méthode 3 :

Population du bâtiment 3 =  
population de  
l'IRIS / (Nombre de bâtiments  
dans l'IRIS)

Méthode 4 :

Population du bâtiment 3 =  
population de l'IRIS X  
[surface du bâtiment 3] /  
surface de tous les  
bâtiments]

Où :  $P1$  : Population attribuée au bâtiment 1,  $P2$  : Population attribuée au bâtiment 2,  $P3$  : Population attribuée au bâtiment 3,....ect

**Figure 24.** Description de l'estimation de la population en fonction soit de la superficie ou de la densité des bâtiments habités

### 1.5. Estimation de la population des cellules à partir des IRIS de manière proportionnelle à la surface développée des bâtiments habités inclus dans les cellules (méthode 5).

La BDTopo ne donnant pas le nombre d'étages ou la hauteur des bâtiments mais seulement l'altitude du toit du bâtiment par rapport au niveau de la mer, nous avons procédé à l'estimation du nombre d'étages des bâtiments à partir des courbes de niveaux et des points cotés de la BDTopo (altitude au sol).

La hauteur moyenne d'un étage étant de 3 mètres<sup>32</sup>, nous avons pu estimer le nombre d'étages après avoir estimé la hauteur des bâtiments.

Une fois le nombre d'étages estimés, on peut prendre en compte chaque étage lors de la ventilation des données. Cependant, si l'on procède ainsi, on postule que chaque niveau, y compris le rez-de-chaussée, est habité. Or cela peut être vrai dans un secteur d'habitat collectif, mais ce n'est pas le cas en centre ville. Une grande partie des premiers niveaux des constructions du centre ville ne sont pas à usages d'habitation, mais plutôt commercial, ou autres activités. Pour contourner ce biais de classification : « étage habité » ou « étage non habité », nous avons sélectionné à l'aide de la base BDOCS2000 tous les bâtiments du centre ville, et postulé

<sup>32</sup> La hauteur moyenne de 3 mètres pour un étage a été utilisée par le CETE Normandie-centre puis validé par une comparaison sur le terrain.

l'hypothèse suivante : si N est le nombre d'étages estimé à partir de la hauteur, alors  $N_{\text{habité}}$  est égale à N-1

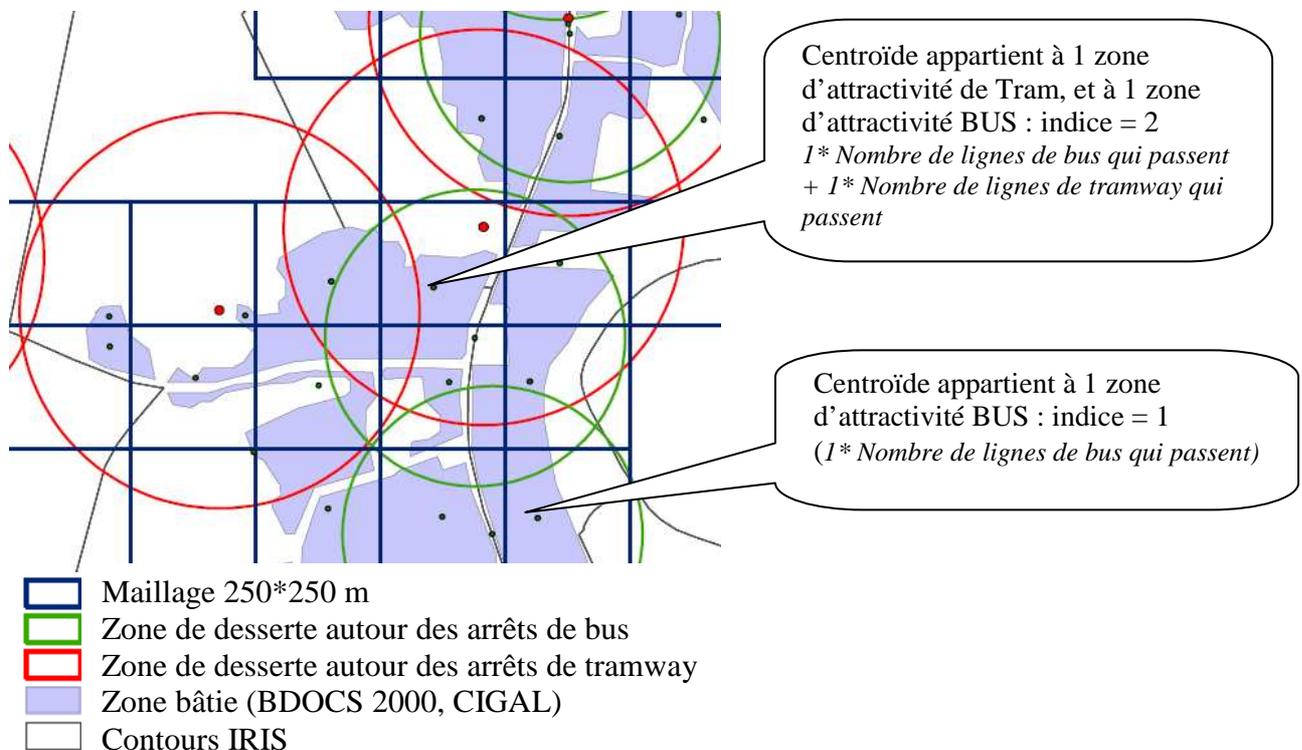
$$N_{\text{Habité}} = N_{\text{estimé}} - 1$$

## 2. Traitement spatial des données ponctuelles

### 2.1. Transport en commun

Nous avons, à partir des données mises à notre disposition par les services de la CUS et l'ASPA, conçu des zones de desserte de 300 m autour des arrêts de bus, et de 400 m autour des arrêts de tramway (cf. Figure 25).

Afin d'évaluer le niveau de desserte par les transports en commun des habitants de chaque cellule, nous avons affecté à chaque cellule un indice de 1 (quand la cellule est dans la zone de desserte de l'arrêt de transport) ou de 0 (quand la cellule est en dehors de la zone de desserte). A la présence ou absence d'un moyen de transport (1 ou 0), nous avons additionné le nombre de zones de desserte à laquelle les centroïdes appartiennent et pondéré par le nombre de passages (nombre de lignes) (Figure 25).



**Figure 25.** Schéma explicatif du traitement spatial des données du transport en commun

### 2.2. Espace vert

Afin d'évaluer la capacité de l'espace vert, nous nous sommes basés sur une étude française de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (26) de la Région d'Ile-de-France IAURIF qui a montré lors d'une enquête (27) que les aires d'attractivité sont fonction de l'importance de la superficie de l'espace considéré :

- pour les espaces verts de moins de 1 ha, l'attraction de proximité est immédiate et ne **dépasse pas 100 mètres** ;
- les espaces verts de 1 à 10 ha, le rayon d'attraction est de **500 mètres** ;

- les espaces verts supérieurs à 10 ha, le rayon **d'attraction est de 1 km**

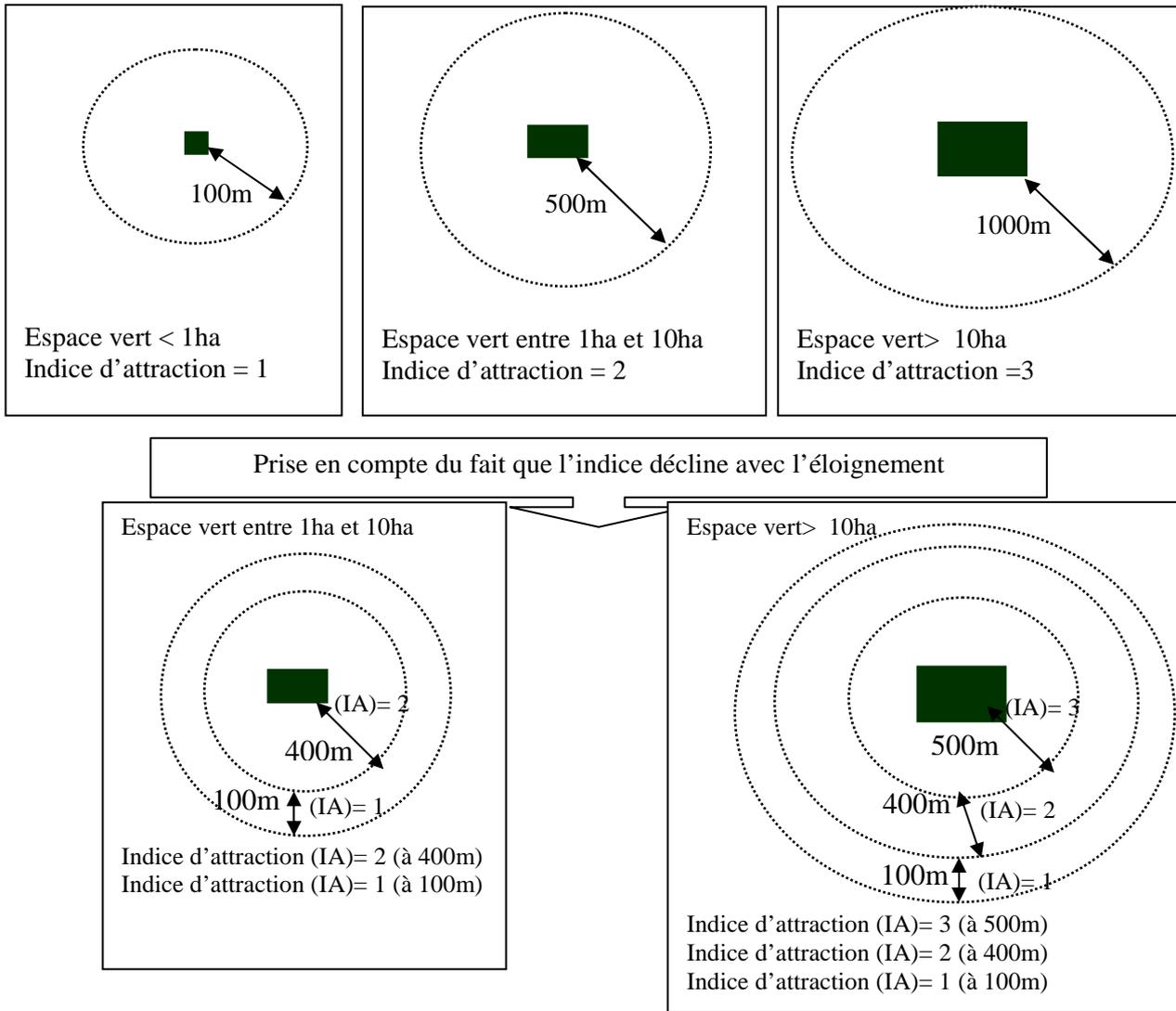
Cependant, les travaux du CERTU soulignent bien, que la valeur d'attractivité décline avec l'éloignement. De ce fait, pour hiérarchiser l'attraction des espaces verts, nous avons pris en compte aussi bien les résultats de l'étude de l'IAURIF que l'approche d'évaluation de la zone d'attraction du CERTU.

Seuls les espaces verts publics ont été pris en compte, ce qui implique que nous avons exclu tous les espaces verts agricoles ou les cultures annuelles, les prairies,...etc.

Partant de la base BDOCS2000, nous avons ainsi sélectionné exclusivement les espaces verts publics (en excluant les espaces verts agricoles ou les cultures annuelles, les prairies...) puis créé des zones d'influence décomposées en bandes concentriques auxquelles on affecte différents indices d'attraction (cf. Figure 26) :

- Les espaces verts de moins de 1ha auront une seule bande de 100 mètres dont l'indice d'attraction est de 1
- Les espaces de moins de 10 ha auront deux bandes, la première de 400m dont l'indice d'attraction est de 2, la deuxième de 100 m dont l'indice d'attraction est de 1
- Les espaces verts de plus de 10 ha auront trois bandes, la première de 500 m dont l'indice est de 3, la deuxième de 400 m dont l'indice d'attraction est de 2, la troisième de 100 m dont l'indice d'attraction est de 1.

Cependant, l'indice d'attractivité est cumulatif : si une cellule appartient à deux zones d'attractivité, on additionne les deux indices. L'indicateur d'attractivité construit est cartographié (Figure 26).



**Figure 26.** Schéma d'attribution des indices d'attraction aux espaces verts en fonction de leur surface

### 2.3. Commerces de proximité

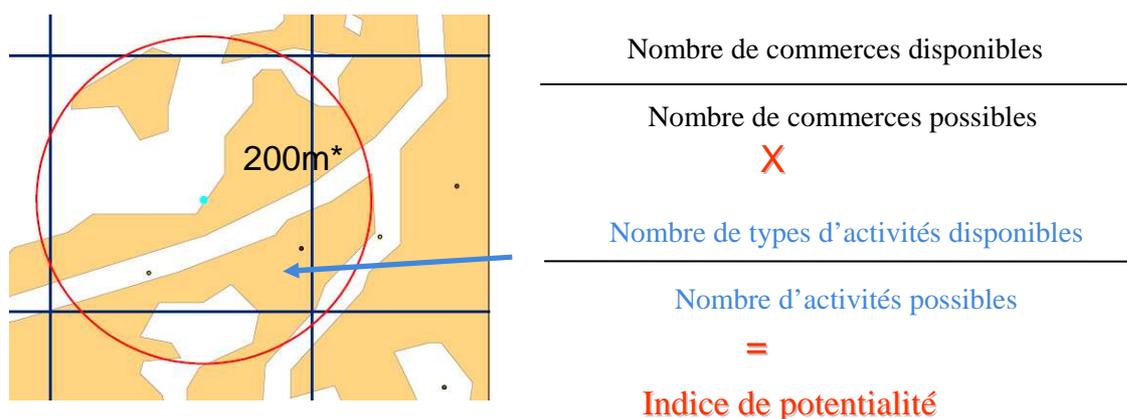
La source de données la plus complète est la base de données SIRENE<sup>33</sup>. Cependant, ce fichier ne recense pas la localisation des commerces ambulants, à savoir les marchés de type alimentaire. Une autre base recensant les marchés nous a été fournie par les services de la CUS.

Afin de caractériser la potentialité en commerce de proximité nous nous sommes inspirés d'une méthode développée par le CERTU. Cette approche prend en compte aussi bien la disponibilité du commerce de proximité que de sa diversité.

A partir du fichier SIRENE, nous avons sélectionné un certain nombre de commerces<sup>34</sup> qui contribuent en principe à la vie quotidienne (*cf. Annexe N°1 : bases de données*).

L'indicateur est construit à partir de la quantité des commerces disponibles et la diversité des commerces de proximité pour chaque cellule, autrement dit, la disponibilité pondérée par la diversité.

La quantité des commerces correspond au comptage du nombre de commerces dans une zone tampon de 200 mètres autour des centroïdes des zones bâties des cellules. Quant à la diversité, elle correspond au nombre de types d'activités disponibles. L'indicateur final est le poids relatif du nombre de commerces sur la valeur maximale (disponibilité) pondéré par le poids relatif du nombre d'activités sur le nombre maximal d'activités possibles (diversité). (Figure 27).



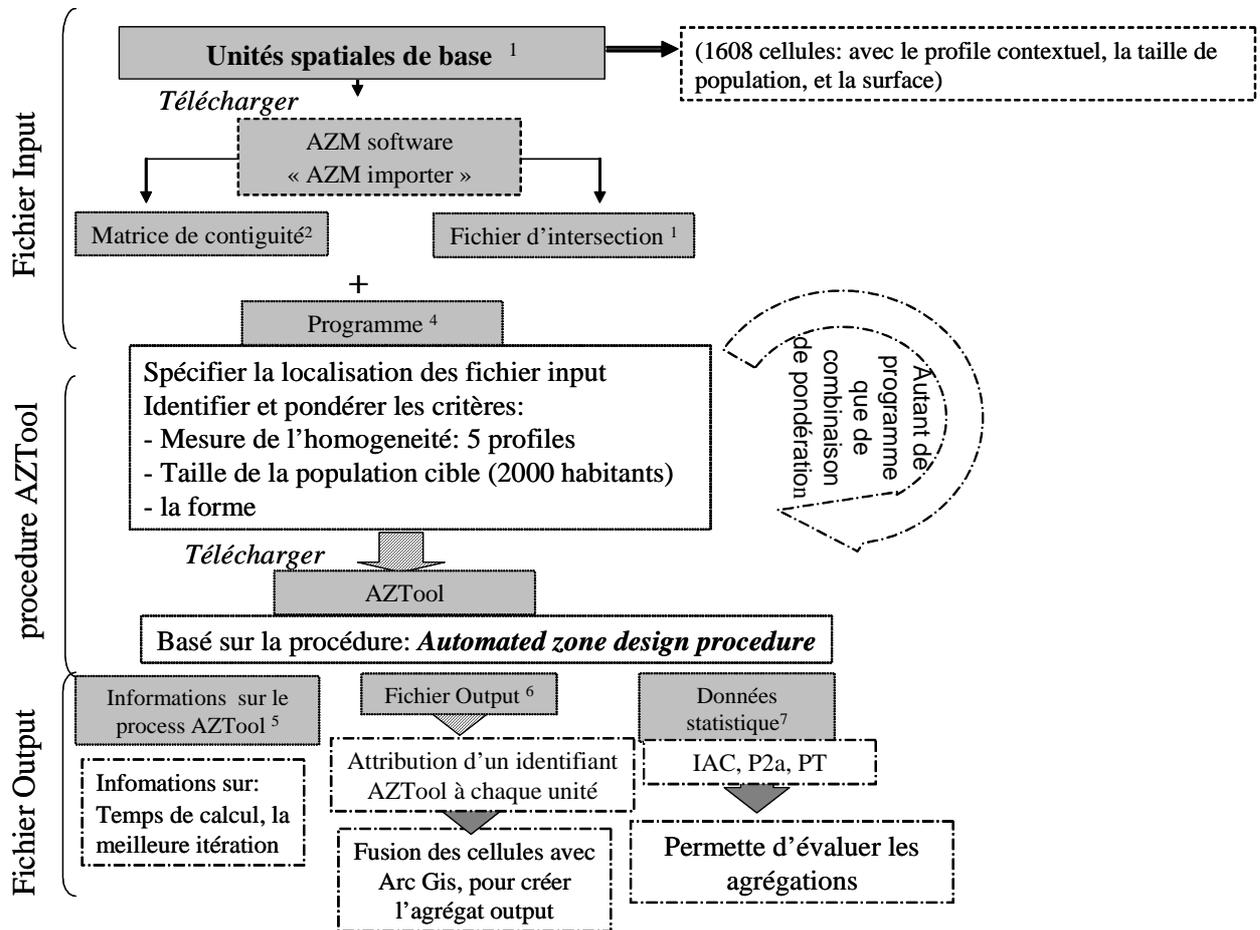
**Figure 27.** Schéma explicatif du calcul de l'indice de la potentialité commerciale

<sup>33</sup> Voir annexe N°1 : « bases de données et informations spatiales ».

<sup>34</sup> Les commerces de type alimentaire (spécifique, ou non), et autres services : poste, banque, médecin, ....

*Note méthodologique N°2 : procédure d'agrégation (AZTool)*

**1. Procédure d'agrégation : AZTool**



Format des fichiers : <sup>1</sup>fromat shape; <sup>2</sup> .AAT file; <sup>3</sup> .PAT file; <sup>4</sup> .XLM file; <sup>5</sup> .Log file; <sup>6</sup> .csv file; <sup>7</sup> .txt file.

IAC: Intra Area Correlation; P2a: Measure shape compactness;

**Figure 28.** Schéma explicatif des étapes de la procédure d'agrégation

**2. Exemple d'agrégat linière et d'agrégat circulaire.**

La Figure 29 décrit 2 exemples d'agrégations résultant de deux combinaisons. Le premier résulte de la condition **II** et illustre un agrégat plus compact. Le deuxième qui présente une forme plus linière résulte de la condition **V**.



**Figure 29.** Zonage AZtool-output plus compacte (A), zonage AZTool-output plus linière (B)

### 3. Procédure d'optimisation du nombre d'itérations du programme AZTool

Pour optimiser l'agrégation issue des deux combinaisons les plus optimales, nous avons essayé d'augmenter le nombre de simulations (Run) de 1 000 à 10 000. Les valeurs des IAC produites par chaque simulation sont ensuite comparées.

Comme illustré dans le Tableau 13, nous n'avons pas noté d'augmentation significative de gain (augmentation des valeurs IAC). Par exemple, pour un run=10000, IAC= 0.568 and Run= 1000, IAC=0.566 pour la condition n°III.

C'est ainsi que la combinaison résumée dans la condition III a été adoptée comme la solution optimale avec un nombre de simulations égal à 1000 run.

**Tableau 13.** Résultats des simulations pour les combinaisons retenues II et III

Nombre de simulation	CONDITIONS EXPERIMENTALES	
	II	III
Run		
10	0,525	0,539
1000	0,512	<b>0,566</b>
2000	0,518	0,543
3000	0,529	0,554
4000	0,53	0,57
10000	0,541	0,568

#### 4. Exemple des limites de l'approche AZTool

L'algorithme AZP, sur lequel AZTool est basé, utilise l'information de contiguïté (matrice de contiguïté) issue du SIG. La contiguïté entre les cellules, qui définit le voisinage, s'exprime par l'existence de frontières communes entre les unités spatiales et non par la présence d'un nœud en commun.

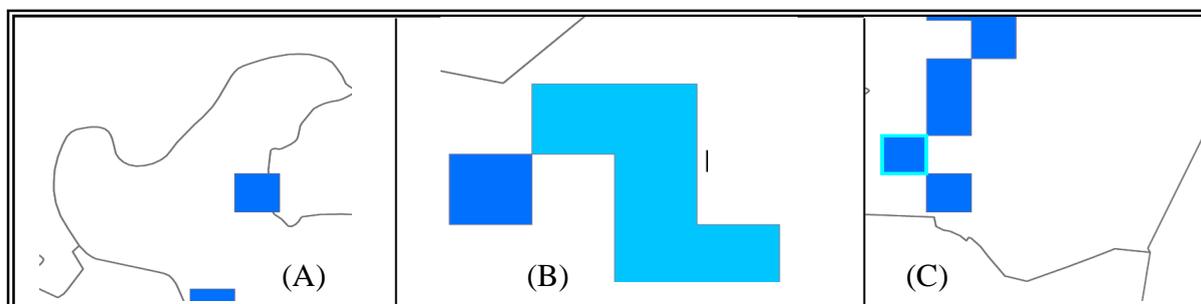
Cette contrainte de contiguïté implique deux types de cellules ou encore appelées les polygones non pris en compte par l'algorithme d'AZTool : Polygone isolé totalement (Island polygons) et polygone isolé partiellement (*isolated polygon*).

**Polygone isolé (Island polygons):** nos données d'entrées incluent 11 polygones isolés totalement (cellules de 250\*250m qui n'ont aucune frontière commune avec d'autres unités, comme illustré dans la Figure 27a). Ces unités très peu peuplées (moins de 100 habitants) ont été exclues à cette étape de l'analyse.

#### **Polygone isolé partiellement (*isolated polygon*)**

La contiguïté avec un point ou deux points n'est pas reconnue par le programme (Figure 30b, c). Ces cellules partiellement isolées ne sont donc pas agrégées à d'autres cellules même si elles possèdent un sommet en commun (un point ou deux en commun).

Dans notre zone d'étude, ce type de cellules, au nombre de 13, ont été agrégées manuellement aux cellules ou aux autres agrégats déjà formés qui partagent un sommet (ou point) en commun et un profil contextuel identique.



**Figure 30.** Exemples de polygone isolé : (a) polygone totalement isolé, (b) polygone partiellement isolé avec un sommet en commun et (c) polygone partiellement isolé avec deux sommets en commun.



## REFERENCES

---

---

- (1). Bard D, Laurent O, Filleul L, et al. Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes: an overview of the PAISARC Project. *Environ Res Lett* 2007;2.
- (2). Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise. Rapport d'étude: *De la qualité de vie au diagnostic urbain: vers une nouvelle méthode d'évaluation* - Le cas de la ville de Lyon. CERTU;2006.
- (3). Pearce J, Witten K, Hiscock R, Blakely T. Are socially disadvantaged neighbourhoods deprived of health-related community resources? *Int J Epidemiol* 2007;36(2):348-355.
- (4). Townsend P; Deprivation. *Journal of Social Policy* 1987;16(125):146.
- (5). Carstairs V. Deprivation indices: their interpretation and use in relation to health. *J Epidemiol Community Health* 1995;49 Suppl 2:S3-S8.
- (6). Basagana X, Sunyer J, Kogevinas M, et al. Socioeconomic status and asthma prevalence in young adults: the European Community Respiratory Health Survey. *Am J Epidemiol* 2004;160(2):178-188.
- (7). Chaix B, Rosvall M, Merlo J. Neighborhood socioeconomic deprivation and residential instability: effects on incidence of ischemic heart disease and survival after myocardial infarction. *Epidemiology* 2007;18(1):104-111.
- (8). Kunst AE, Groenhouf F, Andersen O, et al. Occupational class and ischemic heart disease mortality in the United States and 11 European countries. *Am J Public Health* 1999;89(1):47-53.
- (9). Mielck A, Reitmeir P, Wjst M. Severity of childhood asthma by socioeconomic status. *Int J Epidemiol* 1996;25(2):388-393.
- (10). Maddock J. The relationship between obesity and the prevalence of fast food restaurants: state-level analysis. *Am J Health Promot* 2004;19(2):137-143.
- (11). Mehta NK, Chang VW. Weight Status and Restaurant Availability: A Multilevel Analysis. *Am J Prev Med* 2008;34(2):127-133.

- (12). Timperio A, Ball K, Roberts R, et al. Children's fruit and vegetable intake: Associations with the neighbourhood food environment. *Prev Med* 2008;46(4):331-335.
- (13). Pearce J, Hiscock R, Blakely T, Witten K. A national study of the association between neighbourhood access to fast-food outlets and the diet and weight of local residents. *Health & Place* 2009;15(1):193-197.
- (14). King WC, Belle SH, Brach JS, et al. Objective Measures of Neighborhood Environment and Physical Activity in Older Women. *Am J Prev Med* 2005;28(5):461-469.
- (15). Kyle T, Dunn JR. Effects of housing circumstances on health, quality of life and healthcare use for people with severe mental illness: a review. *Health Soc Care Community* 2008;16(1):1-15.
- (16). Scheffler RM, Brown TT, Syme L, et al. Community-level social capital and recurrence of acute coronary syndrome. *Soc Sci Med* 2008;66(7):1603-1613.
- (17). Shankardass K, Jerrett M, Milam J, et al. Social environment and asthma: associations with crime and No Child Left Behind programmes. *J Epidemiol Community Health* 2010;65(10):859-65.
- (18). Merlo O, Bell SJ, Mengüç B, Whitwell GJ. Social capital, customer service orientation and creativity in retail stores. *J Bus Res* 2006;12(59):1214-1221.
- (19). Sundquist J, Johansson SE, Yang M, Sundquist K. Low linking social capital as a predictor of coronary heart disease in Sweden: A cohort study of 2.8 million people. *Soc Sci Med* 2006;62(4):954-963.
- (20). Burnet R. *Les mots de la géographie*. PARIS: La Documentation Française; 1994.
- (21). Clark PJ, Evans FC. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 1954;35(4):445-453.
- (22). Bussi M, Dab W. Analyse spatiale de la consommation de médicaments psychotropes: L'exemple de l'agglomération rouennaise. *Natures sciences sociétés* 1996;4(1):37-49.
- (23). Lévy J, Lussault M. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. eds. *Berlin*. Paris; 2003.
- (24). CERTU. *Rapport sur les Methodes d'estimations de population : Comparaisons et seuils de validit*. CERTU;2005.

- (25). Ballion R., Granjean A. *Aire d'attractivité des espaces verts publics urbains de la région d'Île-de-France*. Paris; 1982.
- (26). Sauvaget D. *Les espaces verts urbains dans l'agglomération parisienne*. IAURIF;1974.
- (27). Tilt JH, Unfried TM, Roca B. Using objective and subjective measures of neighborhood greenness and accessible destinations for understanding walking trips and BMI in Seattle, Washington. *Am J Health Promo*. 2007;21(4 Suppl):371-379.
- (28). Bell JF, Wilson JS, Liu GC. Neighborhood Greenness and 2-Year Changes in Body Mass Index of Children and Youth. *Am J Prev Med* 2008;35(6):547-553.
- (29). Liu GC, Wilson JS, Qi R, Ying J. Green neighborhoods, food retail and childhood overweight: differences by population density. *Am J Health Promot* 2007;21(4 Suppl):317-325.
- (30). Potwarka LR, Kaczynski AT, Flack AL. Places to play: association of park space and facilities with healthy weight status among children. *J Community Health* 2008;33(5):344-350.
- (31). Roemmich JN, Epstein LH, Raja S, et al. Association of access to parks and recreational facilities with the physical activity of young children. *Prev Med* 2006;43(6):437-441.
- (32). Lovasi GS, Quinn JW, Neckerman KM, Perzanowski MS, Rundle A. Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. *J Epidemiol Community Health* 2008;62(7):647-649.
- (33). Forsyth A, Schmitz K, Hearst MO, Oakes JM. Design and Destinations: Factors Influencing Walking and Total Physical Activity. *Urban Stud*. 2008;45(9):1973-1996.
- (34). Witten K, Hiscock R, Pearce J, Blakely T. Neighbourhood access to open spaces and the physical activity of residents: A national study. *Prev Med* 2008;47(3):299-303.
- (35). Hillsdon M, Panter J, Foster C, Jones A. The relationship between access and quality of urban green space with population physical activity. *Public Health* 2006;120(12):1127-1132.
- (36). Nagel CL, Carlson NE, Bosworth M, Michael YL. The relation between neighborhood built environment and walking activity among older adults. *Am J Epidemiol* 2008;168(4):461-468.

- (37). Diez Roux AV, Evenson KR, McGinn AP, et al. Availability of recreational resources and physical activity in adults. *Am J Public Health* 2007;97(3):493-499.
- (38). Tucker P, Irwin JD, Gilliland J, et al. Environmental influences on physical activity levels in youth. *Health & Place* 2009;15(1):357-363.
- (39). Cohen DA, Ashwood JS, Scott MM, et al. Public parks and physical activity among adolescent girls. *Pediatrics* 2006;118(5):e1381-e1389.
- (40). Rutt CD, Coleman KJ. Examining the relationships among built environment, physical activity, and body mass index in El Paso, TX. *Prev Med* 2005;40(6):831-841.
- (41). Lee RE, Cubbin C, Winkleby M. Contribution of neighbourhood socioeconomic status and physical activity resources to physical activity among women. *J Epidemiol Community Health* 2007;61(10):882-890.
- (42). Burdette HL, Whitaker RC. Neighborhood playgrounds, fast food restaurants, and crime: relationships to overweight in low-income preschool children. *Prev Med* 2004;38(1):57-63.
- (43). Lee C, Moudon AV. Neighbourhood design and physical activity. *Building Research and Information* 2008;36:395-411
- (44). Clifton KJ. Women's Travel Behavior and Land Use: Will New Styles of Neighborhoods Lead to More Women Walking? *Transportation Research Board* 2004:79-80.
- (45). Sturm R, Datar A. Body mass index in elementary school children, metropolitan area food prices and food outlet density. *Public Health* 2005;119(12):1059-1068.
- (46). Powell LM, Auld MC, Chaloupka FJ, O'Malley PM, Johnston LD. Associations Between Access to Food Stores and Adolescent Body Mass Index. *Am J Prev Med* 2007;33(4, Supplement 1):S301-S307.
- (47). Moore LV, Diez- Roux AV. Associations of neighborhood characteristics with the location and type of food stores. *Am J Public Health* 2006;96(2):325-331.
- (48). Escoffier B, Pages J. Analyses factorielles simples et multiples. *eds Dunod*. Paris;1998.
- (49). Gordon D. Census based deprivation indices: their weighting and validation. *J Epidemiol Community Health* 1995;49 Suppl 2:S39-S44.

- (50). Morris R, Carstairs V. Which deprivation? A comparison of selected deprivation indexes. *J Public Health Med* 1991;13(4):318-326.
- (51). Departement of Environment TatRD. Indices of deprivation. Departement of Environment, Transport, and the Region, London. Retrieved 2000, disponible sur:[http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm\\_urbanpolicy/documents/downloadable/odpm\\_urbpol\\_021680.pdf](http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_urbanpolicy/documents/downloadable/odpm_urbpol_021680.pdf).
- (52). Martin D. Optimizing census geography: the separation of collection and output geographies. *Int J Geographical Information Science* 1998;12(7):673-685.
- (53). Grady S, Enander H. Geographic analysis of low birthweight and infant mortality in Michigan using automated zoning methodology. *International Journal of Health Geographics* 2009;8(1):10.
- (54). Elliott P, Briggs D, Morris S, de HC, Hurt C, Jensen TK, et al. Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. *British Medical Journal* 2001;323(7309):363-8.
- (55). Sundquist J, Malmstrom M, Johansson SE. Cardiovascular risk factors and the neighbourhood environment: a multilevel analysis. *Int J Epidemiol* 1999 ;28(5):841-5.
- (56). Flowerdew R, Manley DJ, Sabel CE. Neighbourhood effects on health: Does it matter where you draw the boundaries? *Social Science & Medicine* 2008 Mar;66(6):1241-55.
- (57). Tatalovich Z, Wilson JP, Milam JE, Jerrett ML, McConnell R. Competing definitions of contextual environments. *International Journal of Health Geographics* 2006;5:55.
- (58). Martin D. Automatic neighbourhood identification from population surfaces. *Computers, Environment and Urban Systems* 1998;22(2):107-20.



*Partie III*

---

*EVALUATION DE L'EFFET MODIFICATEUR DE  
L'ENVIRONNEMENT DE VOISINAGE « niveau de défaveur » SUR  
L'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE*



---

---

### III. EVALUATION DE L'EFFET MODIFICATEUR DE L'ENVIRONNEMENT DE VOISINAGE « *niveau de défaveur* » SUR L'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

---

---

Nous avons, dans la partie précédente de ce travail, développé une nouvelle mesure de défaveur contextuelle, et élaboré, sur la base de ce niveau de défaveur, une nouvelle segmentation de la CUS à l'aide d'un nouvel outil de zonage

Cette dernière partie vise à évaluer l'effet d'un niveau de défaveur sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur le territoire d'étude : La Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).

Une description des données sanitaires (*infarctus du myocarde et appels d'urgence pour asthme*) et des données environnementales (*la modélisation de la pollution atmosphérique*), suivie de la description de la démarche d'analyse commune à l'ensemble de la dernière étape de ce travail (*design de l'étude cas-croisé, mise en place des modèles globaux, et stratifiés*) sont exposées dans le premier chapitre (1).

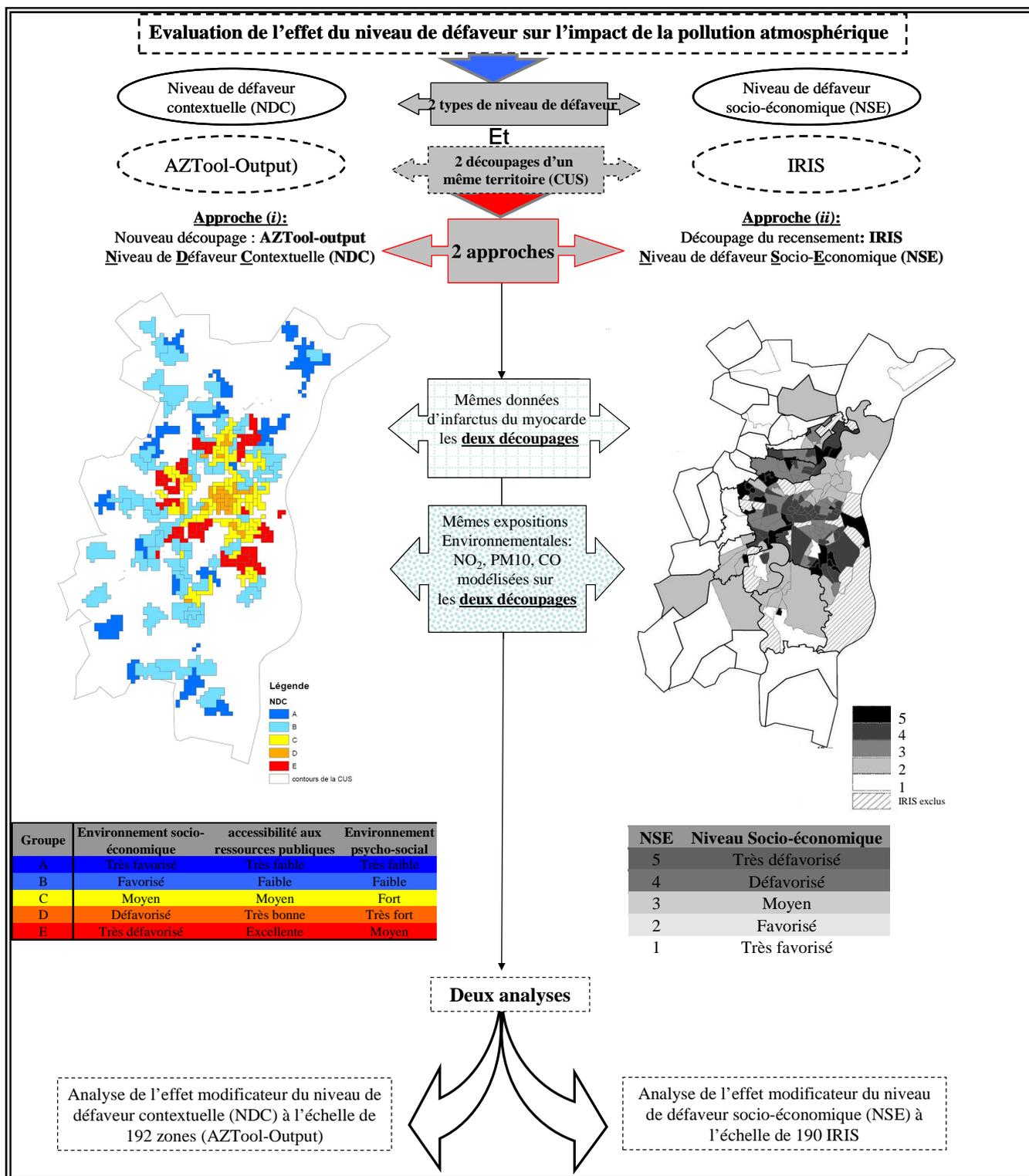
Ainsi, dans le but d'analyser la valeur ajoutée d'une mesure de défaveur contextuelle et d'un zonage adapté, l'évaluation de l'effet de l'environnement de voisinage a été mise en place selon deux approches (Figure 31) :

- Une analyse de l'effet du niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle du découpage du recensement de la CUS (IRIS) –*approche (i)*- ;
- une analyse de l'effet du niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle d'une de nouvelle segmentation (AZTool-Output) de la CUS –*approche (ii)*-.

Cette démarche d'évaluation est conduite à l'aide de deux cas d'étude :

- une première analyse est réalisée sur des données d'infarctus du myocarde : ***Niveau de défaveur-infarctus du myocarde - pollution atmosphérique*** (chapitre 2).
- une deuxième analyse est réalisée sur des données d'appels d'urgence pour asthme : ***Niveau de défaveur - appels d'urgence pour asthme - pollution atmosphérique*** (chapitre 3).

Ces deux chapitres retracent l'étape finale de la démarche adoptée pour répondre à notre questionnement de départ.



**Figure 31.** Schéma explicatif des approches d'analyse du niveau de défaveur

## **Chapitre 1 : Description des données sanitaires, environnementales et de la démarche méthodologique**

---

Dans un premier temps, nous exposerons, dans ce chapitre, les données recueillies relatives à deux événements de santé :

- l'infarctus du myocarde auprès du registre des Cardiopathies Bas-Rhin ;
- les crises d'asthme auprès des services d'urgentistes de Strasbourg : SAMU et SOS médecins

Dans un second temps, nous présenterons des données décrivant les expositions environnementales à l'aide des estimations des polluants atmosphériques, produites par l'Association de surveillance de la qualité de l'air d'Alsace.

---

### **III.1.1. Données de survenue d'infarctus**

#### **III.1.1.1. Source de données**

Les registres des cardiopathies ischémiques, au nombre de 3 en France, enregistrent en continu tous les cas d'infarctus du myocarde (fatals ou pas) qui surviennent au sein des populations âgées de 35 à 74 ans, domiciliées dans le département du Bas-Rhin. Chaque événement enregistré doit avoir été diagnostiqué dans les 28 jours suivant le début des symptômes.

#### **III.1.1.2. Recueil des données**

##### ***III.1.1.2.1. Période d'étude et caractéristiques des données***

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés particulièrement aux infarctus du myocarde caractérisés, qui regroupent tous les sujets vivants ou décédés pour lesquels le diagnostic d'infarctus du myocarde a été confirmé par un clinicien, survenus entre le 1<sup>er</sup> janvier 2000 et le 31 décembre 2007.

Les tranches d'âge ont été définies au préalable (35-54 et 55-74 ans) afin de satisfaire les conditions de confidentialité imposées par la CNIL permettant de garantir l'anonymisation totale des individus de chaque unité géographique.

### **III.1.1.2.2. Informations recueillies**

Le recueil des données a été conduit au sein même du registre à l'aide de l'examen complet des dossiers et papiers de chaque sujet. Pour chaque événement, les informations individuelles les plus pertinentes pour notre étude ont été recueillies :

- la date de l'épisode
- le genre du sujet
- l'âge du sujet codé selon deux tranches : 35-54 ans ou 55-74 ans
- l'adresse postale de résidence du sujet
- l'existence ou non d'antécédent d'infarctus du myocarde chez le sujet
- l'existence ou non d'antécédent de cardiopathie ischémique chez le sujet
- la survie ou non du sujet à 28 jours et si décès, la date de décès.

### **III.1.1.2.3. Géocodage des données**

A l'aide du Système d'Informations Géographiques (SIG) ArcView version 9.3 (Esri), chaque événement a été géocodé à la cellule de résidence du sujet. La donnée « *adresse postale* » a été remplacée par la donnée « *identifiant de la cellule de résidence* » à l'aide d'une procédure de géocodage (ou adressage)<sup>35</sup> à partir d'une base de données « *BD Adresse*<sup>36</sup> ».

Cette procédure d'adressage consiste, à l'aide de la BD adresse CUS, à construire une « table de passage » : fichier associant chaque adresse des communes de la CUS à une cellule (identifiant d'une cellule) de notre grille. Une fois la table créée, chaque adresse est localisée au centroïde de la cellule.

Aucune adresse postale n'est donc sortie des locaux de ces organismes. Cette procédure a reçu l'aval de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés<sup>37</sup>.

### **III.1.1.3. Description de la population d'étude**

Au total, nous avons géocodé 2134 événements d'infarctus du myocarde survenus entre le 1<sup>er</sup> janvier 2000 et le 31 décembre 2007, au sein de la population de la CUS âgée entre 35 et 74 ans.

---

<sup>35</sup> La procédure a été mise au point par un ingénieur d'étude du laboratoire LIVE : Fabrice MAGNIN-FEYSOT

<sup>36</sup> Voir annexe « bases de données géographiques »

<sup>37</sup> La CNIL nous a imposé qu'au moins 8 personnes d'une même tranche d'âge résidant dans chaque cellule, afin de garantir l'impossibilité d'effectuer des recoupements d'information permettant l'identification des patients. Les tranches d'âge ont été définies en tenant compte de cette contrainte.

Le tableau 14 présente les caractéristiques principales de la population d'étude par genre et par tranche d'âge.

Plus de 76% des sujets ayant souffert d'un infarctus du myocarde entre 2000 et 2007 étaient des hommes, dont 62% étaient âgés de plus de 55 ans. Environ 12% de la population avaient des antécédents d'infarctus du myocarde et près de 23% des antécédents d'une maladie ischémique.

La répartition du nombre d'événements par zone d'étude pour les femmes et les hommes est cartographiée ci-dessous (Figure 32).

**Tableau 14.** Descriptif des données d'infarctus du myocarde, 2000-2007, France

	<b>Femme (n=491)</b>		<b>Homme (n=1643)</b>		<b>Total (n=2134)</b>	
	N	%	N	%	N	%
<b>Tranche d'âge :</b>						
35-54 ans	136	27,7	639	38,9	775	36,3
55-74 ans	355	72,3	1004	61,1	1359	63,7
<b>Antécédent d'IDM<sup>1</sup></b>	45	9,2	214	13	259	12,1
<b>Antécédents de CPI<sup>2</sup></b>	107	21,8	389	23,7	496	23,2
<b>Décès à 28 jours</b>	62	12,6	144	8,8	206	9,7
<b>Nombre moyen d'événements par zone</b>	2 (0-12) <sup>a</sup>		8 (0-23) <sup>a</sup>		11 (0-35) <sup>a</sup>	

<sup>1</sup> IDM : Infarctus du Myocarde

<sup>2</sup>CPI, Cardiopathie Ischémique

<sup>a</sup> Nombre entre parenthèses correspond au minimum-maximum

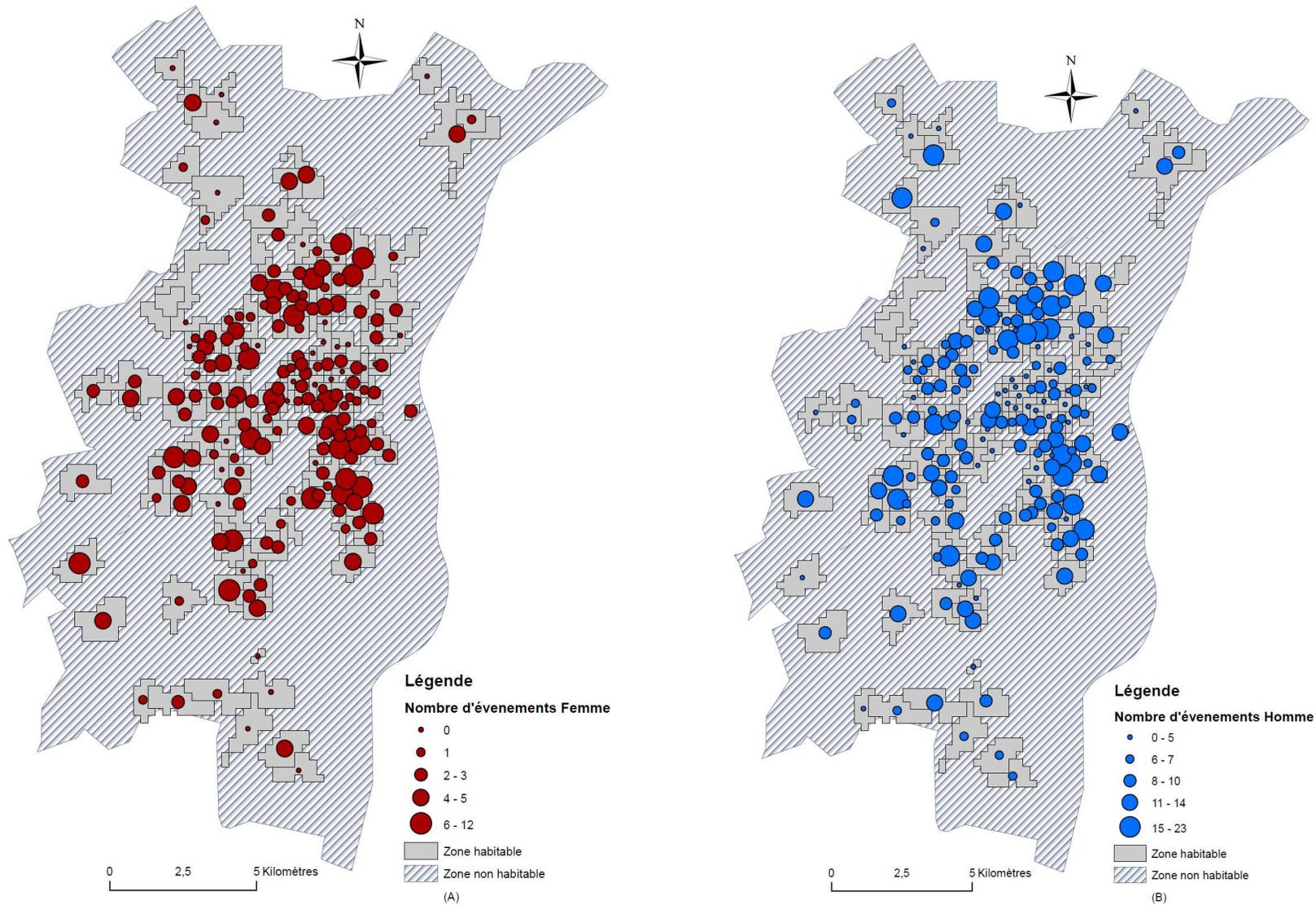


Figure 32. Distribution du nombre d'infarctus du myocarde par zone, CUS, 2000-2007 : chez les femmes (A) et chez les hommes (B)

### **III.1.2. Données d'asthme**

#### **III.1.2.1. Source de données**

Deux réseaux mobiles d'urgentistes de la CUS ont mis à notre disposition leurs données : SAMU67 et SOS Médecins.

Le *Service d'Aide Médicale Urgente du Bas-Rhin (SAMU67)* est un service public assurant la coordination de la médecine pré hospitalière, en particulier pour ce qui concerne les urgences. Les services du SAMU sont gratuits.

L'association *SOS Médecins Strasbourg* est un service privé de médecine générale d'urgence. Elle prend en charge des situations d'urgence, parfois à la demande du SAMU. Ses interventions sont remboursées a posteriori par l'Assurance Maladie.

#### **III.1.2.2. Recueil des données sur l' « exacerbation de l'asthme »**

##### ***III.1.2.2.1. Période d'étude et données***

Les données d'intervention du SAMU 67 et de SOS Médecins Strasbourg, pour crises d'asthme sur la CUS, ont été recueillies pour la période d'étude s'étendant ***du 1<sup>er</sup> janvier 2000<sup>38</sup> au 31 décembre 2008.***

Les tranches d'âge ont été définies, au préalable, pour le recueil des données sanitaires (0-9, 10-19, 20-39, 40-64 ou plus de 65 ans). Ce choix résulte de plusieurs impératifs :

- Le souhait de pouvoir mettre en regard ces données sanitaires avec les dénombrements de population fournis par l'INSEE qui construit des classes d'âge de 5 en 5 ans
- La prise en compte de l'influence des différentes tranches d'âge sur la prévalence et la sévérité de l'asthme.
- les conditions d'anonymisation des données imposées par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), à savoir, un effectif de population suffisant pour chaque classe d'âge et genre dans chaque unité d'étude.

##### ***III.1.2.2.2. Informations recueillies***

Le recueil des données a été conduit au sein même des services des urgentistes. Les variables suivantes ont été extraites des bases de données du SAMU et de SOS Médecins :

---

<sup>38</sup> Le 1<sup>er</sup> janvier 2000 correspond à la date de la mise en place de la Couverture Maladie Universelle (CMU) en France, qui garantit en principe une homogénéité des conditions financières d'accès aux soins des populations tout au long de la période d'étude.

- date de l'intervention
- adresse postale de l'intervention
- tranche d'âge du patient (0-9, 10-19, 20-39, 40-64 ou plus de 65 ans)
- genre du patient

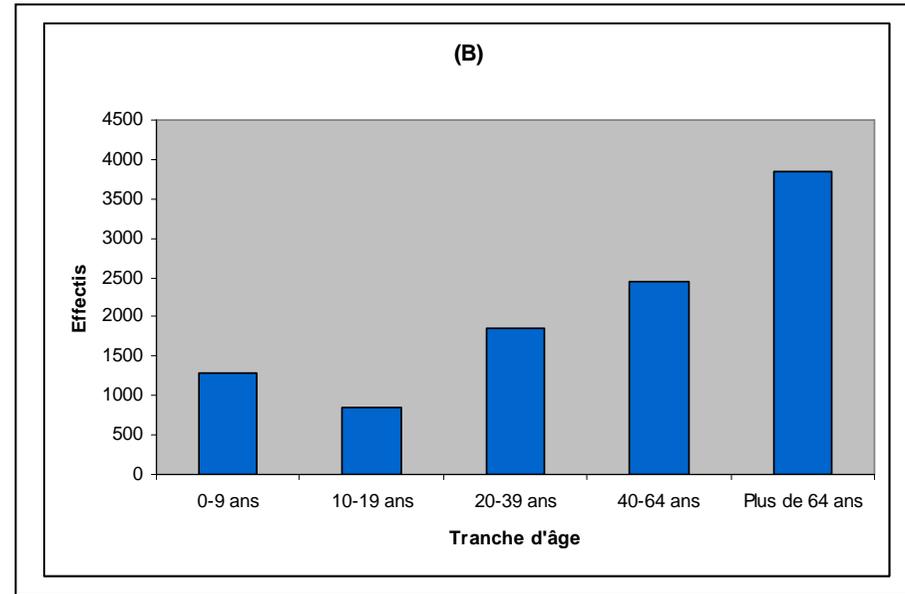
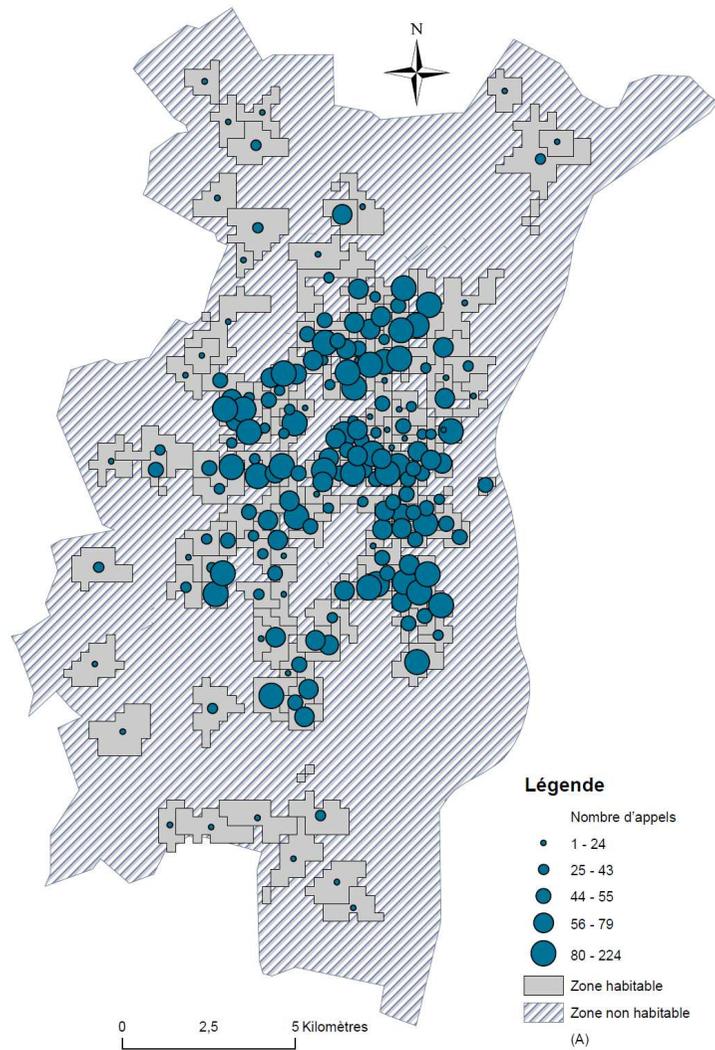
#### **III.1.2.2.3. Géocodage des données**

A l'aide du Système d'Informations Géographiques (SIG) ArcView version 9.3 (Esri), chaque événement a été géocodé à la cellule de résidence du sujet. La donnée « *adresse postale de l'intervention* » a été remplacée par la donnée « *cellule de l'intervention* » à l'aide d'une procédure de géocodage (ou adressage) décrite précédemment.

#### **III.1.2.3. Description de la population d'étude**

Sur la période étudiée :

- **nous avons réussi à géocoder 10296** appels d'urgence pour le motif « crise d'asthme », relevés par les régulateurs du SAMU et de SOS Médecins confondus. Les effectifs de ces appels dans chaque zone sont cartographiés sur la Figure 33.
- Un certain nombre des cas ont été exclus faute de pouvoir les géocoder, car les adresses fournies sont erronées, ou sont totalement absentes. Ainsi, nous avons estimé la perte d'information à 0,77% des appels recensés sur la CUS (2000-2008).
- Aussi, nous avons géocodé 60 cas dans des zones non habitables, comme les administrations, ou encore les emprises scolaires. Ces données ont été donc exclues définitivement de notre travail, ce qui représente une perte de 0,57% de l'information géocodée.
- Les données concernant le genre des sujets étaient non enregistrées par les régulateurs SOS Médecins qui indiquaient la mention « enfants » pour tous les sujets de moins de 20 ans. Ainsi, il est difficile d'estimer la répartition des appels par genre. Néanmoins, le graphique représenté dans la Figure 33 permet de révéler que des appels pour asthme sont notifiés pour plus de la moitié des cas chez les personnes âgées avec 37% pour les personnes de plus de 65 ans et 24% chez la tranche d'âge 40-64 ans.



**Figure 33.** Effectifs des appels pour le « motif de crise d’asthme » auprès des services d’urgence (SAMU et SOS Médecins confondus) dans chaque zone habitable (A), effectifs par tranche d’âge (B), période d’étude 2000-2008, CUS

### **II.1.3. Données environnementales**

#### **II.1.3.1. Source des données et choix du modèle de simulation de la pollution de l'air**

L'Association pour la Surveillance et l'Etude de la pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA) a produit, à l'aide d'un modèle déterministe de dispersion *ADMS Urban*, des estimations pour 6 polluants ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  et benzène) sur l'ensemble de la CUS. Ces concentrations ambiantes de résolution temporelle horaire couvrent la période d'étude du 1<sup>er</sup> janvier 2000 au 31 décembre 2008.

*ADMS Urban* (Atmospheric Dispersion Modeling System) est un modèle gaussien de nouvelle génération, développé par Cambridge Environmental Research Consultant (CERC). Son approche repose sur les dernières connaissances en physique atmosphérique pour prendre en compte la formation des polluants secondaires tels que le dioxyde d'azote et l'ozone. Ce modèle est particulièrement adapté à des domaines de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres et permet d'estimer la pollution atmosphérique sur une période allant de l'heure à l'année.

*ADMS-Urban* est un système de gestion de la qualité de l'air à l'échelle de la rue, du quartier, de la ville ou de l'agglomération. Outre un modèle de dispersion, il intègre, en effet, de nombreux modules permettant, par exemple, la gestion des bases de données telles que les inventaires d'émissions des polluants atmosphériques, ainsi que des liaisons directes avec des Systèmes d'Informations Géographiques SIG (*ARCVIEW* et *MAPINFO*).

Les applications d'un tel système sont très diverses, puisqu'elles vont de l'étude d'impact de la construction d'une nouvelle infrastructure routière (par exemple en concentrations moyennes annuelles), jusqu'à la prévision à plusieurs jours de la qualité de l'air à l'échelle de la rue, du quartier ou de l'agglomération.

#### **II.1.3.2. Caractéristiques du modèle**

Le modèle *ADMS-Urban* intègre de nombreux modules couplés, permettant de tenir compte de tous les effets complexes sur la dispersion des polluants : topographie, effets « canyons », turbulences liées au trafic, phénomènes météorologiques complexes (inversions de température). Il peut intégrer plus de 6000 sources et prend en compte des phénomènes complexes comme la photochimie, la conversion  $\text{SO}_2\text{-PM}_{10}$ .

### ***II.1.3.2.1. Données d'entrée***

*ADMS Urban* requiert différents paramètres en entrée du modèle tels que l'inventaire d'émissions des polluants atmosphériques, les paramètres météorologiques, la topographie du territoire et les niveaux de pollution de fond sur la zone d'étude.

#### ***i. Inventaire des émissions***

L'outil EMISS'AIR de l'ASPA a été utilisé pour extraire les émissions qui contribuaient le plus à la pollution atmosphérique sur Strasbourg. Ainsi, 3 principaux secteurs ont été retenus :

- 1) Le secteur « transport routier » qui comprend les émissions induites par le réseau routier principal (sous forme linéaire) et le réseau secondaire (sous forme de sources routières diffuses). Les émissions de ce secteur sont calculées à partir du trafic moyen journalier sur chaque axe de circulation en utilisant la méthodologie européenne COPERT 4.<sup>39</sup>
- 2) Le secteur « résidentiel/tertiaire » comprenant tout ce qui a trait au chauffage et à la production de l'eau chaude sanitaire dans le résidentiel et les entreprises du secteur tertiaire. Les émissions de ce secteur sont estimées à partir de la méthode européenne EMEP CORINAIR
- 3) Les grandes industries soumises à la TGAP (Taxe Générale sur les Activités Polluantes). Ces émissions sont estimées à partir des rejets polluants des industries, fournis par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Alsace.

Ces trois grands secteurs identifiés par l'ASPA ont été introduits à différentes résolutions spatiales :

- 1) Sous la forme linéaire : les émissions des principaux axes routiers (1350 tronçons) (Figure 34).
- 2) Sous la forme surfacique : les émissions du trafic routier diffus (voieries secondaires) et les émissions du secteur résidentiel et tertiaire sont intégrées sous la forme des cadastres de résolution de 500\*500 mètres.
- 3) Sous la forme ponctuelle : les émissions des principales industries.

---

<sup>39</sup> Axe de circulation de plus de 2.000 véhicules

Le reste des sources est pris en compte dans un cadastre kilométrique des émissions couvrant l'ensemble de la CUS (Figure 34).

A la différence des émissions linéaires et ponctuelles, les sources surfaciques sont intégrées dans le modèle sous une forme volumique. Le trafic routier diffus est renseigné par des sources volumiques de 1 m de hauteur, situées à 50 cm du sol. Le résidentiel/tertiaire est représenté par des sources volumiques de 1m de hauteur, elles-mêmes placées à hauteur des toits.

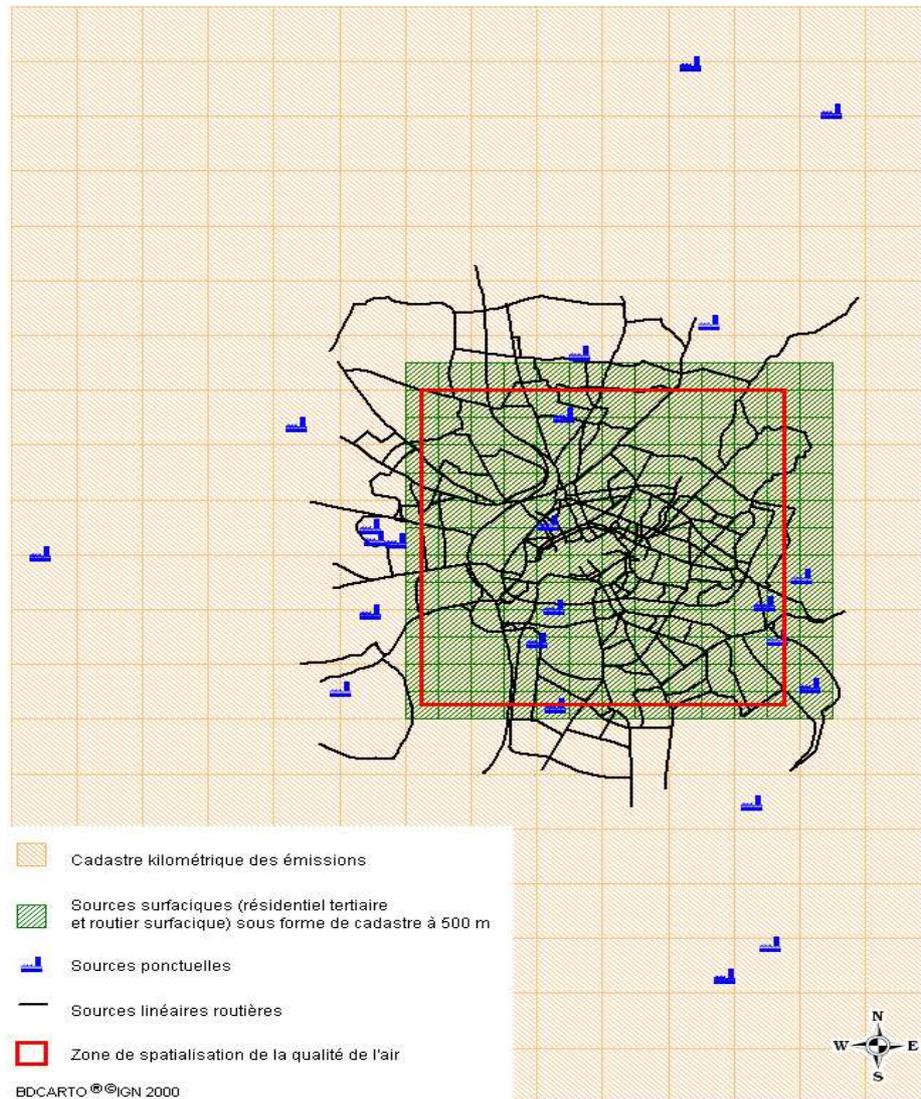
#### *ii. Données météorologiques*

Les données météorologiques introduites dans le modèle proviennent de la station de METEO France située à Entzheim. Elles sont fournies avec un pas de temps horaire.

Ces données prennent en compte la vitesse et la direction du vent, la température, les précipitations et la nébulosité.

#### *iii. Pollution de fond*

La pollution de fond joue un rôle prépondérant pour certains polluants dits régionaux comme l'O<sub>3</sub> ou PM<sub>10</sub>. Cette donnée est déterminée à partir des stations de mesures de l'ASPA.



**Figure 34.** Description des différentes sources d'émissions prises en compte pour modéliser la qualité de l'air sur la Communauté Urbaine de Strasbourg (d'après l'ASPA).

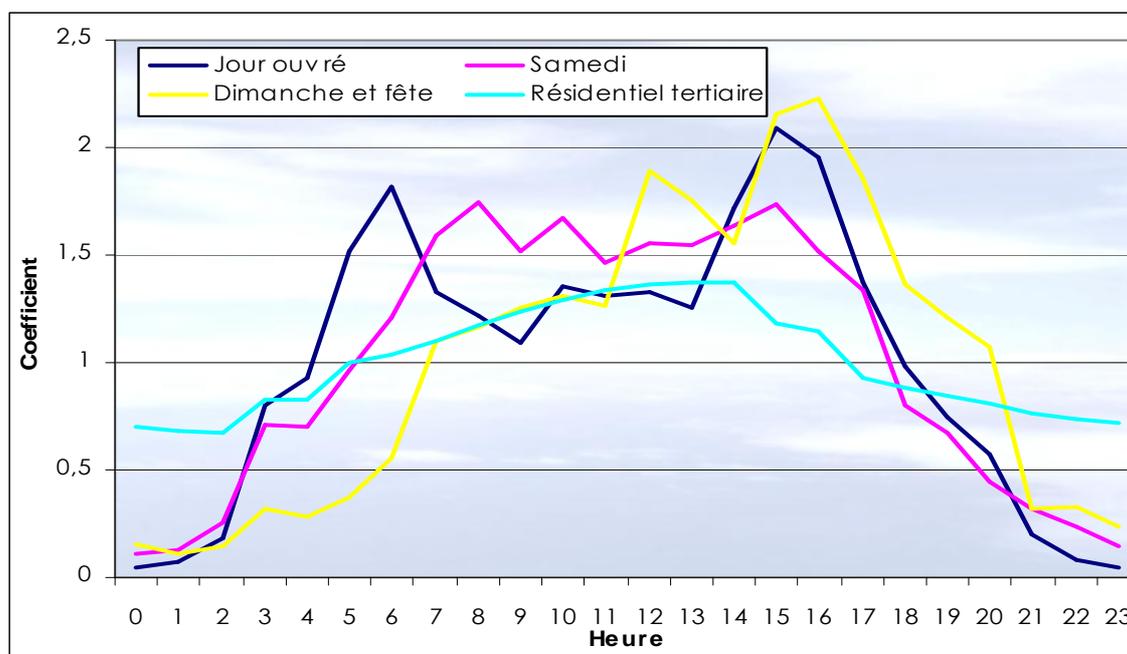
#### ***II.1.3.2.2. Hypothèses de travail pour la modélisation***

Afin de coller au mieux aux émissions horaires réelles, certaines sources d'émissions bénéficient de profils temporels.

Les données du secteur trafic routier bénéficient des répartitions temporelles horaires et mensuelles des émissions construites à partir des données mesurées sur les stations de comptage SIREDO de la DIR Est et du CG67. Les trafics horaires de ces stations sont le reflet de la situation strasbourgeoise. Ces stations fournissent des profils horaires et mensuels pour chaque type de jour (jour ouvré, samedi et veille de fête, et dimanche et fêtes) (Figure 35).

Les données du secteur tertiaire suivent un profil mensuel bâti à partir des degrés/jour calculés sur l'agglomération strasbourgeoise.

Quant aux sources ponctuelles du secteur industriel, elles sont considérées comme des rejets constants.



**Figure 35.** Répartitions horaires des émissions du transport routier (jour ouvré, samedi, dimanche et fête) ; (d'après l'ASPA)

#### **II.1.3.2.3. Paramétrage du modèle**

Le calage du modèle a surtout porté sur la pollution de fond qui est issue d'une ou de plusieurs stations de l'ASPA :

- Strasbourg Ouest (périurbaine)
- Strasbourg Nord (urbaine en périphérie de la ville)
- Strasbourg Centre (urbaine)
- Strasbourg Est (urbaine)
- Strasbourg Clemenceau (trafic)

Les simulations effectuées avec ADMS à partir des différentes pollutions de fond introduites en entrée du modèle sont comparées aux mesures de ces 5 stations. Ces 5 stations, de typologies différentes, permettent de caler l'ensemble des paramètres du modèle. La pollution

de fond, ayant fourni les meilleurs résultats, en termes de comparaison entre données mesurées et données estimées par le modèle, a été retenue dans le modèle final.

### **II.1.3.3. Produit de la modélisation : concentration des polluants**

Le modèle ADMS Urban permet de reconstituer les niveaux de la pollution en différents points de l'agglomération de Strasbourg.

Trois points par zone ont été retenus pour chaque agrégat de la CUS défini précédemment (192). Au total, 576 points ont été simulés. Ces points devaient être les plus représentatifs de la qualité de l'air général au sein de chaque zone d'étude. Ainsi, les concentrations ambiantes des 6 polluants étudiés ont été produites, en chaque point, à une résolution temporelle horaire.

L'étape finale a consisté à moyenner à la résolution spatiale des zones d'études (moyenne des 3 points pour chaque zone) les concentrations sur l'ensemble de la période 2000-2008.

### **II.1.3.4. Validation des performances du modèle**

Dans notre étude, la performance de la modélisation a été évaluée en comparant les concentrations de chacun des polluants, mesurées sur les cinq stations, aux concentrations annuelles de ces polluants, modélisées en ces mêmes points. Les comparaisons mesures/modèles ont été effectuées sur des pas de temps annuels puis horaires.

#### ***II.1.3.4.1. Performances de la modélisation : comparaison Modèle/Mesure annuelle***

Pour juger de la validité de la simulation annuelle, les résultats du modèle sont comparés aux mesures des stations de l'ASPA puis jugés au regard de critères définis par la directive européenne. Cette dernière, relative à un air pur en Europe, impose des objectifs de qualité des données modélisées en termes d'incertitude (Directive 2008/50/CE) : 30% pour le NO<sub>2</sub> et 50% pour les PM<sub>10</sub>, en moyenne annuelle. En ce qui concerne l'ozone, aucune incertitude n'est donnée dans la directive pour des valeurs calculées sur un pas de temps supérieur à la moyenne de 8 heures.

Au vu de la valeur de 50% fixée dans la Directive pour une concentration horaire et une moyenne sur 8 heures, l'ASPA a jugé raisonnable de préconiser, pour les moyennes mensuelles et trimestrielles, une incertitude maximale de 30%.

Les résultats de l'évaluation des concentrations annuelles pour chacun des polluants pour toute la période d'étude (2000-2008) sont présentés dans le tableau 15.

Les écarts résumés dans le tableau 15 démontrent que la modélisation effectuée sur la zone d'étude (CUS), en moyenne annuelle, satisfait aux critères retenus puisque la totalité des erreurs moyennes est inférieure à 30%, excepté pour le SO<sub>2</sub>. En effet, on peut noter que des différences Modèle/Mesure peuvent dépasser les 100%. Ces différences s'expliquent en partie par la difficulté qu'a éprouvée l'ASPA à caler ce polluant en raison notamment des très faibles concentrations qu'il présente sur notre zone d'étude (CUS). Les niveaux mesurés sont très bas (entre 4 et 11 µg/m<sup>3</sup>) alors que la première valeur limite, en moyenne annuelle, se situe à 50 µg/m<sup>3</sup>.

#### ***II.1.3.4.2. Performances de la modélisation : comparaison Mesure/ estimation horaire***

Les comparaisons *mesures/modèles* ont été effectuées sur des pas de temps annuels puis horaires.

Des paramètres statistiques permettent de juger du bon comportement du modèle à l'échelle horaire et aux valeurs maximales. Ces valeurs maximales ne sont pas réglementaires et sont alors considérées comme des « valeurs guides », l'exigence des performances étant limitée au respect des valeurs maximales des erreurs absolues moyennes.

Les paramètres statistiques pris en compte sont des paramètres normalisés afin de pouvoir comparer les performances avec d'autres simulations : le biais normalisé, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne normalisée (NMSE) et le coefficient de corrélation ; nous y ajouterons l'erreur absolue moyenne sur les valeurs horaires en suivant les préconisations de la directive européenne. Les résultats des performances du modèle ADMS-Urban sur la période 2000-2008 sont présentés dans le tableau 16 ci-dessous.

**Tableau 15.** Evaluation de la performance de la modélisation par le modèle ADMS Urban des niveaux moyens annuels des polluants atmosphériques, Communauté Urbaine de Strasbourg, 2000-2008

2000	NO <sub>2</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			O <sub>3</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			PM <sub>10</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			SO <sub>2</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			CO <sup>1</sup> (µg/m3)			
	Station	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>
<b>Ouest (PU)<sup>3</sup></b>	30	29	-2%	42	42	-1%	-	19	-	7	9	24%	-	554	-	
<b>Est (U)</b>	38	39	2%	35	34	-2%	20	21	7%	8	11	39%	-	678	-	
<b>Nord (U)</b>	33	34	5%	36	38	5%	20	20	2%	6	11	88%	-	642	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	66	59	-10%	-	27	-	26	27	4%	11	12	5%	1300	1136	-13%	
<b>Centre (U)</b>	48	40	-16%	36	34	-7%	-	22	-	11	11	0%	-	686	-	
<b>2001</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	30	29	-2%	44	44	0%	-	19	-	9	10	11%	-	547	-	
<b>Est (U)</b>	37	37	-1%	36	38	6%	21	21	0%	7	12	73%	-	638	-	
<b>Nord (U)</b>	32	34	6%	41	41	-1%	20	20	1%	6	12	98%	-	615	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	62	58	-7%	-	31	-	26	26	2%	10	12	25%	1000	1019	2%	
<b>Centre (U)</b>	-	39	-	-	37	-	-	22	-	-	12	-	-	649	-	
<b>2002</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	27	28	2%	45	44	-2%	-	21	-	9	9	2%	-	544	-	
<b>Est (U)</b>	38	35	-7%	37	38	2%	23	23	0%	7	11	57%	-	637	-	
<b>Nord (U)</b>	30	32	5%	40	41	2%	22	22	0%	4	11	169%	-	605	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	60	55	-8%	-	31	-	28	28	1%	7	11	64%	1000	971	-3%	
<b>Centre (U)</b>	41	37	-10%	40	37	-8%	-	24	-	10	10	4%	-	639	-	
<b>2003</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	31	31	0%	51	51	-1%	-	21	-	10	10	-4%	-	539	-	
<b>Est (U)</b>	40	40	-1%	44	44	-1%	27	23	-13%	8	11	37%	-	615	-	
<b>Nord (U)</b>	32	34	8%	47	48	2%	22	22	1%	5	11	114%	-	591	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	64	60	-6%	-	37	-	29	28	-2%	8	12	48%	900	917	2%	
<b>Centre (U)</b>	43	39	-8%	44	44	0%	-	24	-	11	11	-4%	-	616	-	

<sup>1</sup> NO<sub>2</sub>, Dioxyde d'azote, PM<sub>10</sub> Particule de diamètre inférieur à 10 µm ; O<sub>3</sub>, Ozone ; SO<sub>2</sub> Dioxyde de Soufre.

<sup>2</sup> Ecart %, différence relative (en %) entre les résultats fournis par le modèle et ceux mesurés par la station.

<sup>3</sup> Type de Stations : U, Urbain ; PU, Péri-Urbain ; T, Trafic.

Tableau15. Suite

2004	NO <sub>2</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			O <sub>3</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			PM <sub>10</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			SO <sub>2</sub> <sup>1</sup> (µg/m3)			CO <sup>1</sup> (µg/m3)			
	Station	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>	Mesure	Modèle	Ecart % <sup>2</sup>
<b>Ouest (PU)<sup>3</sup></b>	26	27	4%	45	45	-1%	-	19	-	8	8	0%	-	535	-	
<b>Est (U)</b>	36	37	4%	36	37	2%	23	22	-6%	6	11	89%	-	606	-	
<b>Nord (U)</b>	31	31	0%	41	41	1%	19	20	6%	4	9	107%	-	578	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	57	55	-3%	-	32	-	24	26	8%	6	12	100%	700	751	11%	
<b>Centre (U)</b>	43	37	-14%	41	37	-10%	-	21	-	9	12	26%	-	594	-	
<b>2005</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	29	29	-1%	43	43	1%	-	20	-	7	7	4%	-	535	-	
<b>Est (U)</b>	37	39	5%	35	36	2%	24	23	-6%	6	11	75%	-	606	-	
<b>Nord (U)</b>	32	33	4%	40	40	0%	20	22	8%	-	10	-	-	578	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	64	60	-7%	-	31	-	25	27	8%	5	11	111%	700	751	7%	
<b>Centre (U)</b>	44	39	-12%	34	36	6%	-	23	-	7	11	54%	-	594	-	
<b>2006</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	26	27	2%	45	46	1%	-	19	-	6	7	10%	-	530	-	
<b>Est (U)</b>	36	36	-1%	39	39	-1%	24	22	-9%	5	9	87%	-	588	-	
<b>Nord (U)</b>	31	31	-1%	44	42	-4%	20	21	5%	-	9	-	-	566	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	60	54	-11%	-	34	-	25	25	1%	5	10	91%	600	681	14%	
<b>Centre (U)</b>	42	35	-16%	39	39	0%	-	22	-	6	10	64%	-	574	-	
<b>2007</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	23	24	5%	44	43	-1%	-	18	-	4	7	84%	-	530	-	
<b>Est (U)</b>	35	33	-5%	38	36	-4%	19	21	9%	5	10	105%	-	587	-	
<b>Nord (U)</b>	28	28	1%	39	40	3%	18	20	10%	-	10	-	-	566	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	59	51	-14%	-	33	-	24	24	0%	4	10	160%	600	677	13%	
<b>Centre (U)</b>	43	33	-24%	39	37	-5%	-	21	-	5	10	110%	-	572	-	
<b>2008</b>																
<b>Ouest (PU)</b>	26	27	3%	43	42	-2%	-	17	-	3	6	93%	-	532	-	
<b>Est (U)</b>	32	36	12%	40	35	-11%	15	19	29%	4	9	121%	-	591	-	
<b>Nord (U)</b>	28	31	10%	41	39	-5%	17	18	8%	-	9	-	-	566	-	
<b>Clemenceau (T)</b>	59	53	-10%	-	31	-	22	23	4%	3	9	196%	600	684	14%	
<b>Centre (U)</b>	39	35	-10%	37	36	-3%	-	19	-	2	9	368%	-	576	-	

<sup>1</sup> NO<sub>2</sub>, Dioxyde d'azote, PM<sub>10</sub> Particule de diamètre inférieur à 10 µm ; O<sub>3</sub>, Ozone ; SO<sub>2</sub> Dioxyde de soufre.<sup>2</sup> Ecart %, différence relative (en %) entre les résultats fournis par le modèle et ceux mesurés par la station.<sup>3</sup> Type de Stations : U, Urbain ; PU, Péri-Urbain ; T, Trafic.

**Tableau 16.** Paramètres statistiques pour la simulation horaire de la période d'étude 2000-2008, CUS

Polluants		Erreur absolue moyenne normalisée	NMSE <sup>1</sup>	Biais normalisé	Coef corrélation	Moyenne Pi <sup>2</sup>	Moyenne Oi <sup>3</sup>
Valeurs préconisées par la Fédé ATMO	NO <sub>2</sub>	< 50%	< 50%	-30% à 30%	0.6 à 1		
	O <sub>3</sub>	< 50%	< 50%	-30% à 30%	0.7 à 1		
	PM <sub>10</sub>	< 50%	< 50%	-30% à 30%	0.6 à 1		
Toutes les stations	NO <sub>2</sub>	25.98	10.18	7.43	0.76	73.01	67.78
	O <sub>3</sub>	25.39	14.93	3.74	0.97	75.30	72.53
	PM <sub>10</sub>	17.45	3.71	1.61	0.92	22.78	22.42
<b>Station</b>							
STG Ouest	NO <sub>2</sub>	28.65	12.59	11.60	0.75	56.78	50.56
	O <sub>3</sub>	24.61	14.30	1.48	0.98	79.03	77.87
STG_NORD	NO <sub>2</sub>	28.92	11.91	17.95	0.70	63.80	53.29
	O <sub>3</sub>	28.05	19.35	4.58	0.97	76.61	73.18
	PM <sub>10</sub>	15.11	1.95	3.34	0.97	20.53	19.85
STG_EST	NO <sub>2</sub>	26.99	10.27	13.92	0.71	71.95	62.58
	O <sub>3</sub>	24.33	12.04	7.23	0.97	72.29	67.24
	PM <sub>10</sub>	19.46	5.75	-1.21	0.86	21.65	21.88
STG_Clem	NO <sub>2</sub>	22.67	7.73	3.73	0.61	102.05	98.32
	PM <sub>10</sub>	17.49	3.34	2.53	0.92	26.13	25.48
	NO <sub>2</sub>	22.32	8.22	-6.29	0.69	70.34	74.91
STG Centre	O <sub>3</sub>	24.48	13.95	1.79	0.97	73.04	71.74

<sup>1</sup> NMSE : Erreur quadratique moyenne normalisée

<sup>2</sup> Pi : Valeur estimée par le modèle ; <sup>3</sup> Oi : Valeur mesurée en station

### II.1.3.5. Description des données de pollution

La matrice de corrélation présentée ci-dessus (tableau 17) résume les coefficients de corrélation de Pearson entre les concentrations simulées des polluants. On note des coefficients de corrélation entre les polluants émis majoritairement par le trafic routier NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, Benzène, SO<sub>2</sub> et CO très élevé ( $r > 0.9$ ), ce qui indique une très forte colinéarité entre ces polluants (corrélation positive). Quant à l'ozone, il est très fortement corrélé négativement à tous les autres polluants ( $r > 0.7$ ) car anti-corrélé aux oxydes d'azote qui le détruit en milieu urbain.

**Tableau 17.** Matrice de corrélation entre les moyennes annuelles des polluants.

Coefficient de corrélation de Pearson (r)						
Polluants ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	Benzène
NO <sub>2</sub>	1,00					
O <sub>3</sub>	-0,98	1,00				
SO <sub>2</sub>	0,77	-0,79	1,00			
PM <sub>10</sub>	0,96	-0,95	0,75	1,00		
CO	0,94	-0,92	0,75	0,97	1,00	
Benzène	0,93	-0,93	0,78	0,96	0,98	1,00

### III.1.4. Description de la démarche de l'analyse du niveau de défaveur

#### III.1.4.1. Approche de l'analyse

L'approche retenue pour évaluer l'effet modificateur de l'environnement de voisinage est de type écologique ; aucune donnée n'a été employée à un niveau individuel : l'ensemble des données (sanitaires, environnementales et contextuelle) a été recueilli ou estimé à un niveau agrégé. Cette approche est couramment employée pour étudier les relations à court terme entre la santé et la pollution atmosphérique. Aussi, cette approche constitue une alternative pertinente pour conduire notre étude basée sur des données produites en routine et immédiatement accessibles. La validité de ce type d'approche a déjà été prouvée dans les domaines de l'épidémiologie sociale (1) et de l'épidémiologie environnementale (2).

#### III.1.4.2. Description du modèle d'analyse

A l'instar des études menées précédemment (3,4), nous avons conduit des analyses « cas-croisés » pour examiner l'association entre les concentrations journalières des différents polluants et les événements sanitaires.

Cette approche a été introduite en 1991 par Maclure pour étudier les effets d'une exposition ponctuelle sur le risque de la survenue d'événements sanitaires aigus et rares (5). Cette méthode constitue une alternative aux analyses des séries temporelles dans le domaine de la pollution atmosphérique (6-8).

Le principe de ces études consiste à comparer les niveaux d'exposition subie par un sujet donné entre une période (ici, le jour) où il présente le trouble sanitaire d'intérêt (période « cas ») et une ou plusieurs périodes où il ne présente pas ce trouble (périodes « témoins »)<sup>40</sup>.

<sup>40</sup> Dans le cas de notre étude, l'hypothèse testée est donc que l'exposition à la pollution atmosphérique est plus élevée durant les jours « cas » que durant les jours « témoins »

Il s'agit donc d'une variante du design d'études cas/témoins, dans laquelle chaque cas constitue son propre témoin, mais à des périodes différées dans le temps par rapport à celle durant laquelle il présente le trouble sanitaire d'intérêt. Parmi les différentes approches d'appariements proposées dans la littérature, nous avons conduit des analyses « cas-croisés » selon un schéma d'appariement stratifié sur le temps (cf. *Annexe N°4*).

### **III.1.4.3. Mise en place du modèle**

#### *III.1.4.3.1. Principe du modèle*

Les modèles cas-croisés mis en place sont construits en définissant les périodes témoins selon le schéma stratifié sur le temps, sur une base mensuelle (9). Les jours témoins correspondaient donc au même jour de la semaine (ex : lundi) que les jours cas, pour le même mois et la même année.

L'estimation des paramètres de l'association a été réalisée au moyen d'une régression logistique conditionnelle (des modèles de régression de type Cox) ajustée sur les différents facteurs de confusion considérés pour l'étude des relations à court terme entre la pollution atmosphérique et l'événement de santé considéré (soit la survenue d'infarctus du myocarde ou bien l'appel aux urgences pour asthme). Tous les résultats présentés sont exprimés sous la forme d'un pourcentage d'augmentation du risque de la survenue de l'événement de santé considéré pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux du polluant.

#### *III.1.4.3.2. Facteurs de confusion potentiels*

Des données météorologiques quotidiennes (température, pression atmosphérique et humidité relative) ont été fournies par Météo France. Des comptes hebdomadaires de cas de grippe dans la région Alsace ont été fournis par le réseau Sentinelles de l'INSERM (10). Des comptes journaliers de grains de pollen ont été fournis par le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA (11)).

La sélection des variables d'ajustement les plus pertinentes à prendre en compte pour l'analyse des associations entre la pollution et les deux événements de santé est précisée dans les chapitres 2 et 3 consacrés aux cas d'études, portant respectivement sur l'infarctus du myocarde et les appels aux urgences pour asthme.

### **III.1.4.4. Analyses statistiques**

#### *III.1.4.4.1. Modèles globaux*

Dans un premier temps, nous avons mis en place des analyses sur des modèles globaux, intégrant l'ensemble des cas enregistrés sur la période d'étude. Les associations entre les expositions aux polluants et les cas d'exacerbation d'asthme ont ensuite été étudiées en faisant varier la durée de

la fenêtre temporelle de l'exposition concernée. Nous avons testé l'influence des concentrations des polluants, moyennées sur le jour de l'appel, puis, moyennées sur le jour de l'appel et les 1 à 2 jours précédents. Dans nos analyses, l'indicateur journalier d'exposition est la concentration journalière moyenne pour NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et CO. Le choix des polluants s'est imposé par la disponibilité des données aux deux échelles, et sur la période d'étude 2000-2007, et sur la base des résultats les plus pertinents observés par les études précédentes.

#### ***III.1.4.4.2. Test de l'interaction des relations entre la pollution et l'événement de santé par le niveau de défaveur***

L'effet modificateur du niveau de défaveur a été testé selon deux approches en employant : (i) un niveau de défaveur contextuelle à l'échelle du nouveau découpage –*approche (i)* - ; (ii) un niveau de défaveur socio-économique à l'échelle du découpage du recensement (l'IRIS) - *approche (ii)* – (Figure 31).

***Approche (i) : analyse « cas-croisé » à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-output) :*** Le niveau de défaveur introduit correspond aux différents profils contextuels. Pour cela, la population de la CUS a été divisée en 5 catégories de niveau de défaveur contextuelle « NDC » (A, B, C, D, E) correspondant à la typologie élaborée dans la partie II. Une association (odds ratio) entre « pollution et cas d'IDM » a été calculée pour chaque NDC. L'hétérogénéité des odds ratios entre les profils a été évaluée par un test du  $\chi^2$ .

#### ***Approche (ii) : analyse « cas-croisé » à l'échelle du découpage du recensement : IRIS***

Le niveau socioéconomique a été introduit en tant que variable discrète. Pour cela, la population de la CUS a été divisée en cinq strates de niveau socioéconomique correspondant aux quartiles de la distribution de l'indice socioéconomique des IRIS, élaboré lors de travaux antérieurs sur la CUS (Havard et al., (12)). Une association (odds ratio) entre la pollution et les cas d'IDM a été calculée pour chaque strate de niveau socioéconomique considéré. L'hétérogénéité des odds ratios entre strates a été évaluée par un test du  $\chi^2$ .

#### ***III.1.4.4.3. Estimation de l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles***

Dans la mesure de la disponibilité des données relatives aux caractéristiques individuelles (tranche d'âge et genre), à l'aide de l'analyse stratifiée, nous avons testé l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles. Autrement dit, nous avons estimé l'association entre les concentrations des polluants et les événements sanitaires (soit l'infarctus du myocarde ou les appels d'urgence pour asthme), sont modifiés par les caractéristiques individuelles.

Ainsi, à chacune des étapes de l'analyse (modèles globaux, et test d'interaction) toutes les associations significatives ou qui s'approchent le plus de la significativité, ont été analysées plus en détail pour estimer l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles.

Ces analyses ont été conduites à l'aide du logiciel SAS<sup>®</sup> v9,2 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA).

## Chapitre 2 : Evaluation de l'effet modificateur de l'environnement de voisinage sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique -Cas d'étude 1 : Infarctus du myocarde-

---

Ce deuxième chapitre a pour objectif de présenter les résultats de l'analyse « cas-croisés » que nous avons menée sur l'agglomération strasbourgeoise selon deux approches : (i) à l'échelle du nouveau découpage, (ii) à l'échelle du découpage du recensement (« l'IRIS »). Une phase préliminaire de ce chapitre résume la mise en place des modèles à la fois globaux et stratifiés, suivie des résultats d'évaluation de l'effet du niveau de défaveur sur l'impact sanitaire de la pollution.

---

### III.2.1. Description de la mise en place des modèles

La même stratégie d'analyse que celle décrite dans le chapitre 1 de cette partie a été adoptée pour chacun des polluants atmosphériques, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et CO.

Le choix des polluants s'est imposé par la disponibilité des données aux deux échelles, et sur la période d'étude 2000-2007, ainsi que sur la base des résultats les plus pertinents observés par les études précédentes.

#### III.2.1.1. Modèles globaux

Dans un premier temps, nous avons mis en place des analyses sur des modèles globaux, intégrant l'ensemble des cas enregistrés sur la période (2000-2007). Les modèles cas-croisés mis en place sont construits selon le schéma décrit dans le chapitre 1 de cette partie.

- *Facteurs de confusion* : nous avons mis en place un modèle global selon les deux approches ajustées sur les différents facteurs de confusion considérés, à savoir : la température minimum du jour de l'événement, la pression atmosphérique de la veille, l'humidité relative, le compte journalier d'épidémie de grippe, ainsi que les jours fériés et de vacances.
- *Exposition environnementale* : les associations entre les expositions aux polluants et les cas d'infarctus du myocarde ont été étudiées en faisant varier la durée de la fenêtre temporelle de l'exposition concernée. Nous avons testé l'influence des concentrations des polluants, moyennées sur le jour de l'appel, puis moyennées sur le jour de l'appel et les 1 à 2 jours

précédents. Dans nos analyses, l'indicateur journalier d'exposition était la concentration journalière moyenne pour NO<sub>2</sub>, CO et PM<sub>10</sub>.

### **III.2.1.2. Estimation de l'effet modificateur par des caractéristiques individuelles**

A l'aide d'une analyse stratifiée par tranches d'âge (35-54 ans et 55-74 ans) et par genre, nous avons testé l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles. Autrement dit, nous avons estimé *l'association entre les concentrations des polluants et les événements d'infarctus en fonction des caractéristiques individuelles.*

Ainsi, à chacune des étapes de l'analyse (modèles globaux et tests d'interaction) toutes les associations significatives ou qui s'approchent le plus de la significativité, ont été analysées plus en détail pour estimer l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles.

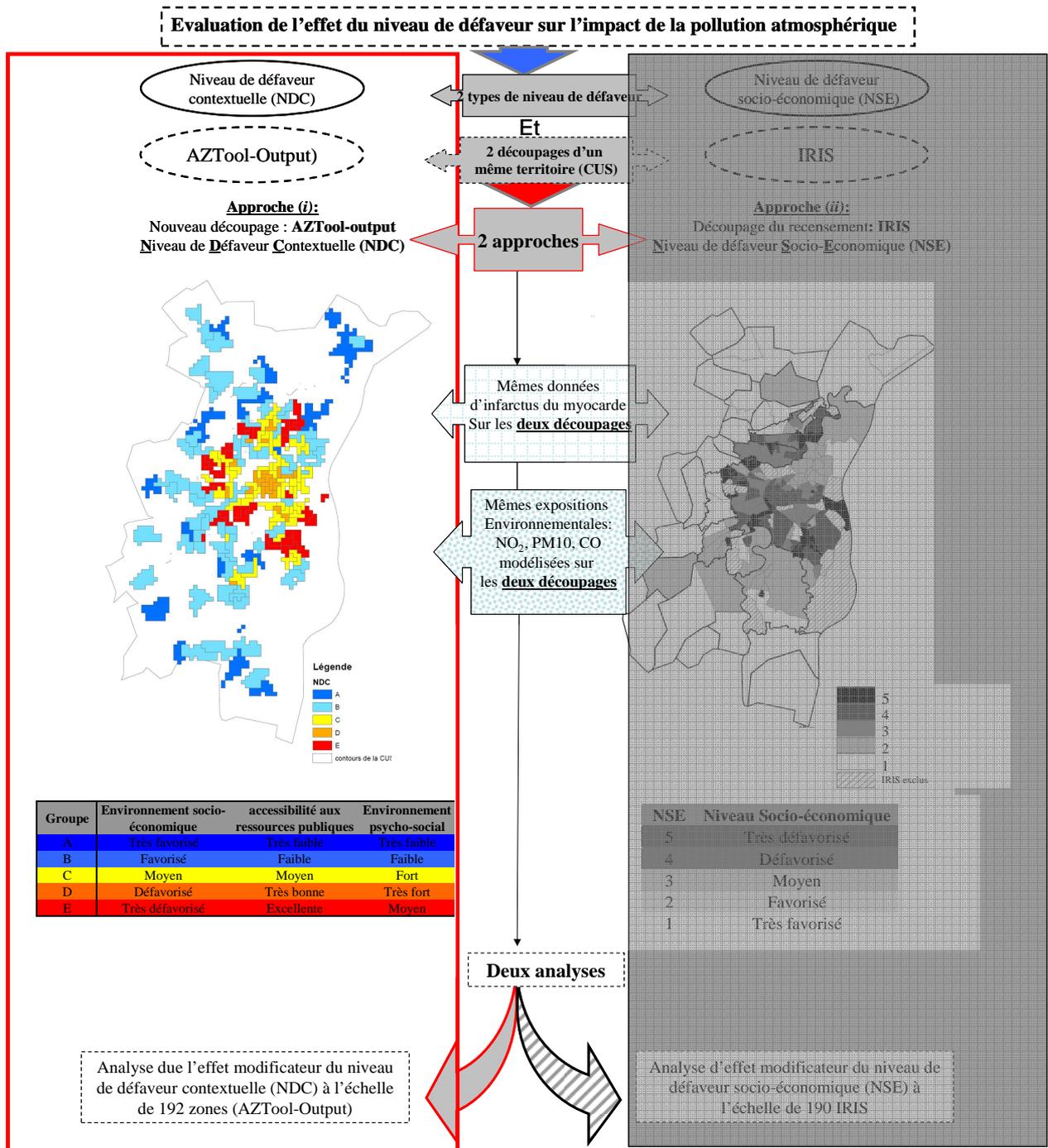
### **III.2.2. Résultats**

Tous les résultats présentés sont exprimés sous la forme d'odds ratio pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux du polluant (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et CO).

Les résultats des analyses statistiques sont présentés, par approche d'analyse, selon le schéma illustré dans la Figure 31, à savoir : l'approche *i* (figure 36), puis l'approche *ii* (Figure 40).

### III.2.2.1. Résultats à l'échelle du nouveau découpage (AZTool-output) : approche (i)

Les résultats présentés dans cette section résument l'analyse du niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output).



**Figure 36.** Schéma explicatif des approches de l'analyse du niveau de défaveur : approche i – données d'infarctus du myocarde et le NDC à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output)

### III.2.2.1.1. Résultats du modèle global

Les associations entre la survenue d'infarctus du myocarde (tous âges confondus) et les concentrations des polluants, moyennées sur le jour de l'événement et sur les deux jours précédents, sont présentées dans le tableau 18.

#### a). Analyse de la population totale (35-74 ans)

Les plus fortes associations (mais qui n'atteignent pas la significativité au seuil de 5 %), entre les différents polluants et l'infarctus du myocarde sont observées pour les concentrations moyennées sur le jour de l'événement (lag 0) pour NO<sub>2</sub> et CO, et pour les concentrations moyennées sur le jour et la veille de l'événement (lag 0-1) pour PM<sub>10</sub>.

**Tableau 18.** Estimation des OR\* de la survenue d'IDM associés à une augmentation de 10µg du polluant atmosphérique (tous âges confondus) à l'échelle du découpage AZTool-output

	Lag	OR	IC	p-value
NO <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>1,04</b>	<b>0,99-1,09</b>	<b>0,08</b>
	1	1,02	0,98- 1,07	0,24
	0-1	1,04	0,99- 1,10	0,09
CO	<b>0</b>	<b>1,03</b>	<b>0,94- 1,13</b>	<b>0,46</b>
	1	1,00	0,91- 1,10	0,89
	0-1	1,02	0,92- 1,14	0,61
PM <sub>10</sub>	0	1,02	0,97- 1,08	0,36
	1	1,02	0,97- 1,08	0,32
	<b>0-1</b>	<b>1,03</b>	<b>0,97- 1,09</b>	<b>0,28</b>

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10µg/m<sup>3</sup> du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

#### b). Effet modificateur des caractéristiques individuelles

Les résultats sont décrits pour les associations les plus statistiquement significatives (ou qui se rapprochent de la significativité au seuil de 5%)

##### b.1). Effet modificateur par l'âge

Les analyses stratifiées par groupe d'âge, résumées dans le tableau 19, montrent qu'une seule association positive, à la limite de la significativité (au seuil de 5%) est observée entre les PM<sub>10</sub> et la survenue d'infarctus du myocarde chez la population de 55 -74 ans pour le Lag 0-1 (P=0.07).

**b.2) Effet modificateur par le genre**

Les analyses stratifiées par genre, résumées dans le tableau 20, montrent qu'une seule association *positive significative* (au seuil de 5% ;  $P=0.04$ ) entre le  $\text{NO}_2$  et la survenue d'infarctus est observée chez les hommes pour le lag 0.

**Tableau 19.** Estimation des OR\* de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de  $10\mu\text{g}$  du polluant atmosphérique à l'échelle du découpage AZTool-output (analyse stratifiée par tranche d'âge, tout genre confondu)

Polluants	Lag	Tranches d'âge								
		35-74 ans			35-54 ans			55-74 ans		
		OR	IC	p-value	OR	IC	p-value	OR	IC	p-value
$\text{NO}_2$	0	1.04	0.99-1.09	0.07	1.04	0.96-1.12	0.29	1.04	0.98- 1.10	0.16
CO	0	1.03	0.94-1.13	0.46	1.02	0.87- 1.20	0.74	1.03	0.92-1.15	0.52
$\text{PM}_{10}$	0-1	1.03	0.97-1.09	0.28	0.97	0.88- 1.07	0.58	<b>1.06</b>	<b>0.99-1.14</b>	<b>0.07</b>

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

**Tableau 20.** Estimation des OR\* de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de  $10\mu\text{g}$  des polluants atmosphériques à l'échelle du découpage AZTool-output, chez les femmes et les hommes, âgés entre 35-74 ans.

Polluants	Lag	Homme			Femme			
		OR	IC	P	OR	IC	P	
$\text{NO}_2$	0	<b>1.05</b>	<b>1.0-1.11</b>		0.998	0.90-1.10	0.96	
CO	0	1.04	0.94- 1.16		0.4	1.009	0.84-1.2	0.92
$\text{PM}_{10}$	0-1	1.01	0.95- 1.08		0.58	1.077	0.95-1.21	0.21

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

**II.2.2.1.2. Résultats des tests de l'interaction par le niveau de défaveur contextuelle (NDC)**

**a). Exposition au  $\text{NO}_2$  moyennée sur le jour de l'événement (lag 0).**

➤ Au sein de la population totale (35-74 ans), l'analyse de l'interaction pour le  $\text{NO}_2$  (figure 37a), montre qu'une association statistiquement significative entre  $\text{NO}_2$  (lag0) et l'infarctus du myocarde ( $p=0.014$ ) est observée parmi les sujets vivant dans les groupes de **NDC de la catégorie C**.

➤ Nous avons observé une association statistiquement significative entre NO<sub>2</sub> (Lag0) et la survenue d'infarctus du myocarde parmi deux sous populations (tableau 21) :

- (i) les **sujets âgés entre 54 et 74 ans, tous genres confondus**, vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C* ( $p=0.023$ ).
- (ii) parmi les **femmes âgées entre 55 et 74 ans** vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C* ( $P=0.04$ ).

Cependant, aucune tendance selon le niveau de défaveur contextuelle n'est observée et les odds ratios sont non significativement différents entre les différents niveaux de la défaveur contextuelle ( $p > 0,05$ ).

***b). Exposition aux PM<sub>10</sub> moyennée sur le jour et la veille de l'événement (lag 0-1).***

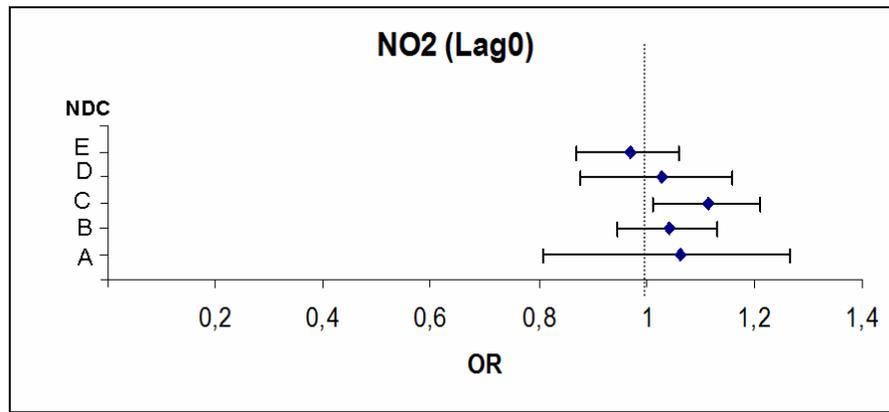
- Au sein de la population d'étude (35-74 ans), l'analyse de l'interaction montre que les odds ratios ne diffèrent pas significativement entre eux ( $p > 0,05$ ) (Figure 37b).
- Cependant, les résultats résumés dans le tableau 22 montrent qu'une association statistiquement significative ( $P= 0.035$ ) entre PM<sub>10</sub> (lag 0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde est observée uniquement parmi les **femmes âgées entre 55 et 74 ans**, vivant dans le *NDC de la catégorie C*.

***c). Exposition au CO moyennée sur le jour de l'événement (lag 0).***

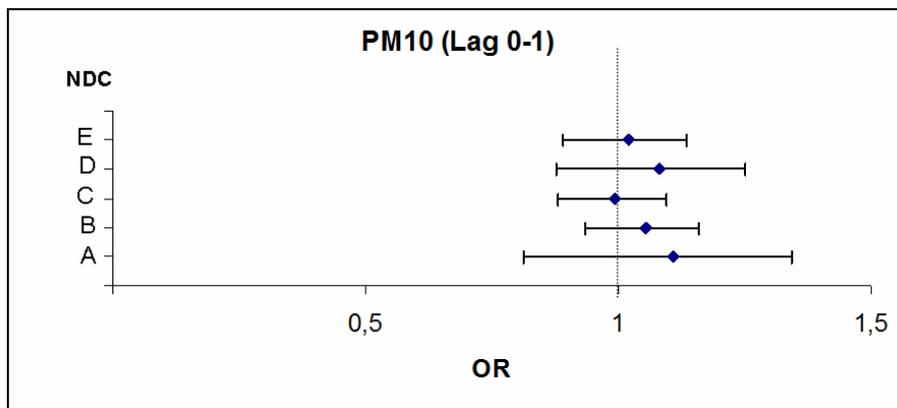
L'analyse de l'interaction pour le CO (Figure 37 c) montre qu'une association entre le CO et la survenue d'infarctus du myocarde ( $p=0.019$ ) est observée parmi les sujets vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C*.

Les résultats résumés dans le tableau 23, nous permettent d'observer une association statistiquement significative parmi trois sous groupes:

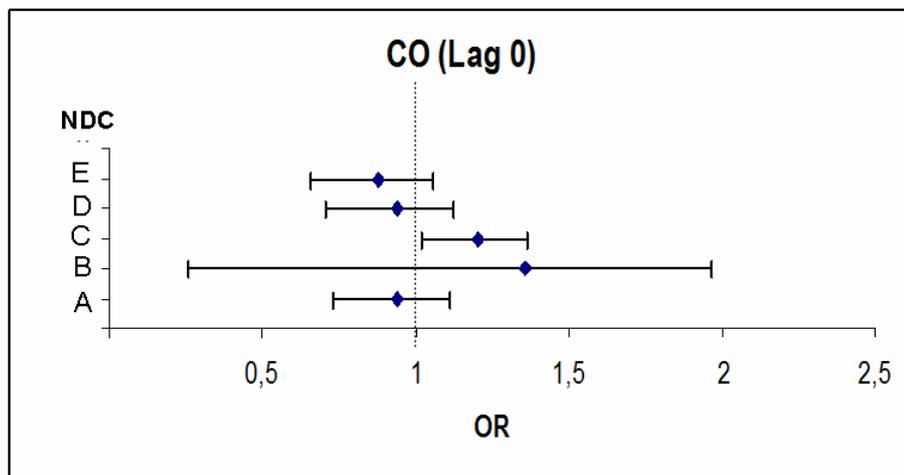
- (i) parmi les **sujets âgés entre 54 et 74 ans** (tous genres confondus) vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C* ( $p=0.019$ ).
- (ii) parmi les **femmes (tous âges confondus)** vivant dans le NDC de la catégorie C ( $p=0.029$ ).
- (iii) parmi les **femmes âgées entre 55 et 74 ans** vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C* ( $P=0.026$ )



(a)



(b)



(c)

**Figure 37.** Odds ratios\* entre l'événement d'infarctus du myocarde et les polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 catégories de NDC à l'échelle du découpage AZTool-output, (a) NO<sub>2</sub> (lag0), (b) PM<sub>10</sub> (Lag 0-1), (c) CO (lag 0), tout genre confondu, entre 35-74 ans.

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m<sup>3</sup> du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

**Tableau 21.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> (lag 0), par Niveau de défaveur contextuelle (NDC), à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

Caractéristiques (NO <sub>2</sub> )		Niveau de défaveur contextuelle (NDC)									
		A		B		C		D		E	
Genre	Tranche d'âge (ans)	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%
Tous confondus	35-74	1.06	0.85-1.31	1.04	0.95-1.13	<b>1.11<sup>‡</sup></b>	<b>1.02-1.21</b>	1.02	0.89-1.17	0.96	0.87-1.06
	35-54	0.87	0.55-1.37	1.05	0.89-1.23	1.08	0.94-1.24	1.05	0.85-1.31	0.98	0.84-1.14
	55-74	1.08	0.84-1.39	1.03	0.93-1.15	<b>1.14<sup>‡</sup></b>	<b>1.01-1.27</b>	1.00	0.84-1.20	0.95	0.84-1.08
Hommes	35-74	1.11	0.87-1.42	1.06	0.96-1.17	<b>1.10<sup>‡</sup></b>	<b>1.00-1.22</b>	1.07	0.91-1.26	0.97	0.87-1.09
	35-54	0.98	0.61-1.59	1.12	0.94-1.34	1.11	0.95-1.29	1.12	0.89-1.41	1.00	0.83-1.20
	55-74	1.09	0.82-1.45	1.03	0.91-1.16	1.10	0.96-1.25	1.01	0.81-1.27	0.95	0.82-1.10
Femmes	35-74	0.78	0.45-1.34	0.96	0.78-1.17	1.15	0.96-1.38	0.91	0.69-1.19	0.94	0.77-1.14
	35-54	0.24	0.02-3.04	0.75	0.50-1.13	0.97	0.68-1.38	0.44	0.14-1.42	0.92	0.68-1.25
	55-74	0.96	0.53-1.74	1.05	0.83-1.32	<b>1.24<sup>‡</sup></b>	<b>1.001-1.54</b>	0.98	0.73-1.31	0.97	0.75-1.25

**Tableau 22.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

caractéristiques (PM <sub>10</sub> )		Niveau de défaveur contextuelle (NDC)									
		A		B		C		D		E	
Genre	Tranche d'âge (ans)	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC 95%
Tous confondus	35-74	1.10	0.87-1.40	1.05	0.94-1.17	0.99	0.89-1.10	1.08	0.90-1.28	1.02	0.90-1.15
	35-54	1.08	0.66-1.76	0.96	0.79-1.16	0.87	0.73-1.03	1.15	0.87-1.52	1.00	0.82-1.21
	55-74	1.04	0.78-1.39	1.10	0.96-1.25	1.08	0.94-1.24	1.04	0.83-1.30	1.03	0.88-1.20
Hommes	35-74	1.11	0.85-1.45	1.05	0.94-1.19	0.94	0.83-1.07	1.12	0.91-1.38	0.99	0.86-1.14
	35-54	1.13	0.69-1.85	1.02	0.84-1.25	0.88	0.73-1.07	1.21	0.91-1.62	1.00	0.80-1.25
	55-74	1.02	0.73-1.41	1.07	0.92-1.24	0.99	0.83-1.17	1.04	0.77-1.39	1.00	0.83-1.20
Femmes	35-74	1.02	0.57-1.81	1.02	0.81-1.29	1.17	0.95-1.44	0.98	0.70-1.37	1.07	0.84-1.36
	35-54	0.09	0.001-12.45	0.60**	0.33-1.08	0.85	0.55-1.33	0.54	0.15-1.91	1.03	0.70-1.51
	55-74	1.09	0.60-1.96	1.19	0.91-1.55	<b>1.29<sup>‡</sup></b>	<b>1.01-1.63</b>	1.02	0.72-1.44	1.10	0.82-1.50

\* Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

<sup>‡</sup> P value <0.005

**Tableau 23.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> CO (lag 0), par Niveau de défaveur contextuelle(NDC), à l'échelle du découpage AZTool-output, au sein des sous populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

caractéristique (CO. Lag 0)		Niveau de défaveur contextuelle (NDC)									
		A		B		C		D		E	
Genre	Tranche d'âge (ans)	OR	IC 95%	OR	IC 95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tous confondus	35-74	0.93	0.76 -1.14	1.35	0.74-2.45	<b>1.20<sup>‡</sup></b>	<b>1.04-1.38</b>	0.93	0.75-1.16	0.87	0.70-1.09
	35-54	0.99	0.26-3.7	1.03	0.72-1.48	1.15	0.89-1.49	0.87	0.59-1.27	0.90	0.63-1.28
	55-74	1.35	0.69-2.66	0.89	0.70-1.14	1.22 <sup>‡</sup>	1.03-1.45	0.96	0.73-1.25	0.85	0.64-1.14
Hommes	35-74	1.50	0.77-2.92	1.01	0.79-1.28	1.15	0.97-1.36	0.98	0.76-1.26	0.91	0.70-1.17
	35-54	1.17	0.29-4.54	1.36	0.88-2.11	1.17	0.89-1.53	0.93	0.62-1.40	0.91	0.59-1.41
	55-74	1.47	0.68-3.16	0.89	0.66-1.19	1.13	0.92-1.40	0.99	0.72-1.36	0.90	0.65-1.24
Femmes	35-74	0.72	0.16-3.23	0.78	0.52-1.15	1.37 <sup>‡</sup>	1.03-1.81	0.81	0.51-1.29	0.80	0.51-1.26
	35-54	0.006	0.00-393	0.51	0.22-1.18	1.15	0.49-2.66	0.52	0.14-1.98	0.84	0.44-1.62
	55-74	0.96	0.20-4.42	0.91	0.57-1.44	1.41 <sup>‡</sup>	1.04-1.91	0.88	0.53-1.46	0.73	0.38-1.39

\* Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

<sup>‡</sup> P value <0.005

III.2.2.2. Résultats à l'échelle du découpage du recensement de la CUS (l'IRIS) : *approche (ii)*

Les résultats présentés dans cette section résument l'analyse du niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle du découpage du recensement (l'IRIS).

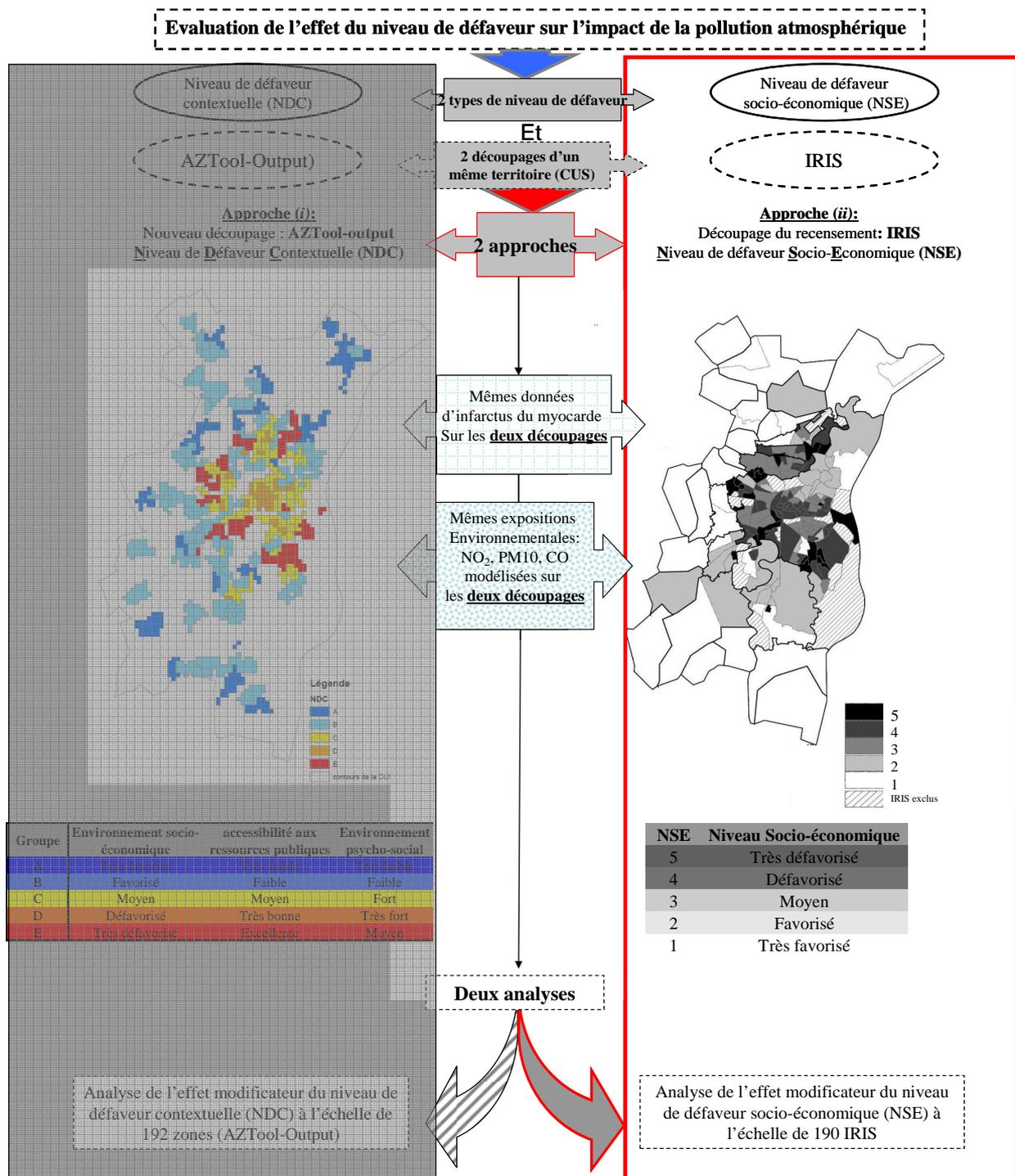


Figure 38. Schéma explicatif des approches de l'analyse du niveau de défaveur : **approche ii** – données d'infarctus du myocarde et le NSE à l'échelle de l'IRIS.

### III.2.2.2.1. Résultats du modèle global

Les associations entre la survenue d'événements d'infarctus du myocarde et les concentrations des polluants moyennées sur le jour de l'événement et sur les deux jours précédents, sont présentées dans le tableau 24.

#### a). Au sein de la population d'étude (35-74 ans)

Les plus fortes associations entre les différents polluants (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et CO) et la survenue d'infarctus du myocarde (au seuil de 5%) sont observées pour les concentrations moyennées sur la veille et le jour de l'événement (lag 0-1) pour NO<sub>2</sub> ( $p=0.04$ ) et CO ( $p=0.1$ ), et PM<sub>10</sub> ( $P=0.24$ ).

**Tableau 24.** Estimation des Odds Ratios\* de la survenue d'IDM, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques sur l'ensemble de la population d'étude, à l'échelle de l'IRIS.

Polluant/lag	Lag	OR	IC95%	p
NO <sub>2</sub>	0	1.06	1.00-1.11	0.03
	1	1.03	0.98-1.09	0.15
	<b>0-1</b>	<b>1.06</b>	<b>1.001-1.12</b>	<b>0.04</b>
PM <sub>10</sub>	0	1.02	0.97-1.08	0.28
	1	1.02	0.97-1.07	0.30
	<b>0-1</b>	<b>1.03</b>	<b>0.97-1.09</b>	<b>0.24</b>
CO	0	1.06	0.97-1.16	0.15
	1	1.05	0.96-1.14	0.27
	<b>0-1</b>	<b>1.08</b>	<b>0.97-1.20</b>	<b>0.13</b>

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10µg/m<sup>3</sup> du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

#### b). Effet modificateur des caractéristiques individuelles

##### b.1). Effet modificateur de l'âge

Les analyses par groupe d'âge (tableau 25) montrent, chez les **sujets âgés entre 55-74 ans**, des associations significatives ( $p=0.04$ ) et à la limite de la significativité ( $p=0.06$ ), entre la survenue d'infarctus et les concentrations de PM<sub>10</sub> (lag 0-1) et de NO<sub>2</sub> (lag 0-1) respectivement.

##### b.2). Effet modificateur du sous-groupe

L'analyse des sous groupes définis par le genre et les tranches d'âge nous permettent de discerner des populations plus susceptibles. Le tableau 26 décrit pour une exposition, moyennée sur le jour et la veille de l'événement (lag 0-1), trois associations statistiquement significatives parmi les

femmes âgées entre 55 et 74 ans : entre l'infarctus du myocarde et (i) NO<sub>2</sub> ( $p=0,04$ ) ; (ii) les PM<sub>10</sub> ( $p=0,04$ ), et (iii) le CO ( $p=0,02$ ).

**Tableau 25.** Odds ratios\* entre les IDM et les concentrations des polluants, pour différentes classes d'âge, pour des décalages temporels les plus significatifs lag (0-1) à l'échelle de l'IRIS.

	35-74 ans			35-54ans			55-74ans		
	OR	IC95%	P	OR	IC95%	p	OR	IC95%	p
NO <sub>2</sub>	<b>1.06</b>	<b>1.00-1.12</b>	<b>0.04</b>	1.04	0.95-1.15	0.36	<b>1.07</b>	<b>0.99-1.15</b>	<b>0.06</b>
PM <sub>10</sub>	1.03	0.97-1.09	0.24	0.97	0.88-1.06	0.53	<b>1.07</b>	<b>1.00-1.14</b>	<b>0.04</b>
CO	1.08	0.97-1.20	0.13	1.04	0.87-1.24	0.66	1.11	0.97-1.26	0.12

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m<sup>3</sup> du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe.

**Tableau 26.** Odds ratios\* entre les IDM et les concentrations des polluants, pour différents sous-groupes définis par le genre et la tranche d'âge, pour des décalages temporels les plus significatifs lag (0-1) à l'échelle de l'IRIS.

Polluants	Hommes						Femmes					
	35-54 ans			55-74 ans			35-54 ans			55-74 ans		
	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P
NO <sub>2</sub>	1.11	0.99-1.23	0.06	1.04	0.96-1.14	0.35	0.82	0.65-1.03	0.09	<b>1.17</b>	<b>1.01-1.35</b>	<b>0.04</b>
PM <sub>10</sub>	0.99	0.9-1.1	0.89	1.04	0.96-1.13	0.319	0.86	0.68-1.09	0.20	<b>1.15</b>	<b>1.01-1.3</b>	<b>0.04</b>
CO	1.08	0.89-1.32	0.42	1.02	0.88-1.2	0.767	0.87	0.57-1.32	0.50	<b>1.36</b>	<b>1.06-1.74</b>	<b>0.02</b>

\* Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m<sup>3</sup> du polluant, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe.

### III.2.2.2.2. Résultats des tests d'interaction par le niveau de défaveur socio-économique : NSE

#### a). Exposition de NO<sub>2</sub> moyennée sur la veille et la jour de l'événement (lag 0-1).

L'analyse de l'interaction (Figure 39a) montre que l'association entre NO<sub>2</sub> (lag0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde est statistiquement non significative quel que soit le NSE pour l'ensemble de la population d'étude considérée.

Les résultats, résumés dans le tableau 27, montrent des associations statistiquement significatives entre NO<sub>2</sub> (Lag0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde parmi :

(i) **les sujets âgés entre 54 et 74 ans** (aussi bien les hommes que les femmes) vivant dans des IRIS de *NSE moyen* ( $p=0.006$ )

(ii) deux sous-populations:

- les **femmes âgées entre 55 à 74 ans** vivant dans des IRIS de *NSE moyen* ( $P=0.04$ ),
- les **hommes âgés entre 55 et 74 ans** vivant dans des IRIS de *NSE moyen* ( $P=0.04$ ).

Cependant, aucune tendance, selon le niveau de défaveur socio-économique, n'est observée et les odds ratios ne diffèrent pas entre les différents niveaux de défaveur socio-économique ( $p > 0,05$ ).

#### ***b). Exposition aux PM<sub>10</sub> moyennée sur le jour et la veille de l'événement***

L'analyse de l'ensemble de la population d'étude montre que les odds ratios ne diffèrent pas entre eux ( $p > 0,05$ ) (figure 39b).

Les résultats, résumés dans le tableau 28, montrent que des associations significatives entre PM10 (lag 0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde sont observées parmi les sujets vivant dans les IRIS de NSE très défavorisés (le plus élevé ,5).

Nous avons observé une association statistiquement significative entre PM<sub>10</sub> (Lag0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde (tableau 28) parmi deux sous-populations:

- i. les **femmes âgées entre 55 et 75 ans** vivant dans les IRIS de *NSE le plus élevé* ( $P=0.032$ ),
- ii. les **sujets âgés entre 35 et 54 ans** ( $P= 0.013$ ) et plus particulièrement les **hommes âgés entre 35 et 54 ans** ( $p= 0.04$ ) vivant dans les IRIS de *NSE moyen*,

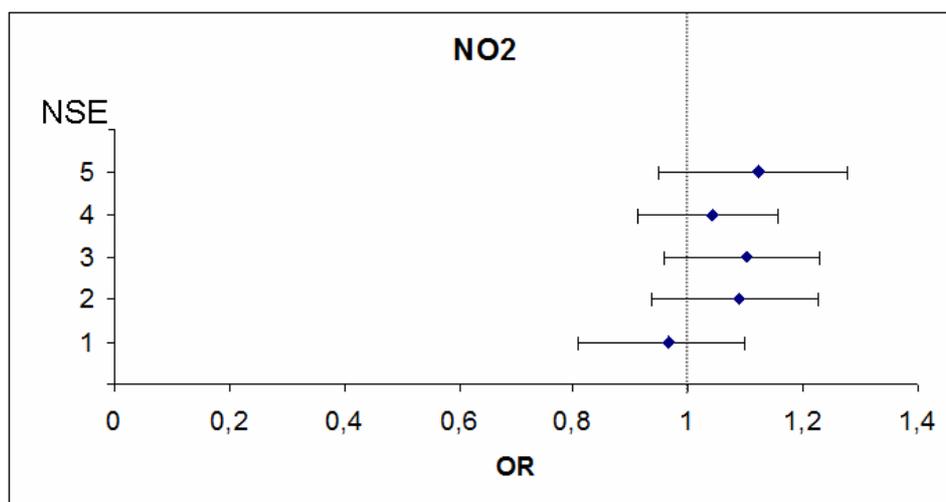
#### ***c). Exposition au CO moyennée sur le jour de l'événement.***

L'analyse de l'interaction par le NSE (Figure 39c) montre qu'il y a une association entre le CO (lag0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde, observée parmi les sujets vivant dans les IRIS de NSE le plus faible (très défavorisés).

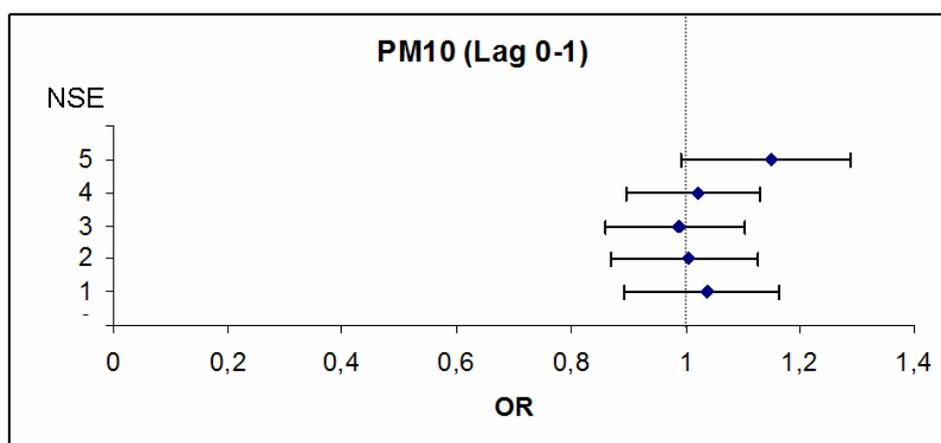
Les résultats, résumés dans le tableau 29, montrent que des associations significatives entre le CO (lag 0-1) et la survenue d'infarctus du myocarde sont observées parmi deux sous-groupes :

- (i) les **sujets âgés entre 54 et 74 ans** vivant dans les IRIS de *NSE moyen* ( $p=0.04$ )
- (ii) les **femmes âgées entre 35 et 54 ans** vivant dans les IRIS de *NSE moyen* ( $P=0.015$ ).

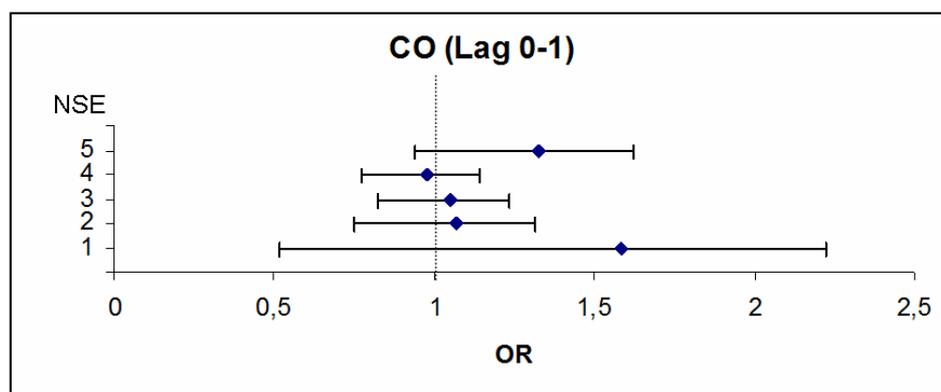
Cependant, aucune tendance selon le niveau de défaveur socio-économique n'est observée et les odds ratios sont non significativement différents entre les niveaux de défaveur socio-économique ( $p > 0,05$ ).



(a)



(b)



(c)

**Figure 39.** Odds ratio\* entre l'événement d'infarctus du myocarde et les polluants pour des décalages temporels les plus significatifs (lag0-1), selon les 5 profils de niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, (a) NO<sub>2</sub>, (b) PM<sub>10</sub>, (c) CO.

\*Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m3 des polluants, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

**Tableau 27.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

Caractéristiques (NO <sub>2</sub> Lag 0-1)		Niveau de défaveur socio-économique (NSE)									
Genre	Tranche d'âge (ans)	1		2		3		4		5	
		OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tous confondus	35-74	0.96	0.83-1.12	1.09	0.9-1.24	1.10	0.97-1.24	1.04	0.92-1.17	1.12	0.97-1.29
	35-55	0.91	0.68-1.21	1.22	0.96-1.54	0.92	0.75-1.12	1.09	0.91-1.30	1.08	0.86-1.36
	55-74	0.97	0.82-1.16	1.02	0.8-1.21	<b>1.24<sup>‡</sup></b>	<b>1.06-1.45</b>	0.98	0.83-1.15	1.16	0.97-1.39
Hommes	35-74	1.01	0.85-1.19	1.07	0.92-1.25	1.11	0.97-1.28	1.04	0.91-1.194	1.10	0.92-1.31
	35-55	0.97	0.71-1.32	1.24	0.96-1.60	1.01	0.81-1.25	1.11	0.92-1.35	1.21	0.91-1.61
	55-74	1.02	0.83-1.24	0.99	0.82-1.20	1.20 <sup>‡</sup>	1.00-1.44	0.94	0.77-1.146	1.07	0.86-1.32
Femmes	35-74	0.75	0.52-1.10	1.18	0.88-1.59	1.06	0.82-1.38	1.02	0.79-1.31	1.19	0.91-1.55
	35-55	0.49	0.20-1.21	1.13	0.61-2.07	0.63	0.39-1.02	0.91	0.54-1.51	0.88	0.59-1.32
	55-74	0.79	0.51-1.21	1.2	0.85-1.68	<b>1.4<sup>‡</sup></b>	<b>1.01-1.93</b>	1.06	0.78-1.44	1.48 <sup>‡</sup>	1.04-2.10

**Tableau 28.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

Caractéristiques (PM <sub>10</sub> , Lag 0-1)		Niveau de défaveur socio-économique (NSE)									
Genre	Tranche d'âge (ans)	1		2		3		4		5	
		OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tous confondus	35-74	1.03	0.91-1.18	1.01	0.88-1.14	0.98	0.87-1.11	1.021	0.91-1.14	1.15	1.01-1.30
	35-55	0.98	0.76-1.25	0.92	0.74-1.15	0.75 <sup>‡</sup>	0.60-0.94	1.08	0.90-1.28	1.11	0.90-1.38
	55-74	1.05	0.90-1.23	1.04	0.89-1.22	1.14	0.98-1.32	0.98	0.84-1.15	1.16	0.99-1.36
Hommes	35-74	1.03	0.90-1.19	1.00	0.86-1.15	0.96	0.83-1.11	1.03	0.90-1.17	1.10	0.94-1.29
	35-55	1.01	0.78-1.31	0.93	0.73-1.19	0.78 <sup>‡</sup>	0.61-0.99	1.09	0.91-1.31	1.17	0.90-1.51
	55-74	1.04	0.88-1.23	1.04	0.86-1.24	1.11	0.92-1.32	0.95	0.78-1.16	1.09	0.89-1.32
Femmes	35-74	1.01	0.72-1.41	1.06	0.81-1.39	1.06	0.83-1.35	0.99	0.78-1.26	1.26	1.00-1.58
	35-55	0.68	0.29-1.59	0.86	0.47-1.57	0.64	0.36-1.14	0.91	0.50-1.66	0.99	0.68-1.46
	55-74	1.08	0.74-1.58	1.12	0.82-1.53	1.22	0.93-1.61	1.02	0.79-1.34	<b>1.35<sup>‡</sup></b>	<b>1.02-1.78</b>

\* Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

<sup>‡</sup> P value <0.005

**Tableau 29.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> CO (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique, au sein des sous-populations définies par l'âge, le genre des sujets, CUS, 2000-2007.

Caractéristiques (CO. Lag 0-1)		Niveau de défaveur socio-économique (NSE)									
Genre	Tranche d'âge (ans)	1		2		3		4		5	
		OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
<b>Tous confondus</b>	<b>35-74</b>	1.58	0.94-2.65	1.06	0.82-1.38	1.05	0.86-1.27	0.97	0.80-1.17	1.32 <sup>‡</sup>	1.02-1.70
	<b>35-55</b>	1.38	0.50-3.76	1.19	0.74-1.90	0.72	0.52-1.01	1.08	0.79-1.46	1.42	0.93-2.16
	<b>55-74</b>	1.67	0.91-3.06	1.01	0.73-1.38	1.27 <sup>‡</sup>	1.00-1.62	0.92	0.72-1.19	1.17	0.87-1.58
<b>Hommes</b>	<b>35-74</b>	1.48	0.82-2.66	0.98	0.73-1.31	1.09	0.87-1.36	0.93	0.75-1.16	1.22	0.90-1.66
	<b>35-55</b>	1.69	0.57-4.97	1.19	0.72-1.95	0.85	0.59-1.22	1.04	0.75-1.45	1.52	0.91-2.56
	<b>55-74</b>	1.43	0.71-2.88	0.89	0.61-1.28	1.27	0.96-1.69	0.85	0.62-1.16	1.02	0.71-1.46
<b>Femmes</b>	<b>35-74</b>	2.03	0.67-6.13	1.64	0.89-3.01	0.91	0.61-1.36	1.10	0.75-1.61	1.58	1.00-2.50
	<b>35-55</b>	0.34	0.01-6.33	1.19	0.27-5.15	0.29 <sup>‡</sup>	0.10-0.79	1.28	0.58-2.84	1.18	0.55-2.50
	<b>55-74</b>	2.72	0.79-9.35	1.73	0.88-3.39	1.28	0.79-2.07	1.08	0.69-1.69	1.64	0.93-2.88

\* Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe

<sup>‡</sup> P value <0.005

### III.2.3. Discussion

Afin d'évaluer l'effet modificateur du niveau de défaveur sur l'impact de chaque polluant atmosphérique (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et CO) nous allons présenter successivement : (i) un rappel des résultats obtenus précédemment par l'étude PAISIM à l'échelle de l'IRIS qui compte 1193 cas d'IDM sur la période 2000-2003, (ii) les résultats que nous avons obtenus sur la période 2000-2007 en employant les deux approches. La première évalue le NSE à l'échelle de l'IRIS qui constitue la ré-analyse des données PAISIM sur une période d'étude plus longue en nombre d'années de suivi (2134 cas sur la période 2000-2007), soit deux fois plus de cas. La seconde approche évalue le NCD à l'échelle d'un nouveau découpage qui analyse 2134 cas sur la même période 2000-2007.

#### III.2.3.1. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du NO<sub>2</sub>

##### III.2.3.1.1. Niveau de défaveur socio-économique

*a). Rappel des résultats de l'étude PAISIM à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2003* (13). Les résultats obtenus lors de l'étude PAISIM (2000-2003) n'avaient montré aucun effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique à l'échelle de l'IRIS, mais uniquement des estimations ponctuelles de l'augmentation du risque relativement plus élevé pour les sujets appartenant à la catégorie de haute défaveur.

*b). Résultats des analyses à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2007.* La ré-analyse des données sur la période 2000-2007 fait apparaître un effet modificateur : des associations significatives chez les sujets âgés de 55-74 ans (OR=1.24 ; IC [1.06-1.45], pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>), vivant dans les IRIS de NSE moyen.

Parmi les populations vivant dans les IRIS de NSE moyen, les femmes et hommes âgés entre 55 et 75 ans apparaissaient tous deux comme particulièrement sensibles à l'exposition aux NO<sub>2</sub> (OR =1.4 ; IC [1.014-1.93] ; OR =1.2 ; IC [1.005-1.44] respectivement), pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>).

Néanmoins, l'analyse de l'ensemble de la population d'étude n'a pas modifié les résultats précédemment obtenus : aucun effet modificateur du niveau de défaveur ne semble apparaître chez la population totale.

##### III.2.3.1.2. Niveau de défaveur contextuelle

Les résultats de notre évaluation d'un NDC à l'échelle d'un nouveau découpage (AZTool-Output) montre qu'il y a un effet modificateur : une association significative entre le NO<sub>2</sub> et la survenue

d'infarctus du myocarde est observée parmi les sujets vivant dans les zones de NDC de la catégorie C (OR=1.17 ; IC [1.02-1.22], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ ) tandis qu'aucune association significative n'est mise en évidence pour les 4 autres catégories de NDC.

Parmi cette sous-population de NDC de la catégorie C, les sujets âgés entre 54 et 74 ans, et plus particulièrement les femmes, apparaissent plus sensibles à l'exposition aux  $\text{NO}_2$  (OR=1.14 ; IC [1.018-1.278] ; OR =1.24 ; IC [1.001-1.54] respectivement, pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ )

### **III.2.3.2. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact des $\text{PM}_{10}$**

#### ***III.2.3.2.1. Niveau de défaveur socio-économique (NSE)***

***a). Rappel des résultats de l'étude PAISIM à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2003.*** Les résultats obtenus lors de l'étude PAISIM avaient montré un effet modificateur du NSE : des associations significatives entre le risque de la survenue d'infarctus du myocarde et l'exposition aux  $\text{PM}_{10}$  chez les sujets vivant dans les ***IRIS très défavorisés*** ont été notées, et plus particulièrement chez les ***femmes âgées (55-74 ans)*** vivant dans ces quartiers.

***b). Résultats des analyses à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2007.*** La ré-analyse des données sur la période 2000-2007 aboutit à des résultats similaires à l'étude précédente (décrite ci-dessus) : il existe des associations significatives chez les sujets vivant dans les IRIS très défavorisés (OR=1.15 ; IC [1.011-1.30], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ ), tandis qu'aucune association significative n'est mise en évidence pour les autres catégories de NSE.

Parmi cette sous-population de NSE très faible, les femmes âgées (55-74 ans) semblent particulièrement plus sensibles aux expositions des  $\text{PM}_{10}$  (OR =1.35 ; IC [1.026-1.78] pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ ),

#### ***III.2.3.2.2. Niveau de défaveur contextuelle***

Les résultats de notre évaluation du NDC à l'échelle d'un nouveau découpage (AZTool-Output) montre qu'il y a un effet modificateur : une association entre  $\text{PM}_{10}$  (lag 0-1) et l'infarctus du myocarde est observée parmi les ***femmes âgées entre 55 et 74 ans***, vivant dans un environnement de ***NDC de la catégorie C*** (OR=1.29 ; IC [1.019-1.63], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ ), tandis qu'aucune association significative n'est mise en évidence pour les autres catégories de NDC ou les autres tranches d'âge et pour les hommes du même NDC.

### III.2.3.3. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du CO

#### III.2.3.3.1. Niveau de défaveur socio-économique (NSE)

a). *Rappel des résultats de l'étude PAISIM à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2003.* Les résultats obtenus lors de l'étude PAISIM (2000-2003) n'avaient montré aucun effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique, mais uniquement des estimations ponctuelles de l'augmentation du risque relativement plus élevé pour les sujets appartenant à la catégorie de haute défaveur.

b). *Résultats des analyses à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2007.* La ré-analyse des données sur la période 2000-2007 montre qu'il y a un effet modificateur : une association entre le CO et l'infarctus du myocarde est observée parmi : les sujets vivant dans les IRIS de *NSE très faible* (OR= 1.32 ; IC [1.027-1.70], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO), alors qu'aucune association significative n'est notée pour les autres niveaux de défaveur NSE.

Parmi les populations vivant dans les IRIS de NSE moyen, les **sujets âgés entre 54 et 74 ans, apparaissaient** comme particulièrement sensibles à l'exposition aux CO (OR=1.27 ; IC [1.003-1.62], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ ), alors qu'aucune association significative n'est mise en évidence pour les autres groupes ou tranches d'âge du même NSE.

#### III.2.3.3.2. Niveau de défaveur contextuelle

Les résultats de notre évaluation du NDC à l'échelle d'un nouveau découpage (AZTool-Output) montre qu'il y a un effet modificateur : une association entre le CO et l'infarctus du myocarde est observée parmi les sujets vivant dans un environnement de *NDC de la catégorie C* (OR=1.20 ; IC [1.04-1.38], pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO) tandis qu'aucune association significative n'est mise en évidence pour les autres catégories de NDC.

Parmi cette sous-population susceptible, les personnes **âgées de 55 à 74 ans** (OR=1.22 ; IC [1.03-1.45]), et en particulier les femmes (OR=1.41 ; IC [1.04-1.91]), apparaissaient comme particulièrement sensibles à l'exposition aux CO.

### III.2.3.4. Apports comparés des deux approches

#### III.2.3.4.1. Augmentation de la puissance statistique

En employant des modèles globaux, malgré l'augmentation de la puissance statistique, en augmentant le nombre d'années de suivi (2000-2007), la ré-analyse des données n'a montré aucun

effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique sur l'impact sanitaire du NO<sub>2</sub> et CO. En revanche, cette ré-analyse a permis de confirmer les résultats précédemment obtenus lors des travaux réalisés sur la période 2000-2003, à savoir un effet modificateur significatif du niveau de défaveur socio-économique sur l'impact des PM<sub>10</sub>.

#### ***III.2.3.4.2. Effet modificateur du niveau de défaveur***

L'analyse du niveau de défaveur contextuelle à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output), au sein de la population générale, nous a permis de démontrer l'existence d'un effet modificateur du niveau de défaveur sur l'effet des NO<sub>2</sub> et le CO, qui n'est pas été démontré par l'approche évaluant le niveau de défaveur socio-économique à l'échelle des IRIS.

L'analyse plus approfondie des données, en prenant en compte les caractéristiques individuelles (âge et genre), nous a permis de mettre en évidence des interactions significatives. Une sous population, constituée de femmes âgées entre 55-74 ans, présente des associations significatives avec les différents polluants, quel que soit le découpage analysé, administratif (IRIS) ou le nouveau découpage le CUS –AZTool-Output-).

Quel que soit le niveau de défaveur utilisé, une sous-population de personnes âgées (55-74 ans), et, plus particulièrement, les femmes vivant dans un environnement de NSE moyen et/ou de NDC de la catégorie C, apparaissent comme particulièrement sensibles à l'exposition des polluants. Ces résultats semblent déjà rapportés par de nombreux travaux (8, 14-16).

#### **III.2.3.5. Compréhension des effets modificateurs du niveau de défaveur**

Lors des précédents travaux, par manque de puissance statistique, les auteurs (13) ont catégorisé le niveau de défaveur socio-économique en 3 classes (favorisé, moyen, et très défavorisé). Les premières conclusions des travaux précédents indiquent que les populations les plus défavorisées présentaient une augmentation de risque significative. Ce constat était valable uniquement pour les PM<sub>10</sub>.

Cependant, de par la finesse de leur analyse (modélisation des polluants à une échelle très fine), ces travaux avaient peu d'études comparables. Néanmoins, ces résultats étaient cohérents avec quelques études qui rapportent, par exemple, que les populations vivant dans des zones de NSE défavorisés sont plus sensibles à la pollution (17-19).

Devant l'absence de données contextuelles, deux hypothèses ont été avancées pour expliquer la grande susceptibilité à la pollution atmosphérique des populations de faible niveau socio-économique.

La première hypothèse repose sur l'exposition différentielle; autrement dit, les populations les plus défavorisées sont les plus exposées à la pollution.

Cependant, vu l'étude d'équité environnementale conduite sur la CUS (20), cette hypothèse de l'exposition différentielle pour expliquer ces résultats, ne semblait pas satisfaisante sur la période d'étude 2000-2003. Les populations les plus défavorisées socio-économiquement ne sont pas celles qui sont les plus exposées aux différents polluants (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO), étant donné que les populations les plus défavorisées n'étaient pas les plus exposées (20).

L'hypothèse de l'exposition différentielle étant écartée et devant un manque d'informations contextuelles (en l'absence de données contextuelles), la seconde hypothèse, la plus plausible, est que les gens, de faible NSE surtout les femmes âgées, peuvent être plus vulnérables aux effets sanitaires de la pollution de l'air, car elles ont moins bonne santé pour des raisons directement liées à leurs conditions socio-économiques défavorisées et psychosociales.

Selon la littérature, la population vivant dans les groupes de NSE faible peut souffrir d'une mauvaise nutrition, adopter des comportements à risque (tabagisme, consommation excessive d'alcool, etc), et présenter un accès limité aux soins de santé et aux traitements. Aussi, cette population peut souffrir de stress psychosocial et vivre dans des conditions de vie médiocres, qui peuvent à leur tour conduire à un mauvais état de santé (4).

Or, au sein de la CUS les populations vivant dans les environnements de niveau socio-économiquement très défavorisé (autrement dit, de catégories D et E) présentent une très bonne accessibilité à tous les équipements et ressources publiques tels que les systèmes de soins, équipements sportifs, et un bon environnement psycho-social (tissu associatif très développé), autant de facteurs qui constituent un environnement sain.

**De plus, notre étude tend plus à démontrer que l'effet des différents polluants est susceptible d'être plus important parmi les populations de NSE moyen et/ou de NDC de la catégorie C, et non au sein des populations les plus fortement défavorisées.**

Au vu des nouveaux résultats, l'hypothèse rejetée lors des études précédentes au sujet d'une exposition différentielle semble au contraire très pertinente dans notre cas.

La répartition des polluants sur le territoire d'étude à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output), confortée par les résultats lors de l'analyse de l'équité environnementale conduite sur la CUS à l'échelle des IRIS (20), semble indiquer que ce ne sont pas les populations les plus défavorisées ni le plus favorisées qui sont les plus exposées. Notre étude tend plus à

démontrer que ce sont les populations appartenant à une classe intermédiaire (de NSE moyen et de NDC de la catégorie C) (cf. *Annexe N°5*).

Au-delà de l'exposition qui semble plus élevée au sein de ces zones, l'environnement de voisinage caractérisé par le NDC de catégorie C semble présenter des éléments contextuels qui auraient tendance à augmenter la sensibilité des sujets qui y vivent.

Ce profil contextuel (de catégorie C) décrit un environnement de voisinage de niveau de défaveur socio-économiquement moyen qui présente un bon environnement psycho-social (avec un tissu associatif important) mais un niveau d'accessibilité aux ressources en dessous de la moyenne, avec une faible accessibilité aux espaces verts publics et aux équipements sportifs.

Nos résultats sont confortés par la littérature : en effet, de nombreux travaux ont montré des associations entre les équipements sportifs et l'obésité, ou l'augmentation de l'Indice de masse corporelle (IMC), ainsi qu'un lien entre les espaces verts et l'obésité (21, 22). Des associations ont été rapportées entre les infrastructures de loisir [en l'occurrence les parcs (23) ainsi que les équipements sportifs et l'activité sportive (24-26)] et l'activité physique.

Dans ce sens, des travaux récents ont rapporté que les sujets vivant loin des infrastructures de loisirs sont significativement moins actifs (27), ou encore que le nombre d'infrastructures et le nombre de parcs à proximité du lieu de résidence (28) sont significativement liés à la pratique d'activité physique et qu'il existe une association entre l'augmentation du niveau de verdure dans des quartiers et la diminution de la surcharge pondérale (22).

Ceci nous conduit à croire que ce manque d'infrastructures semble être fortement lié aux différents facteurs de risque en l'occurrence l'obésité, l'activité sportive, d'autant plus que les femmes âgées y sont plus sensibles en raison de la diminution de la protection hormonale après la ménopause (29).

Dans un tel environnement de voisinage, la pollution de l'air peut agir sur cette sous-population sensible comme un facteur aggravant, se combinant avec des conditions contextuelles locales défavorables et donc générer des effets sur la santé, plus importants que dans le reste de la population. Ce constat est d'autant plus pertinent que si l'on considère le différentiel d'exposition qui suggère une plus importante exposition de ces mêmes environnements de voisinage.

### **III.2.3.6. Limites de l'approche**

#### ***III.2.3.6.1. Les mesures du niveau de défaveur***

Notre analyse d'évaluation de l'effet modificateur du niveau de défaveur, basée sur la comparaison de deux approches de définition de la défaveur, nous conduit à nous questionner sur la similitude (comparabilité) de ces deux mesures.

En effet, les deux mesures de défaveur sont élaborées à l'échelle de deux découpages, l'un plus restreint que l'autre, concentré autour des zones habitables (cellule de 250x 250m).

A l'échelle des IRIS, le niveau de défaveur mesuré par l'indice composite est calculé à partir de 19 variables socio-économiques du recensement (pour plus de détail cf. les travaux précédents d'Havard et al., 2008 (12)). Quant à l'échelle du nouveau découpage, le niveau de défaveur contextuelle comprend, à quelques variables près, toutes les variables socio-économiques issues du recensement, ainsi que d'autres variables représentant les autres dimensions.

Dans l'incapacité de construire notre nouvelle mesure de défaveur contextuelle à l'échelle des IRIS et vice-versa (l'indice socio-économique à l'échelle des cellules), nous avons finement examiné les cartographies des deux indices de défaveur à l'échelle de la CUS.

Comme le montre la Figure 31, l'examen visuel des cartographies de la CUS présente le même schéma : une première périphérie composée des IRIS socio-économiquement favorisés et très favorisés, qui correspondent principalement aux environnements de voisinage des catégories A et B. Ensuite, une deuxième couronne composée d'IRIS de niveau socio-économique très faible correspondant à l'environnement de voisinage de la catégorie E. Et enfin, le centre de Strasbourg est caractérisé par des IRIS de NSE moyen correspondant aux zones de catégories C et D.

Ainsi, nous avons supposé que ces deux mesures indiquent des niveaux de défaveur socio-économique assez proches (assez similaires) comparables sur le plan de la dimension socio-économique.

### ***III.2.3.6.2. Enregistrement des cas d'infarctus du myocarde***

La source des données sur l'infarctus du myocarde est de grande qualité et validée. Chaque année les trois registres effectuent une validation (traditionnellement, durant 15 jours au mois de novembre) au cours de laquelle un double codage est pratiqué en utilisant le protocole d'enregistrement actuel et le protocole initial MONICA pour assurer la continuité temporelle des estimations statistiques. De même, une fois par an, les données des registres sont transmises au centre coordinateur national (INSERM unité 258), à Paris, qui assure la centralisation et le contrôle de qualité. Des données de grande qualité sont ainsi recueillies.

Cependant, à partir de 2003, depuis la révision des critères de définition de l'Infarctus du myocarde, les praticiens emploient le terme de **syndrome coronarien aigu**, et non pas **infarctus du myocarde**. Autrement dit, certains cas souffrant d'infarctus du myocarde sont classés comme étant un cas présentant un syndrome coronarien aigu (non un IDM) selon la nouvelle classification.

Ainsi, même si ces cas souffrent d'infarctus du myocarde, ils ne seront pas enregistrés dans le registre des cardiopathies.

Cette divergence de langage des praticiens peut être à l'origine d'un léger sous-enregistrement depuis 2003. Cependant, les travaux récents des registres des cardiopathies ont confirmé que la baisse du taux observé depuis 2003 n'est pas imputable à l'enregistrement des cas, mais qu'une tendance de diminution des taux d'incidence et de mortalité est réellement noté au niveau national.

### **III.2.4. Conclusion**

En conclusion, notre étude est la première à mettre en relation des concentrations ambiantes de polluants de résolution spatiale aussi fine et de pas de temps journalier horaire avec des indicateurs de la survenue d'infarctus du myocarde. Nous avons observé des associations positives et statistiquement significatives, pour les indicateurs PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et CO.

Nous avons observé une interaction des relations par le niveau de défaveur des environnements de voisinage. Cette interaction est confirmée quel que soit le niveau de défaveur considéré : socio-économique et contextuelle.

Notre étude tend à démontrer que l'effet des différents polluants est susceptible d'être plus important parmi les populations de NSE moyen et/ou de NDC de catégorie C, et plus particulièrement les personnes âgées, avec une plus grande sensibilité des femmes âgées de 35-74 ans.

Deux principales hypothèses, au regard de ces résultats, sont susceptibles d'être retenues : d'une part, les caractéristiques contextuelles qui décrivent les environnements de voisinage de niveau socio-économique moyen, et d'autre part, l'exposition différentielle qui reste à explorer de plus près (analyse de l'équité environnementale avec prise en compte de l'auto-corrélation spatiale).

## **Chapitre 3 : Evaluation de l'effet modificateur de l'environnement de voisinage sur l'impact sanitaire de pollution atmosphérique -Cas d'étude 2 : appel aux urgences pour asthme-**

---

Ce troisième chapitre a pour objectif de présenter les résultats de l'analyse « cas-croisés » que nous avons menée sur l'agglomération strasbourgeoise selon les deux approches suivantes : (i) à l'échelle du nouveau découpage, (ii) à l'échelle du découpage du recensement de l'IRIS. Ainsi, nous pourrons comparer les différents résultats obtenus depuis l'étude PAISA à notre étude PAISARC+. Une phase préliminaire de ce chapitre résume la mise en place des modèles à la fois globaux et stratifiés, suivie des résultats d'évaluation de l'effet du niveau de défaveur.

---

### **III.3.1. Description de la mise en place des modèles**

La même méthodologie d'analyse que celle décrite dans le chapitre 1 de cette partie a été suivie pour chacun des deux polluants atmosphériques NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.

#### **III.3.1.1. Modèles globaux**

Dans un premier temps, nous avons conduit des analyses globales, intégrant l'ensemble des cas enregistrés sur la période (2000-2008). Les modèles cas- croisés mis en place sont construits selon le schéma décrit dans le chapitre 1 de cette partie.

Ainsi, nous avons mis en place un modèle global selon les deux approches ajustées sur les différents facteurs de confusion considérés : humidité relative moyenne, température maximum, pression atmosphérique maximum et comptes polliniques journaliers, moyennés sur le jour de l'appel et le précédent ainsi que les variables grippe, vacances et jours fériés.

Les associations entre expositions aux polluants et les appels d'urgence pour asthme ont ensuite été étudiées en faisant varier la durée de la fenêtre temporelle d'exposition concernée. Nous avons testé l'influence des concentrations des polluants moyennées sur le jour de l'appel, puis moyennées sur le jour de l'appel et les 1 à 2 jours précédents. Dans nos analyses, l'indicateur journalier d'exposition est la concentration journalière moyenne pour NO<sub>2</sub>, et PM<sub>10</sub>.

### **III.3.1.2. Estimation de l'effet modificateur par des caractéristiques individuelles**

A l'aide de l'analyse stratifiée par les tranches d'âge (0-19, 20-46 et plus de 65 ans), nous avons testé l'effet modificateur par les caractéristiques individuelles. Autrement dit, *l'association entre les concentrations des polluants et les appels d'urgence pour asthme sont modifiés par l'âge des individus.*

Ainsi, à chacune des étapes de l'analyse (modèles globaux et tests d'interaction) toutes les associations significatives ou qui se rapprochent le plus de la significativité, ont été analysées plus en détail pour estimer l'effet modificateur par les tranches d'âge.

### **III.3.2. Résultats**

Tous les résultats présentés sont exprimés sous la forme d'odds ratios pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux du polluant (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>).

Les résultats des analyses statistiques sont présentés par approche d'analyse (l'approche *i* puis pour l'approche *ii*).

### III.3.2.1. Résultats à l'échelle du découpage conçu : approche (i)

Les résultats présentés dans cette section résument l'analyse du niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output).

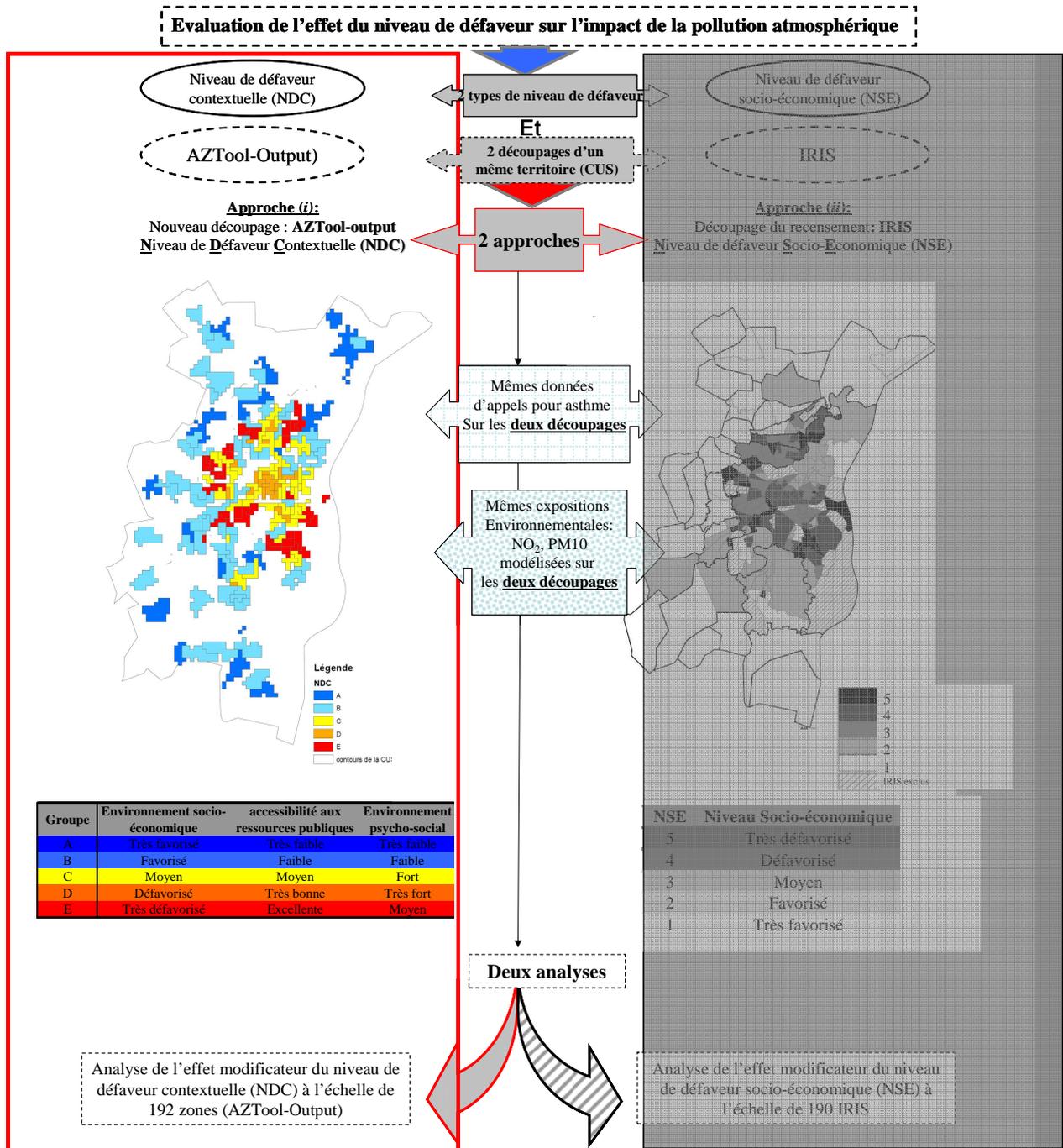


Figure 40. Schéma explicatif des approches de l'analyse du niveau de défaveur : approche i – données d'asthme et le NDC à l'échelle du nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output)

### **III.3.2.1.1. Résultats du modèle global**

Les associations entre les appels d'urgence pour asthme (tous âges confondus) et les concentrations des polluants moyennées sur le jour de l'événement et sur les deux jours précédents sont présentées dans le tableau 30.

#### **a). au sein de la population d'étude**

Les plus fortes associations entre les différents polluants et l'infarctus du myocarde les plus significatives (au seuil de 5%) sont observées pour les concentrations moyennées sur le jour de l'événement (lag 0) pour NO<sub>2</sub> et pour les concentrations moyennées sur le jour et la veille de l'événement (lag 0-1) pour PM<sub>10</sub>.

**Tableau 30.** Estimation des Odds ratio\* des appels d'urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques (tous confondus) à l'échelle du découpage AZTool-output

	<b>Lag</b>	<b>OR</b>	<b>IC</b>	<b>P</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>0</b>	<b>1,02</b>	<b>1,00-1,04</b>	<b>0,02</b>
	1	1,01	0,99-1,03	0,30
	0-1	1,02	0,99-1,04	0,06
<b>PM<sub>10</sub></b>	0	1,02	0,99-1,04	0,08
	<b>1</b>	<b>1,02</b>	<b>1,00-1,05</b>	<b>0,02</b>
	<b>0-1</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00-1,05</b>	<b>0,02</b>

\*Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe, et les comptes polliniques

#### **b). Effet modificateur des caractéristiques individuelles**

Les analyses stratifiées par tranche d'âge, résumées dans le Tableau 31, montrent une association significative chez les sujets âgés (plus de 65 ans) pour l'exposition des concentrations moyennées sur le jour-même de NO<sub>2</sub> ( $p=0,015$ ) et à la limite de la significativité pour PM<sub>10</sub> ( $p=0,06$ ).

**Tableau 31.** Estimation des Odds ratios\* des appels d'urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques<sup>41</sup> (analyse stratifiée par tranche d'âge) à l'échelle du découpage AZTool-output

Polluants	Tous confondus				0-19 ans			20-64 ans			Plus de 65 ans		
	Lag	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P
NO <sub>2</sub>	0	1.024	1.003-1.04	0.02	0.99	0.95-1.04	0.80	1.02	0.98-1.05	0.19	1.04	1.01-1.07	0.01
PM <sub>10</sub>	0-1	1.03	1.003-1.05	0.027	1.02	0.96-1.08	0.41	1.02	0.98-1.06	0.28	1.04	0.99-1.08	0.06

\*Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

### *III.3.2.1.2. Résultats des tests de l'interaction par le niveau de défaveur contextuelle (NDC)*

#### *a). Exposition au NO<sub>2</sub> moyennée sur le jour de l'événement (lag 0)*

L'analyse de l'interaction pour le NO<sub>2</sub> (Figure 41a) montre qu'une association statistiquement significative entre le NO<sub>2</sub> (lag0) et les appels d'urgence pour asthme est observée parmi les sujets vivant dans les groupes de NDC de catégorie C ( $p=0,02$ ).

Les résultats résumés dans le tableau 32 montrent qu'il y a une association significative ( $p=0,002$ ) entre le NO<sub>2</sub> et les appels aux urgences pour asthme uniquement chez les sujets les plus âgés (plus de 65 ans) vivant dans le NDC de catégorie B.

Cependant, aucune tendance selon le niveau de défaveur contextuelle n'est observée et les odds ratios sont non significativement différents entre les différents niveaux de défaveur contextuelle ( $p> 0,05$ ).

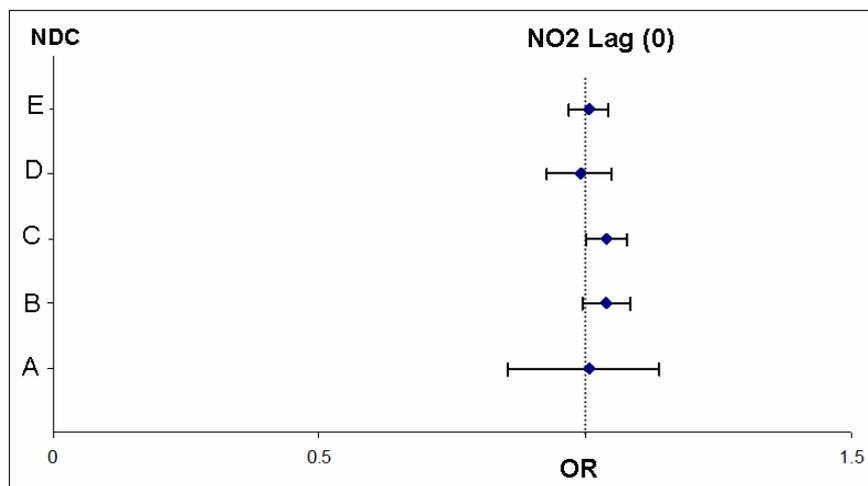
#### *b). Exposition aux PM<sub>10</sub> moyennées sur le jour et la veille de l'événement (lag0-1)*

Tout âge confondu, l'analyse de l'interaction montre que les odds ratios ne diffèrent pas significativement entre eux ( $p> 0,05$ ) (Figure 41b).

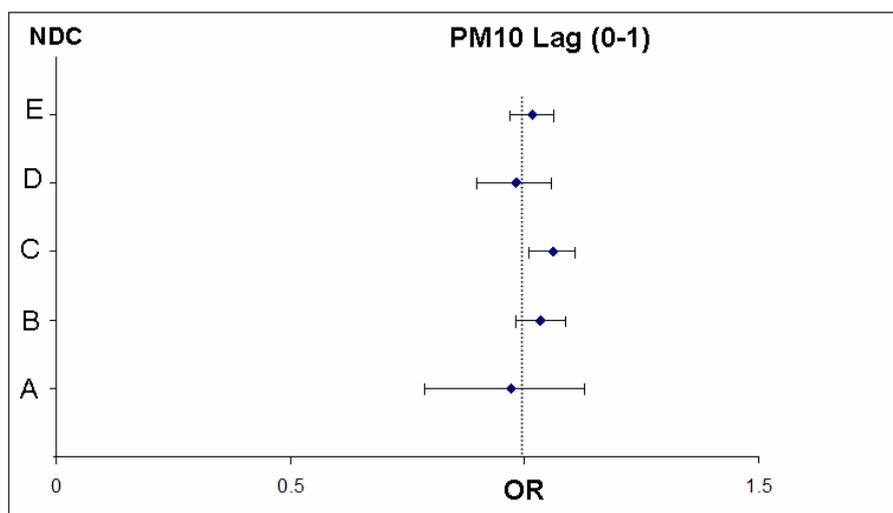
Les résultats résumés dans le tableau 32 montrent qu'une association statistiquement significative entre PM<sub>10</sub> (lag0-1) et les appels d'urgence pour asthme, est observée parmi :

- (i) les sujets (tout âge confondu) vivant dans les groupes de NDC de catégorie C ( $p=0,017$ ),
- (ii) les sujets les plus âgés (plus de 65 ans) vivant dans le NDC de catégorie B ( $p=0,02$ ).

<sup>41</sup> Ajusté sur la variable météorologique et les épidémies de grippe



(a)



(b)

**Figure 41.** Odds ratios entre les appels d'urgence pour asthme et les polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 profils de niveau de défaveur contextuelle à l'échelle du découpage AZTool-output; (a) NO<sub>2</sub>, (b) PM<sub>10</sub>.

**\*Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m<sup>3</sup> des polluants, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques**

**Tableau 32.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du découpage AZTool-output au sein des sous-populations définies par l'âge des sujets, CUS, 2000-2008.

NO <sub>2</sub> (lag 0)	Niveau de défaveur contextuelle (NDC)									
	A		B		C		D		E	
Caractéristiques	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tout âge confondu	1.01	0.87-1.16	1.04	0.99-1.08	1.04 <sup>‡</sup>	1.00-1.08	0.99	0.93-1.05	1.01	0.97-1.04
1-19 ans	0.94	0.66-1.34	1.01	0.92-1.11	1.00	0.92-1.09	1.01	0.88-1.16	0.97	0.89-1.04
20-64 ans	1.001	0.80-1.26	0.98	0.91-1.05	1.05	0.99-1.11	0.98	0.89-1.08	1.02	0.97-1.08
plus 65 ans	1.01	0.81-1.26	1.10 <sup>‡</sup>	1.03-1.17	1.04	0.98-1.10	0.97	0.88-1.07	1.01	0.9-1.08

**Tableau 33.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> (lag 0-1) par Niveau de défaveur contextuelle (NDC) à l'échelle du découpage AZTool-output au sein des sous-populations définies par l'âge des sujets, CUS, 2000-2008.

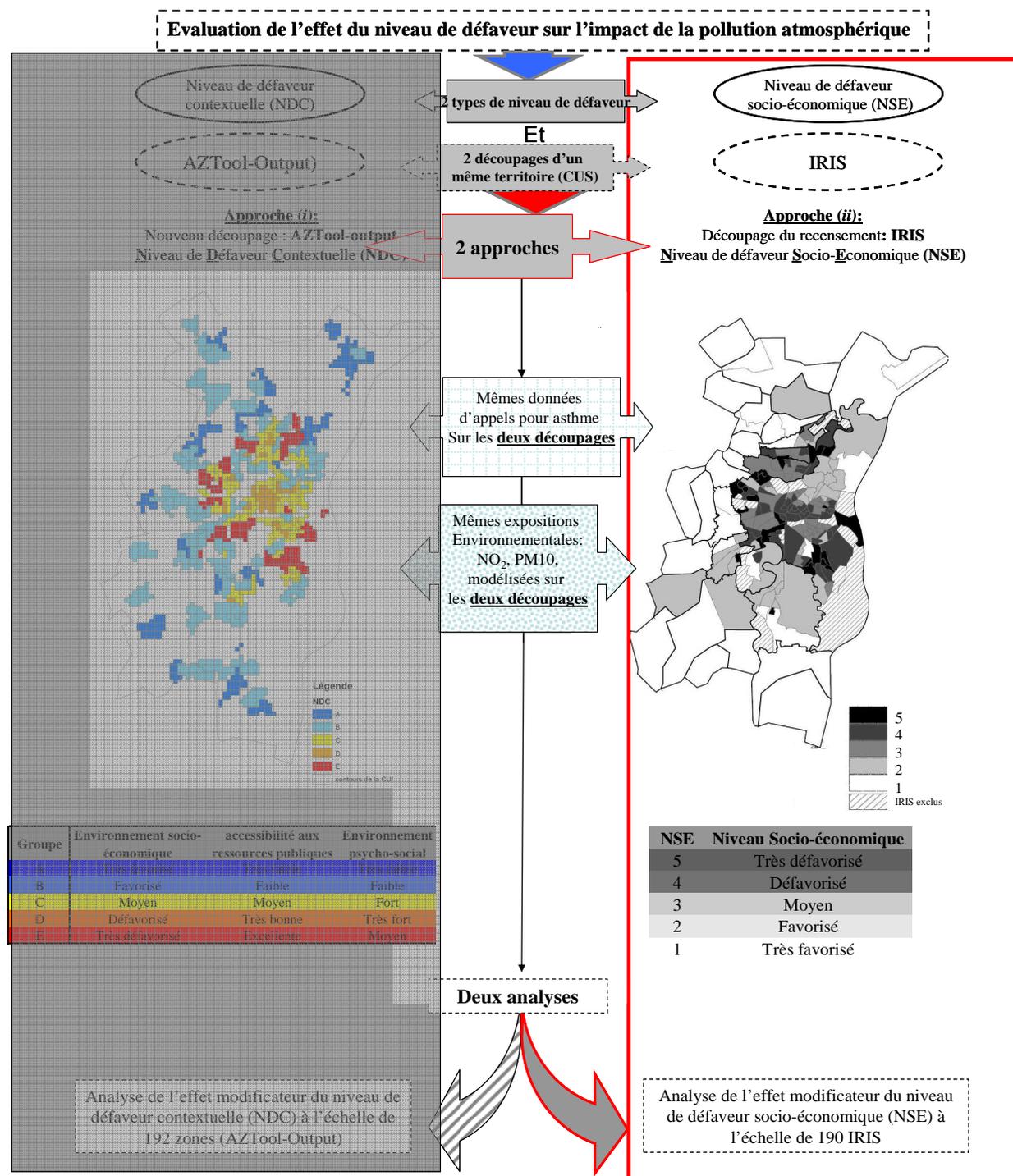
PM <sub>10</sub> (lag 0-1)	Niveau de défaveur contextuelle (NDC)									
	A		B		C		D		E	
Caractéristiques	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tout âge confondu	0.97	0.87-1.16	1.03	0.87-1.16	1.06 <sup>‡</sup>	0.87-1.16	0.98	0.87-1.16	1.01	0.87-1.16
0- 19 ans	1.08	0.74-1.58	1.05	0.91-1.19	1.07	0.97-1.19	1.1	0.91-1.31	0.93	0.84-1.03
20-64 ans	0.95	0.70-1.28	0.95	0.87-1.04	1.06	0.98-1.13	1.01	0.88-1.14	1.03	0.96-1.10
plus de 65 ans	0.91	0.69-1.20	1.09 <sup>‡</sup>	1.01-1.18	1.05	0.97-1.12	0.89	0.77-1.02	1.04	0.96-1.14

\*Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

<sup>‡</sup> P value <0.05

### III.3.2.2. Résultats à l'échelle du découpage du recensement (l'IRIS) : approche (ii)

Les résultats présentés dans cette section résument l'analyse du niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle du découpage du recensement (l'IRIS).



**Figure 42.** Schéma explicatif des approches de l'analyse du niveau de défaveur : **approche ii** – données d'asthme et le NSE à l'échelle de l'IRIS

### III.3.2.2.1. Résultats du modèle global

#### a). au sein de toute la population d'étude

Les plus fortes associations entre les différents polluants (NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>) et les appels d'urgence pour asthme (au seuil de 5%) sont observées pour les concentrations moyennées sur la veille et le jour de l'événement (lag 0-1) pour NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub> (tableau 35).

**Tableau 34.** Estimation des Odds ratios\* des appels d'urgence pour asthme, associés à une augmentation de 10µg des polluants atmosphériques<sup>1</sup> (tous âges confondus)

Polluants	Lag	OR	IC 95%	p
NO <sub>2</sub>	0	1.02	1.00-1.05	<b>0.02</b>
PM <sub>10</sub>	0-1	1.03	1.01-1.06	<b>0.01</b>

\*Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10µg/m3 des polluants, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

#### b). Effet modificateur des caractéristiques individuelles

Les analyses par tranche d'âge (tableau 35) montrent des associations significatives uniquement chez les sujets âgés (plus de 65 ans) aussi bien pour le NO<sub>2</sub> ( $p=0,02$ ) que pour les PM<sub>10</sub> ( $p=0,04$ ).

**Tableau 35.** Odds ratios\* entre les appels d'urgence pour asthme et les concentrations des polluants, pour les différentes classes d'âge à l'échelle des IRIS, pour des décalages temporels les plus significatifs

Polluants	Tout âge confondu				0-19 ans			20-64 ans			plus de 65 ans			
	Lag	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	OR	IC95%	P	
PM <sub>10</sub>	0-1	1.03	1.01-1.06	<b>0.01</b>	1.04	0.98-1.11	0.12	1.01	0.97-1.06	0.38	1.04	1.00-1.09	0.04	
NO <sub>2</sub>	0	1.02	1.00-1.05	<b>0.02</b>	1.01	0.96-1.06	0.67	1.01	0.98-1.05	0.38	1.04	1.01-1.08	0.02	

\*Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10µg/m3 des polluants, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

### ***III.3.2.2.2. Résultats des tests de l'interaction par le niveau de défaveur socio-économique***

#### ***a). Exposition au NO<sub>2</sub> moyennée sur la veille et le jour de l'événement (lag 0)***

L'analyse de l'interaction, tous âges confondus, (Figure 43a) montre qu'une association entre NO<sub>2</sub> (lag0) et les appels d'urgence pour asthme est statistiquement significative ( $p=0,05$ ) chez les sujets vivant dans les IRIS de NSE moyen (NSE=3).

Les résultats résumés dans le tableau 36, montrent qu'aucune interaction des caractéristiques individuelles n'est démontrée.

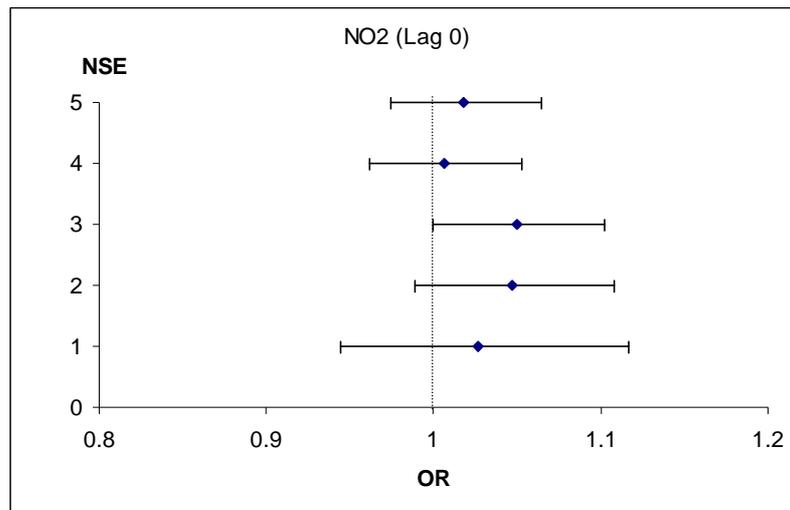
Aussi, aucune tendance selon le niveau de défaveur socio-économique n'est observée et les odds ratios sont non significativement différents entre les différents niveaux de défaveur socio-économique ( $p > 0,05$ ).

#### ***b). Exposition aux PM<sub>10</sub> moyennée sur le jour et la veille de l'événement***

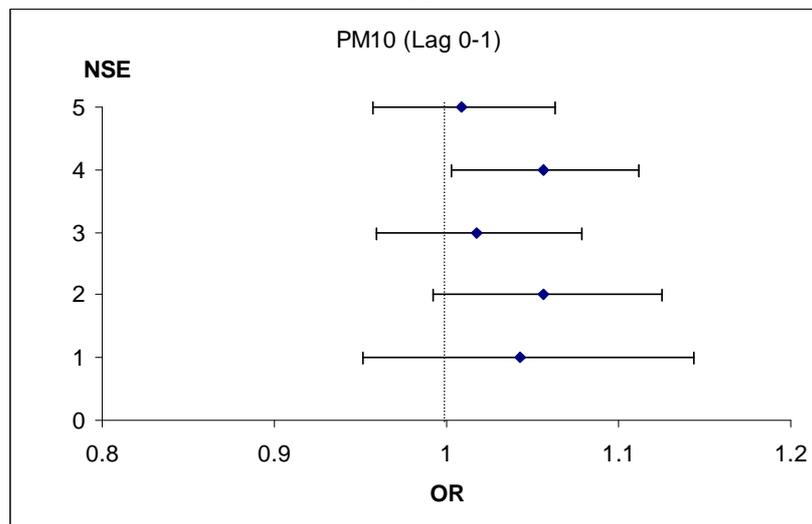
L'analyse des cas, tous âges confondus, montre que les odds ratios ne diffèrent pas significativement entre eux ( $p > 0,05$ ) (Figure 43b).

Les résultats présentés dans le Tableau 37 montrent qu'il y a des associations significatives ( $p=0,03$ ) entre PM<sub>10</sub> (lag0-1) et les appels d'urgence pour asthme, observées parmi les sujets vivant dans les IRIS de NSE faible

Ces mêmes résultats montrent qu'aucune interaction des caractéristiques individuelles n'est démontrée.



(a)



(b)

**Figure 43.** Odds ratios entre les appels d'urgence pour asthme et les polluants pour des décalages temporels les plus significatifs, selon les 5 classes de Niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS; (a) NO<sub>2</sub> (lag 0), (b) PM<sub>10</sub> (lag 0-1).

\*Odds ratios exprimés pour une augmentation de 10ug/m3 des polluants, ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

**Tableau 36.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> (lag 0-1) par le niveau de défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l'âge des sujets, CUS, 2000-2008.

NO <sub>2</sub> (lag 0)	Niveau de défaveur socio-économique (NSE)									
	1		2		3		4		5	
Caractéristiques	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tout âge confondu	1.02	0.94-1.11	1.04	0.98-1.10	<b>1.05<sup>‡</sup></b>	0.99-1.10	1.01	0.96-1.05	1.01	0.97-1.06
0-19 ans	1.00	0.83-1.22	1.11	0.97-1.26	1.04	0.92-1.17	1.00	0.90-1.10	0.95	0.87-1.04
20-64 ans	0.97	0.84-1.12	0.97	0.88-1.07	1.04	0.96-1.13	1.02	0.95-1.09	1.01	0.95-1.08
plus de 65 ans	1.06	0.94-1.21	1.07	0.98-1.17	1.05	0.98-1.13	0.98	0.91-1.06	1.06	0.98-1.15

**Tableau 37.** Odds ratios\* associés à l'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> (lag 0-1) par le profil défaveur socio-économique (NSE) à l'échelle des IRIS, au sein des sous-populations définies par l'âge des sujets, CUS, 2000-2008.

PM <sub>10</sub> (lag 0-1)	Niveau de défaveur socio-économique (NSE)									
	1		2		3		4		5	
Caractéristiques	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Tout confondu	1.04	0.95-1.14	1.05	0.99-1.12	1.01	0.95-1.07	<b>1.05<sup>‡</sup></b>	1.00-1.11	1.01	0.95-1.06
0-19 ans	1.12	0.91-1.39	1.11	0.97-1.26	0.98	0.84-1.13	1.18	1.05-1.32	0.93	0.83-1.03
20-64 ans	0.95	0.81-1.11	0.99	0.89-1.10	1.00	0.91-1.10	1.03	0.95-1.11	1.04	0.96-1.12
Plus de 65 ans	1.07	0.93-1.22	1.08	0.98-1.19	1.04	0.95-1.14	1.02	0.94-1.11	1.02	0.92-1.12

\*Odds ratios ajustés sur la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les jours fériés, les vacances, les épidémies de grippe et les comptes polliniques

<sup>‡</sup> P value <0.05

### III.3.3. Discussion

Afin d'évaluer l'effet modificateur du niveau de défaveur sur l'impact de chaque polluant atmosphérique (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>), nous allons présenter successivement : (i) un rappel des résultats obtenus précédemment par l'étude PAISA à l'échelle de l'IRIS sur la période 2000-2005 qui compte 4682 cas d'appel aux urgences pour asthme, (ii) les résultats que nous avons obtenus sur la période 2000-2007 en employant les deux approches. La première approche évalue le NSE à l'échelle de l'IRIS qui constitue la ré-analyse des données PAISA sur une période d'étude plus longue en nombre d'années de suivi (10296 appels pour asthme sur la période 2000-2008). La seconde approche évalue le NCD à l'échelle d'un nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output) qui analyse 10296 cas sur la même période, 2000-2008.

#### III.3.3.1. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact du NO<sub>2</sub>

##### III.3.3.1.1. Niveau de défaveur socio-économique

*a). Rappel des résultats de l'étude PAISA à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2005.* Les résultats obtenus lors de l'étude précédente PAISA (2000-2005) avaient montré qu'il n'y a pas d'association entre les concentrations de NO<sub>2</sub> et les appels d'urgence pour asthme quels que soient les Lags testés. Aussi, ces travaux n'ont démontré aucun effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique.

*b). Résultats des analyses à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2008.* La ré-analyse des données sur la période 2000-2008 semble souligner une association significative entre les concentrations de NO<sub>2</sub> et les appels d'urgence pour asthme, notée pour les concentrations moyennées sur le jour et la veille de l'événement (OR= 1.026 ; IC [1.003-1.050] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>).

L'analyse « cas-croisés », réalisée sur une période plus longue (2000-2008), nous a permis de modifier les résultats obtenus précédemment ; autrement dit, un effet modificateur du niveau de défaveur NSE a été démontré : **nous avons noté une association significative chez les sujets vivant dans des IRIS de NSE moyen (troisième quartiles) (OR=1,049 ; IC [1-1,10] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>), alors qu'aucune association significative n'était mise en évidence pour les autres groupes ou tranches d'âge du même NSE.**

### *III.3.3.1.2. Niveau de défaveur contextuelle*

L'utilisation d'un nouveau découpage (AZTool-Output) confirme l'association entre les concentrations de NO<sub>2</sub> et les appels d'urgence pour asthme (OR=1,024 ; IC [1,003-1,045] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>).

L'évaluation d'une mesure de défaveur à l'échelle du nouveau découpage (AZTool-Output) nous a permis de démontrer aussi qu'il y a un effet modificateur significatif par le niveau de défaveur NDC des nouvelles zones : **nous avons noté qu'il existe une association significative chez les sujets vivant dans des zones de niveau NDC de catégorie C (OR= (OR=1,04 ; IC [1,005-1,08] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>), alors qu'aucune association significative n'était mise en évidence pour les autres groupes ou tranches d'âge de la même catégorie de NDC.**

### **III.3.3.2. Evaluation de l'influence du niveau de défaveur sur l'impact des PM<sub>10</sub>**

#### *III.3.3.2.1. Niveau de défaveur socio-économique (NSE)*

*a). Rappel des résultats de l'étude PAISA à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2005.* Les résultats obtenus lors de l'étude PAISA (2000-2005) avait montré qu'il n'y a pas d'association significative entre les concentrations de PM<sub>10</sub> et les appels d'urgence pour asthme quels que soient les lag testés. Dans la CUS, ces mêmes travaux n'ont pas pu observer d'effet modificateur significatif des relations entre la pollution ambiante et les appels pour asthme selon le niveau socioéconomique des zones de résidence.

*b). Résultats des analyses à l'échelle des IRIS sur la période 2000-2007.* La ré-analyse des mêmes données avec une augmentation du nombre d'années de suivi (2000-2008), semble démontrer une association significative entre les concentrations de PM<sub>10</sub> et les appels pour asthme pour les concentrations moyennées sur la veille et le jour de l'événement (OR=1.026 ; IC [1.003-1.050] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>),

L'analyse « cas-croisés » réalisée sur une période plus longue (2000-2008) nous a permis de modifier les résultats obtenus précédemment ; autrement dit, un effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique a été démontré : **nous avons relevé un impact sanitaire des PM<sub>10</sub> plus important chez les sujets vivant dans des IRIS de NSE très faible (quatrième quartile) (OR=1.056 ; IC [1.003-1.112] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>), alors qu'aucune association significative n'était mise en évidence pour les autres groupes ou tranches d'âge du même NSE.**

### **III.3.3.2. Niveau de défaveur contextuelle**

L'utilisation d'un nouveau découpage (AZTool-Output) confirme l'association révélée précédemment entre les concentrations de PM<sub>10</sub> et les appels d'urgence pour asthme (OR= 1,03 ; IC [1,003-1,057] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>).

L'évaluation d'une mesure de défaveur à l'échelle du nouveau découpage (AZTool-Output) nous a permis, de démontrer qu'il y a un effet modificateur significatif par le NDC des nouvelles zones : nous avons démontré l'existence d'une association significative chez les sujets vivant dans des zones de NDC de la catégorie C (OR= 1,06 ; IC [1,014-1,109] pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>), alors qu'aucune association significative n'était mise en évidence pour les autres groupes ou tranches d'âge du même NSE.

### **III.3.3.3. Apports comparés des deux approches**

En employant des modèles globaux, l'augmentation de la puissance statistique a permis de souligner une association statistiquement significative entre les deux polluants (NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>) et les appels aux urgences pour asthme, qui n'était pas révélée lors des précédents travaux (4). Les résultats des modèles stratifiés, quant à eux, pointent une sous-population d'individus âgés de plus de 65 ans qui présente une plus grande sensibilité.

L'augmentation d'années de suivi a donc permis d'obtenir des résultats cohérents avec ceux déjà rapportés, par la littérature, alors que les résultats précédents (4) avaient démontré des résultats qui tendaient à être contrastés avec la littérature.

Ces associations sont observées pour des fenêtres temporelles (lags) très courtes (le jour et la veille de l'appel), ce qui conforte l'hypothèse déjà avancée par les précédents travaux qui rapportent de fortes associations pour des temps de latence beaucoup plus faibles (le jour même, quelques heures) entre les expositions et les crises d'asthme (30, 31). Ainsi, nos résultats témoignent davantage de la survenue d'effets à très court terme. Cependant, les résultats au regard du temps de latence de l'exposition, associée aux crises d'asthme, sont toujours discutés. Ceci reste cohérent, si l'on suppose que des effets à très court terme et des effets différés sur plusieurs jours coexistent, mettant éventuellement en jeu des mécanismes différents (32).

En termes d'interaction, la ré-analyse des mêmes données, pour tester l'hypothèse d'un manque de puissance statistique, nous a aussi permis de démontrer un effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique. L'effet des PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub> est plus important chez les sujets vivant

dans des IRIS de niveau socio-économique plutôt défavorisé que favorisé. Ce qui semble plus cohérent avec la littérature que les précédents résultats.

Les analyses conduites à l'échelle d'un nouveau découpage de la CUS (AZTool-Output), plus restreint, et concentré sur les zones habitables, nous ont permis de confirmer les associations entre les polluants (PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub>) et les appels aux urgences pour asthme, relevées à l'échelle des IRIS sur la période d'étude 2000-2008.

**L'évaluation de l'effet d'une nouvelle mesure de défaveur à l'échelle d'un nouveau découpage a démontré qu'il y a bien un effet modificateur du niveau de défaveur contextuelle. Ainsi, l'effet des deux polluants (PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub>) semble plus important chez les sujets vivant dans les environnements de voisinage de NDC de catégorie C.**

#### **III.3.3.4. Compréhension des effets modificateurs du niveau de défaveur**

Par manque de puissance statistique, les résultats des précédents travaux n'ont permis de montrer aucune association, ni un effet modificateur du niveau de défaveur socio-économique.

Les seules études comparables ne présentaient pas des résultats similaires, mais plutôt contrastés.

Les deux approches élaborées pour évaluer l'effet modificateur du niveau de défaveur à deux échelles d'analyse convergent et concluent que les effets des polluants sont susceptibles d'être plus importants au sein des populations de NSE et/ou de NDC de catégorie C.

Ces résultats semblent encore contrastés avec ceux habituellement retrouvés dans la littérature qui relate un effet plus important au sein des populations très défavorisées. Néanmoins, les résultats que nous avons obtenus sont soutenus par des hypothèses déjà retrouvées dans la littérature.

Les explications les plus probables justifiant de tels résultats peuvent être résumées à travers les deux hypothèses suivantes : d'une part, les caractéristiques contextuelles de l'environnement de voisinage des sujets les plus sensibles à la pollution atmosphérique, et d'autre part, l'hypothèse d'un différentiel d'exposition.

➤ La dimension contextuelle du niveau de défaveur élaborée dans notre approche nous permet de décrire de nombreux aspects de la défaveur qui sont susceptibles d'expliquer les résultats obtenus :

Les sujets vivant dans un environnement de profil contextuel de catégorie C sont essentiellement caractérisés par, certes, un niveau de profil socio-économique moyen, mais se distinguent des autres profils par une faible attractivité des espaces verts, une faible accessibilité aux équipements

sportifs, un environnement psychosocial scolaire stressant, caractérisé par un taux élevé d'établissements classés en ZEP (présentant aussi un fort taux de violence scolaire).

Or, les autres environnements de profil contextuel, caractérisés par un niveau socio-économique très faible, présentent un environnement psychosocial fort et une très bonne accessibilité aux différentes ressources publiques (incluant les espaces verts, les équipements sportifs).

Ainsi, le manque d'infrastructure de loisir et l'environnement psycho-social scolaire constituent une forte hypothèse susceptible d'expliquer que les sujets vivant dans des environnements de voisinage caractérisés par un tel niveau de défaveur contextuelle, seraient plus sensibles aux effets de la pollution atmosphérique. Ce constat est conforté par la littérature récente qui a rapporté que les communautés qui présentent de faible taux d'asthme disposaient d'un nombre important de ressources communautaires (5).

Cette hypothèse prend un sens, au regard de la littérature récente qui explique que les sujets vivant dans un niveau de défaveur socio-économique (moyen, voire pas très favorisé) sont localisés loin des parcs et des espaces verts ou autres infrastructures de loisir et, généralement,, dans des quartiers violents où les individus sont contraints de rester au sein de leur logement.

Cet environnement de voisinage limite ainsi les sorties des personnes résidentes dans ces quartiers. Ce comportement est susceptible d'engendrer un manque d'activité, (pas de marche ni de promenade entraînant une augmentation de la sédentarité qui augmente le risque d'obésité (33) et qui semble être fortement liée à la survenue d'asthme (34, 35)).

Aussi, des hypothèses suggèrent que ces individus sont contraints de rester de longues périodes dans leurs logements qui sont à leur tour caractérisés par un état insalubre (36), exposant ainsi ces individus à de nombreux facteurs de risques susceptibles de déclencher des crises d'asthme tels que des aero-allergènes et la moisissure (37).

A ce manque d'infrastructure, s'ajoute un environnement scolaire caractérisé par un climat psycho-social stressant susceptible d'expliquer la sensibilité de la population de ce niveau de défaveur. Ce constat est largement décrit dans la littérature et conforté par des travaux qui mentionnent : une augmentation du risque d'asthme chez les sujets fréquentant des écoles avec un environnement scolaire stressant (38-40).

Le cumul de ces caractéristiques que nous qualifions de « *négatives* », auquel s'ajoute un niveau de défaveur socio-économique moyen, présente une hypothèse plausible.

En d'autres termes, nous supposons qu'il s'agirait peut-être d'un effet synergique de plusieurs niveaux de défaveur qui serait expliqué par les résultats obtenus et confirmés par les deux approches élaborées dans ce présent travail.

Dans un tel environnement de voisinage, la pollution de l'air peut agir sur cette sous-population sensible comme un facteur aggravant, se combinant avec des conditions contextuelles locales défavorables, et donc générer des effets sur la santé plus importants que dans le reste de la population.

➤ La deuxième hypothèse repose sur l'exposition différentielle. Au vu des nouveaux résultats, l'hypothèse d'une exposition différentielle semble très pertinente dans notre cas. A l'instar des résultats précédemment obtenus (20), les populations vivant dans un environnement de niveau de défaveur socio-économique moyen et/ou de NDC de catégorie C présente une exposition plus élevée aux différents polluants (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) (cf. *Annexe N°5*). Ce qui semble cohérent, étant donné la localisation spatiale de ces zones et la concentration des polluants issus principalement des trafics routiers situés auprès de ces mêmes zones.

Ainsi, le différentiel d'exposition expliquerait l'effet important de la pollution atmosphérique observé au sein des populations vivant dans un environnement de voisinage de NSE moyen et /ou de NDC de catégorie C.

### III.3.3.5. Limites de l'approche

L'approche que nous avons mise en place a pour objectif d'évaluer l'effet d'un niveau de défaveur plus contextuelle à l'échelle d'un nouveau découpage, en comparaison avec les rares approches mises en place déjà en France. Ainsi, certaines limites très générales avaient déjà été soulevées par les précédents travaux. Nous décrirons brièvement ces limites indépendamment de nos approches (cf. pour plus de détail les travaux de thèse de Laurent (41)), notamment le biais introduit par les données sanitaires.

**Effet genre.** A l'instar des études précédentes, par manque de données sur le genre des sujets<sup>42</sup>, aucune analyse sur l'effet modificateur de l'âge n'a pu être testée pour juger de l'influence du facteur « genre » sur l'ensemble des associations observées, qui pourrait se révéler pertinente.

**Biais de la sélection de la population d'étude.** Les auteurs ont, aussi, spécifié un certain biais engendré par l'effet de sélection de la population d'étude. Puisque certaines sources de données,

---

<sup>42</sup> Ceci est principalement dû au fait que pour les patients de moins de 20 ans, les régulateurs de SOS Médecins notifient généralement l'information « enfant » à la place du genre.

telles que les services d'urgences hospitalières (dans le cas où les patients se seraient directement orientés vers les hôpitaux), n'ont pas été incluses dans l'étude.

Aussi, la part non quantifiable d'asthmatiques n'ayant pas eu de crise suffisamment importante (ou par manque d'informations) pour faire appel aux réseaux mobiles d'urgentistes n'a pas été intégrée dans l'étude. Une étude complémentaire sur cette sous population pourrait apporter de nouveaux éléments pour caractériser le comportement des sujets face à une crise d'asthme, et de mieux comprendre si l'environnement de voisinage pourrait contribuer à leur comportement.

Nous avons obtenu, à partir de deux réseaux mobiles d'urgentistes opérant dans la CUS, des données relatives aux appels d'urgence pour crises d'asthme, que nous avons pu géoréférencer à la résolution du nouveau découpage. Toutefois, ces données peuvent également être critiquées à différents points de vue.

**Mobilité quotidienne et mesure d'exposition.** La mobilité quotidienne des populations d'une zone à une autre est susceptible de biaiser les mesures d'exposition.

Par manque de données sur les trajets quotidiens des sujets (où se trouvait chaque individu durant les heures et les jours précédant sa crise d'asthme), une des limites de notre approche est, en effet, la non prise en compte des déplacements des individus. En effet, l'affectation de l'exposition de l'environnement de voisinage au sujet qui y habite suppose une forte hypothèse qui stipule que l'individu passe le plus souvent son temps dans son environnement de voisinage (ou IRIS de résidence).

Néanmoins, certaines catégories (sujets de moins de 20 ans et de plus de 65 ans) présentent une mobilité plus réduite, (ils passent la grande majorité de leur temps dans leur environnement de voisinage (42)), que les autres sujets d'âge intermédiaire qui sont davantage susceptibles d'exercer une activité professionnelle et de se déplacer fréquemment hors de leur quartier de résidence.

Cependant, ni les durées d'exposition à la pollution nécessaires pour déclencher des crises d'asthme, ni les latences avec lesquelles celles-ci se manifestent ne sont encore bien renseignées.

Nous pouvons donc supposer, que pour les sujets de moins de 20 ans et de plus de 65 ans, notre mesure d'exposition est plus précise et reflète leur exposition moyenne intégrée sur la journée que dans le cas des sujets plus mobiles.

**Spécificité des motifs d'appel.** La spécificité des motifs d'appel a déjà fait l'objet d'investigation lors de travaux antérieurs. « *A l'échelle de la CUS, parmi les événements sanitaires notifiés*

comme « crise d'asthme » par les régulateurs du SAMU, seuls 60 à 65% ont été diagnostiqués comme tels par les médecins intervenants » (41). Quant aux données qui nous ont été transmises, par le SOS, il n'était pas possible d'avoir le diagnostic exact ; de surcroît, les données confondaient, à la fois, asthme et/ou dyspnée. Compte tenu de la difficulté de diagnostiquer l'asthme, en particulier dans un contexte d'urgence et à plus forte raison sur la base d'informations transmises par téléphone, nous reconnaissons que la spécificité de nos données d'appels d'urgence vis-à-vis de l'asthme est imparfaite et pourrait présenter une non-homogénéité des données tout au long de la période d'étude.

**Correspondance entre adresses de résidence et adresses d'intervention.** Le degré de correspondance entre l'adresse de résidence et celle d'intervention a été évalué auparavant par les auteurs lors de l'étude initiale à 77%<sup>43</sup> (41).

Afin d'élaborer notre nouveau découpage de l'environnement de voisinage, nous avons exclu tout ce qui ne constitue pas un lieu de vie (établissement scolaire, bâtiment administratif, entreprises), pour restreindre notre échelle d'analyse autour des zones uniquement habitables.

Ainsi, les cas localisés, lors de l'intervention dans des zones non habitables (telles que les administrations et les industries, ou autres bâtiments), ont ainsi été exclus, garantissant, dans un sens, le caractère résidentiel de la localisation des sujets lors de leur appel. Cependant, la survenue de l'événement, dans un lieu de résidence, mais pas forcément celui habité par le sujet, n'exclut pas complètement qu'il réside dans un autre environnement de voisinage.

Malgré ces limites, ces données nous ont permis, au travers de deux études, de montrer l'intérêt de leur emploi. Elles pourraient néanmoins être améliorées par une notification systématique des diagnostics finaux portés par les médecins intervenants et des adresses de résidence des patients et une définition uniforme de l'appellation de crise d'asthme.

---

<sup>43</sup> Cette analyse a été réalisée au sein d'un sous-ensemble de 533 cas d'asthme confirmé par le SAMU pour lequel ces deux informations étaient disponibles

### **III.3.4. Conclusion**

En conclusion, notre étude est la première à mettre en relation des concentrations ambiantes de polluants de résolution spatiale aussi innovante et fine et d'un pas de temps journalier avec des indicateurs de crise d'asthme (appels aux urgences pour asthme). Nous avons observé des associations positives et statistiquement significatives, pour les indicateurs  $PM_{10}$  et  $NO_2$ .

Nous avons observé une interaction des relations par le niveau de défaveur des environnements de voisinage. Cette interaction est confirmée quel que soit le niveau de défaveur socio-économique et contextuelle considéré.

Au regard de ces résultats, les deux hypothèses formulées ci-dessus, sont susceptibles d'être retenues : d'une part, l'importance des caractéristiques contextuelles qui décrivent les environnements de voisinage de niveau socio-économique moyen, et d'autre part, l'exposition différentielle qui reste à explorer de plus près (analyse de l'équité environnementale avec prise en compte de l'auto-corrélation spatiale).

## Conclusion partie III

---

L'analyse « cas-croisés » mise en place pour évaluer l'effet du niveau de défaveur sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, sur le même schéma d'analyse des travaux précédemment menés en France (étude PAISIM et PAISA (1)), est présentée dans cette troisième partie. Nous avons été amenés à :

- décrire le cadre de l'analyse : données sanitaires, environnementales ainsi que la mise en place des modèles d'analyse ;
- élaborer deux approches d'analyse pour évaluer la valeur ajoutée d'une mesure de la défaveur contextuelle et d'une nouvelle segmentation de la CUS :
  - une analyse de l'effet du niveau de défaveur socio-économique à l'échelle du découpage du recensement de la CUS (IRIS) – *approche (i)*- ;
  - une analyse de l'effet du niveau de défaveur contextuelle à l'échelle de la nouvelle segmentation de la CUS (AZTool-Output)– *approche (ii)*-.

Chacun des deux chapitres de cette partie explorant respectivement, deux cas d'étude, l'un portant sur la survenue d'infarctus et l'autre sur les appels d'urgence pour asthme, tous deux induits par la pollution atmosphérique.

Nous avons montré que :

(i) dans certains cas, les études précédentes ont seulement manqué de puissance statistique pour observer des associations entre la pollution atmosphérique et l'événement sanitaire ;

(ii) le nouveau zonage (découpage) a permis de confirmer les résultats obtenus : malgré un zonage différent, les associations sont toujours présentes ;

(iii) la prise en compte de la dimension contextuelle, en plus du niveau socio-économique, dans la mesure de la défaveur, permet d'étayer l'hypothèse avancée pour expliquer l'interaction entre le niveau de défaveur et la pollution atmosphérique révélée par l'analyse.

A partir des différentes données sanitaires recueillies sur la Communauté Urbaine de Strasbourg, la mise en place des deux approches d'analyse nous a permis de décrire un effet de la pollution atmosphérique plus important au sein d'une population de niveau de défaveur moyen (à quelques exceptions près).

Les discussions réalisées dans les chapitres 2 et 3 se rejoignent pour suggérer deux hypothèses plausibles, selon la littérature, pour expliquer cet effet modificateur du niveau de défaveur : *la première hypothèse* repose sur les caractéristiques contextuelles qui distinguent les individus vivant dans des environnements de niveau socio-économique moyen, en l'occurrence le manque d'infrastructures de loisirs (parcs, espaces verts et équipements sportifs) et un environnement psycho-social scolaire stressant. *La seconde hypothèse* repose sur le différentiel d'exposition, puisque nos analyses, à l'instar des travaux précédents, sur la CUS, montrent que les populations vivant dans le niveau de défaveur moyen (aussi bien socio-économique que contextuelle) étaient plus exposées.

L'analyse, présentée dans cette dernière partie, répond ainsi à notre problématique générale : à savoir, la prise en compte nécessaire d'une dimension plus contextuelle de la défaveur, et une segmentation adaptée permettraient-elles de constater un effet modificateur du niveau de défaveur ?

Les résultats présentés dans cette partie (*cf. synthèse des résultats dans l'Annexe N°6*), montrent bien la valeur ajoutée d'une mesure contextuelle de la défaveur. La nouvelle segmentation de la CUS constitue, à la fois, un des rares moyens de maîtriser l'effet éventuel du MAUP et l'approche la plus adaptée pour traiter une telle base de données contextuelles disponibles à des échelles différentes non forcément hiérarchiques.



**REFERENCES**

---

---

- (1). Krieger N, Chen J, Waterman P, et al. Choosing area based socioeconomic measures to monitor social inequalities in low birth weight and childhood lead poisoning: The Public Health Disparities Geocoding Project (US). *J Epidemiol Community Health* 2003;57(3):186-199.
- (2). Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *N. Engl. J. Med* 2000;343(24):1742-1749.
- (3). Bard D, Laurent O, Filleul L, et al. Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes: an overview of the PAISARC Project. *Environ Res Lett* 2007;2.
- (4). Laurent O, Pedrono G, Segala C, et al. Air Pollution, Asthma Attacks, and Socioeconomic Deprivation: A Small-Area Case-Crossover Study. *Am J Epidemiol* 2008; 168(1):58-65.
- (5). Maclure M. The case-crossover design: a method for studying transient effects on the risk of acute events. *Am J Epidemiol* 1991;133(2):144-153.
- (6). Lee JT, Schwartz J. Reanalysis of the effects of air pollution on daily mortality in Seoul, Korea: A case-crossover design. *Environ Health Perspect* 1999;107(8):633-636.
- (7). Neas LM, Schwartz J, Dockery D. A case-crossover analysis of air pollution and mortality in Philadelphia. *Environ Health Perspect* 1999;107(8):629-631.
- (8). Sunyer J, Schwartz J, Tobías A, et al. Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: a case-crossover analysis. *Am J Epidemiol* 2000;151(1):50-56.
- (9). Janes H, Sheppard L, Lumley T. Case-crossover analyses of air pollution exposure data: referent selection strategies and their implications for bias. *Epidemiology* 2005;16(6):717-726.
- (10). Flahault A, Blanchon T, Dorléans Y, et al. Virtual surveillance of communicable diseases: a 20-year experience in France. *Stat Methods Med Res* 2006;15(5):413-421.
- (11). Thibaudon M. Report of the activity of RNSA (National Aero-biological Surveillance Network). *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 2004;36(7):252-255.

- (12). Havard S, Deguen S, Bodin J, et al. A small-area index of socio-economic deprivation to capture health inequalities in France. *Soc Sci & Med* 2008;67(12):2007-2016.
- (13). Havard S. 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 ;2008. Université de Rennes1.
- (14). Bateson TF, Schwartz J. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? A case-crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology* 2004;15(2):143-149.
- (15). Filleul L, Baldi I, Dartigues J-F, Tessier J-F. Risk factors among elderly for short term deaths related to high levels of air pollution. *Occup Environ Med* 2003;60(9):684-688.
- (16). Hong Y-C, Lee J-T, Kim H, et al. Effects of air pollutants on acute stroke mortality. *Environ. Health Perspect* 2002;110(2):187-191.
- (17). Jerrett M, Burnett RT, Brook J, et al. Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(1):31-40.
- (18). Martins MC, Fatigati FL, Vespoli TC, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(1):41-46.
- (19). Wong C-M, Ou C-Q, Chan K-P, et al. The effects of air pollution on mortality in socially deprived urban areas in Hong Kong, China. *Environ. Health Perspect.* 2008;116(9):1189-1194.
- (20). Havard S, Deguen S, Zmirou-Navier D, Schillinger C, Bard D. Traffic-related air pollution and socio-economic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale. *Epidemiology* 2009;20(2):223-230.
- (21). Bell JF, Wilson JS, Liu GC. Neighborhood Greenness and 2-Year Changes in Body Mass Index of Children and Youth. *Am J Prev Med* 2008;35(6):547-553.
- (22). Liu GC, Wilson JS, Qi R, Ying J. Green neighborhoods, food retail and childhood overweight: differences by population density. *Am J Health Promot* 2007;21(4 Suppl):317-325.
- (23). Cohen DA, Ashwood JS, Scott MM, et al. Public parks and physical activity among adolescent girls. *Pediatrics* 2006;118(5):e1381-1389.

- (24). Diez Roux AV, Evenson KR, McGinn AP, et al. Availability of recreational resources and physical activity in adults. *Am J Public Health* 2007;97(3):493-499.
- (25). Dowda M, McKenzie TL, Cohen DA, et al. Commercial venues as supports for physical activity in adolescent girls. *Prev Med* 2007;45(2-3):163-168.
- (26). Tucker P, Irwin JD, Gilliland J, et al. Environmental influences on physical activity levels in youth. *Health & Place* 2009;15(1):357-363.
- (27). Panter JR, Jones AP, van Sluijs EMF. Environmental determinants of active travel in children: A review and framework for future research. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2008;5(34).
- (28). Norman GJ, Nutter SK, Ryan S, et al. Community design and access to recreational facilities as correlates of adolescent physical activity and body-mass index. *J Phys Activ Health* 2006;3(Suppl 1):S118-S128.
- (29). Kannel WB, Levy D. Menopause, hormones, and cardiovascular vulnerability in women. *Arch. Intern Med.* 2004;164(5):479-481.
- (30). Delfino RJ, Zeiger RS, Seltzer JM, Street DH, McLaren CE. Association of asthma symptoms with peak particulate air pollution and effect modification by anti-inflammatory medication use. *Environ. Health Perspect* 2002;110(10):A607-617.
- (31). Delfino RJ, Zeiger RS, Seltzer JM, Street DH. Symptoms in pediatric asthmatics and air pollution: differences in effects by symptom severity, anti-inflammatory medication use and particulate averaging time. *Environ. Health Perspect* 1998;106(11):751-761.
- (32). Rabinovitch N, Strand M, Gelfand EW. Particulate levels are associated with early asthma worsening in children with persistent disease. *Am J Respir Crit. Care Med* 2006;173(10):1098-1105.
- (33). Gortmaker SL, Must A, Sobol AM, et al. Television viewing as a cause of increasing obesity among children in the United States, 1986-1990. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1996;150(4):356-362.
- (34). Camargo C, Field A, Colditz G, Speizer F. Body mass index and asthma in children age 9-14. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159(A 150).
- (35). Stenius-Aarniala B, Poussa T, Kvarnstrom J, et al. Immediate and long term effects of weight reduction in obese people with asthma: randomised controlled study. *BMJ* 2000;320(7238):827-832.

- (36). Rauh VA, Chew GR, Garfinkel RS. Deteriorated housing contributes to high cockroach allergen levels in inner-city households. *Environ Health Perspect* 2002;110 Suppl 2:323-327.
- (37). Rosenstreich DL, Eggleston P, Kattan M, et al. The role of cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in causing morbidity among inner-city children with asthma. *N Engl J Med* 1997;336(19):1356-1363.
- (38). Wright RJ, Mitchell H, Visness CM, et al. Community violence and asthma morbidity: the Inner-City Asthma Study. *Am J Public Health* 2004;94(4):625-632.
- (39). Wright RJ, Steinbach SF. Violence: an unrecognized environmental exposure that may contribute to greater asthma morbidity in high risk inner-city populations. *Environ Health Perspect* 2001;109(10):1085-1089.
- (40). Shankardass K, Jerrett M, Milam J, et al. Social environment and asthma: associations with crime and No Child Left Behind programmes. *J Epidemiol Community Health*. 2010;65(10):859-65.
- (41). Laurent O. Influence de la pollution atmosphérique ambiante sur les inégalités sociales face aux exacerbations de l'asthme. Thèse de Doctorat;2007. Université de Rennes.
- (42). CIBLEX. Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué. CIBLEX.2003.

## **Conclusion générale et perspectives**



## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

---

---

L'objectif de ce travail de thèse est d'explorer un nouveau modèle pour compléter la compréhension des ISS en France, celui d'une combinaison « *environnement de voisinage & exposition environnementale* ». Ce travail a consisté à évaluer si une approche plus contextuelle du niveau de défaveur permet de démontrer un effet différentiel de la pollution à l'échelle d'un environnement de voisinage, autrement dit, un impact sanitaire de la pollution atmosphérique différent.

L'hypothèse d'un effet différent selon le niveau de défaveur socio-économique a été très peu testée. A l'heure actuelle, les rares travaux réalisés en France sur la survenue d'infarctus du myocarde et les crises d'asthme, n'ont pas toujours révélé un effet différentiel.

Devant ce constat, nous avons orienté notre recherche autour de la définition attribuée au niveau de défaveur et au concept attribué à la notion d'environnement de voisinage.

Nous nous sommes, ainsi, posés les questions suivantes :

- Comment caractériser l'environnement de voisinage, autrement dit, quel est le niveau de défaveur à lui attribuer ?
- Quelle segmentation spatiale serait appropriée pour analyser l'influence de l'environnement de voisinage ?
- Et, pour finir, une mesure contextuelle de la défaveur et une segmentation spatiale de l'environnement de voisinage sont-elles plus susceptibles de révéler un effet différentiel de la pollution atmosphérique ? - ***un effet que le niveau de défaveur socio-économique seul à l'échelle d'une segmentation prédéfinie n'a pu démontrer*** –

➤ *A la première question qui aborde l'approche de caractérisation du niveau de défaveur, nous avons choisi d'étendre la définition de la défaveur socio-économique à une mesure plus contextuelle de la défaveur.*

Ainsi, à partir des nombreuses données contextuelles recueillies à l'échelle de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), la mise en place d'un SIG, et d'une approche factorielle, nous avons élaboré une nouvelle mesure de la défaveur contextuelle à très fine échelle.

Ce travail a confirmé que notre territoire d'étude (la CUS) n'est pas une zone homogène la CUS présente un gradient centre-périphérie marqué: le centre et les noyaux urbains anciens, une

première couronne centrée sur les banlieues de Strasbourg et les deuxième et troisième couronnes correspondant à des extensions urbaines de ces dernières décennies, résultat de l'étalement urbain.

Une des forces de ce travail est *la finesse* et la *prise en compte des différentes dimensions de l'environnement de voisinage*.

- La finesse de notre échelle d'analyse nous a permis, d'une part, de minimiser les effets d'échelles « *scale effect* » associés au MAUP et., d'autre part, de compiler de nombreuses données disponibles à des échelles différentes, et, ainsi, de les homogénéiser et les analyser selon un référentiel commun.
- Nous avons pris en compte 4 dimensions de l'environnement de voisinage, qui, jusque-là, n'avaient jamais été prises en compte par d'autres indices de défaveur, excepté le score composite Britannique « *IMD* ». Notre approche est d'autant plus innovante, puisque nous avons conduit une analyse sans hypothèse *a priori* sur l'importance des variables contextuelles étudiées.

➤ *A la deuxième question, qui soulève la pertinence d'une segmentation spatiale appropriée, notre réponse est ainsi résumée:*

Dans notre travail, nous avons développé une approche expérimentale pour la conception automatisée des zones qui définissent l'environnement de voisinage en utilisant des cellules de petite taille (taille de 250m X 250m) en tant que composante de base.

Ce travail unique en France nous a permis d'aborder des points jusque-là très peu étudiés, à savoir :

- **La limitation d'un éventuel effet de zonage « *zoning effect* » du MAUP** induit par des découpages prédéfinis, en l'occurrence le découpage du recensement (l'IRIS) utilisé en France,
- La réduction ***du rapport signal/bruit***. En sélectionnant uniquement les cellules habitables, à savoir 1608 unités sur les 5127 unités qui constituent l'ensemble de la CUS, nous avons réduit la surface d'analyse. Ainsi, ce gain de précision de l'ordre de 0.31 nous permettra de réduire le rapport signal/bruit lors de notre analyse finale.
- **Une meilleure approche des caractéristiques locales « *microenvironnementales* »**. Nous avons restreint notre analyse sur le seul lieu de vie que nous avons qualifié d'environnement de voisinage.

➤ *A la dernière question, où l'on s'interroge sur la pertinence de l'emploi d'une nouvelle mesure contextuelle de la défaveur et d'une segmentation spatiale développée pour définir*

*l'environnement de voisinage, nous avons répondu par la mise en place d'une analyse comparative.*

Nous avons ainsi exploré si l'effet de la pollution atmosphérique est différent selon le niveau de défaveur suivant deux approches, en explorant:

- l'effet d'un niveau de défaveur contextuelle à l'échelle de la nouvelle segmentation de l'environnement de voisinage –*approche i-*,
- l'effet d'un niveau de défaveur socio-économique à l'échelle d'une segmentation prédéfinie (l'IRIS) –*approche ii -*.

Deux cas d'étude ont été mis en place sur la CUS, l'une consacrée à la survenue d'infarctus et l'autre aux appels aux urgentistes (SAMU et SOS Médecin) pour asthme.

Quels que soient les événements de santé analysés, ce travail tend à conclure à un effet différentiel de la pollution atmosphérique : un effet plus important de la pollution est observé chez les sujets vivant dans un environnement socio-économique moyennement défavorisé.

Ainsi, contrairement à certains auteurs qui mettent en exergue un environnement de voisinage positif « *positif neighborhood* », nos travaux, réalisés dans cette présente thèse, nous conduisent à suspecter un « microenvironnement négatif » avec des caractéristiques contextuelles atypiques : ***un environnement socio-économique moyen, un bon environnement psychosocial et une accessibilité aux ressources publiques moyennes, plus particulièrement aux infrastructures de loisir.***

Ces caractéristiques contextuelles, combinées à une exposition environnementale élevée, sont susceptibles d'expliquer les inégalités sociales ou « *contextuelles* » observées sur le territoire de la CSU.

Au terme de ce travail, il nous a été possible :

- d'acquérir une meilleure compréhension des caractéristiques contextuelles locales de la CUS ;
- de mettre en évidence l'apport d'une approche expérimentale à élaborer une segmentation spatiale pour définir l'environnement de voisinage ;
- d'examiner selon deux voies possibles l'influence du niveau de défaveur sur l'impact de la pollution atmosphérique.

Au niveau méthodologique, des limites sont liées majoritairement à la qualité des données contextuelles recueillies.

- Le travail de recueil que nous avons entrepris, ne nous a pas permis de prendre en compte certaines données. C'est essentiellement dû au manque de centralisation des données, et à leur disponibilité : ainsi, les données relatives à la violence dans les quartiers, ou le bruit issu du trafic routier n'ont pas été prises en compte.

- Les données recueillies, décrites dans la partie II de ce document, sont issues de fournisseurs (sources) très divers. Ces données n'avaient pas vocation à être analysées, et donc ne sont pas forcément mises à jour continuellement. Les différentes résolutions spatiales et surtout temporelles des données ont été inévitables.

La démarche multidisciplinaire que nous avons mise en œuvre, dans ce présent travail, nous a permis d'investiguer un champ très peu étudié en France, et seulement émergeant au niveau international : l'environnement de voisinage.

Cette approche explorant la dimension contextuelle de la défaveur, jusque-là insuffisamment prise en compte, a le mérite d'apporter un éclairage et une meilleure compréhension des inégalités contextuelles observées, mais ne constitue pas pour autant une approche contextuelle - *proprement dite* -.

En effet, le manque de données individuelles constitue un frein majeur dans l'interprétation de nos résultats. La part attribuée au facteur contextuel ne peut être confirmée que par l'emploi de données individuelles et par la mise en place d'analyses multi-niveaux.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherches qui s'articulent, essentiellement, autour des données recueillies, et de la mise en place de cette approche innovante dans le domaine de l'épidémiologie. Ainsi, il serait intéressant :

- d'intégrer des données individuelles dans l'analyse, pour compléter la compréhension de l'effet contextuel ;
- d'approfondir l'étude en examinant les différents domaines de l'environnement de voisinage séparément ;
- de mettre ces données contextuelles au regard d'autres pathologies qui seraient susceptibles d'être davantage influencées par l'environnement de voisinage, notamment l'obésité ;
- de mettre en œuvre une approche similaire de caractérisation de l'environnement de voisinage au sein d'un autre site Français, pour essayer de déceler si la caractérisation obtenue localement constitue un caractère spécifique ou non ;
- dans un autre ordre d'idées plus opérationnelles, la perspective d'apporter un nouvel outil de segmentation qui pourrait intéresser les collectivités locales, ou encore d'autres institutions chargées du recensement, notamment l'Insee, pour explorer d'autres découpages, serait intéressante.



## **Annexes**



---

## Annexes

---

### *Annexe 1 : Bases de données utilisées*

#### **1. Bases de données et informations spatiales**

##### **a. Bases de données géographiques**

###### ➤ **BD adresse**

La BD ADRESSE® contient l'ensemble des adresses ponctuelles sur tout le territoire national, complétée par un réseau routier 2D et ses attributs d'adressage, des toponymes de lieux-dits habités, les limites administratives. Dans le cadre de nos travaux nous avons utilisé la BD adresse de la CUS, que nous appellerons par la suite ADRESSE\_CUS.

###### ➤ **Bases contours Iris2000 de l'INSEE**

CONTOURS IRIS est une base de données géographiques. Cette base de données présente les contours des IRIS-2000® (îlots regroupés pour l'information statistique) définis sur la plupart des communes de plus de 5.000 habitants et sur l'ensemble des communes de plus de 10.000 habitants.

L'IRIS est l'unité statistique de base en matière de diffusion infra communale.

Le terme générique "IRIS" correspond à :

- l'IRIS-2000® pour toutes les communes urbaines d'au-moins 10.000 habitants et la plupart des communes de 5.000 à 10.000 (16.000 IRIS-2000® en France, dont 15.400 en métropole).
- la commune pour les petites communes non découpées (34.800 communes).

La Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) compte 190 IRIS. Quinze communes comptant moins de 5000 habitant sont non découpées. La ville de Strasbourg, quant à elle, elle est divisée en 116 IRIS.

###### ➤ **BD CARTO® de l'IGN**

La BD CARTO® est une base de données Vecteur qui décrit l'ensemble du territoire national (hors Mayotte). Elle contient les réseaux routiers et ferrés, les unités administratives, le réseau hydrographique, la toponymie et les équipements divers comme le réseau électrique, l'occupation du sol. C'est particulièrement le dernier thème « occupation du sol » qui nous intéresse, il regroupe l'ensemble des informations : Broussailles, Bâti, Carrière, décharge, Eau libre, Forêt, Prairie, Vigne, verger, Zone d'activité.

###### ➤ **BD TOPO de l'IGN**

La BD TOPO® contient une description des éléments du paysage sous forme de vecteurs de précision métrique, classés selon une thématique adaptée : bâtiment industriel ou agricole, Bâtiment quelconque, Bâtiment religieux catholique, Bâtiment religieux israélite, Bâtiment religieux réformé, Bâtiment remarquable, Construction légère, Construction spéciale, Salle de sports, Serre, Silo, Tribune, Vestige militaire.

###### ➤ **Base de données (BDOCS2000) - CIGAL**

Cette base de données qui décrit l'occupation du sol de l'ensemble du territoire alsacien. Elle a été réalisée en 2003, à partir de l'interprétation d'images satellitaires de 2000, des données IGN : BD Ortho 1997/98 (voir plus haut) et de données exogènes.

#### **2. Autres bases de données**

###### ➤ **Base de données : SIRENE**

Le fichier SIRENE (Système Informatique pour le Répertoire des Entreprises et des Etablissements) est un répertoire qui a été créé par le décret n°73-314 du 14 mars 1973 et sa gestion a été confiée à l'Insee. Il enregistre l'état civil de toutes les entreprises et leurs établissements, quels que soient leur forme juridique et leur secteur d'activités. Ce répertoire code l'activité des entreprises en fonction de la nomenclature d'activités françaises (NAF) qui se structure en différents niveaux (5 niveaux) de précision. À cela s'ajoutent des données d'adressage caractérisant l'établissement comme le nom, le numéro, le type de voie et le numéro de téléphone ainsi que des données de gestion concernant l'entreprise à laquelle appartient l'établissement (catégorie juridique, tranche d'effectif salarié, activité principale exercée). La mise à jour de ce fichier est permanente à l'Insee.

Ce fichier est construit à partir des déclarations de plusieurs organismes : les centres des impôts, les trésoreries générales, les greffes de tribunaux de commerce, les chambres de commerce et d'industrie, les rectorats, les caisses régionales d'assurance maladie, l'URSSAF (Union pour le recouvrement des cotisations de sécurité sociale et d'allocations familiales), les préfetures, les chambres des métiers ou encore les chambres d'agriculture et la mutuelle sociale agricole ont pour mission de déclarer à l'Insee les inscriptions, radiations et modifications au répertoire. Ces différents organismes contribuent, chaque jour, à l'actualisation du répertoire SIRENE.

Conformément à ce décret, l'Insee attribue, à chaque entreprise, un identifiant numérique de 9 chiffres appelé numéro SIREN et à chaque établissement un identifiant numérique de 14 chiffres, appelé numéro SIRET, composé du numéro SIREN de l'entreprise mère suivi d'un numéro d'ordre de 5 chiffres, le NIC (Numéro Interne de Classement). Ce fichier centralise ainsi les rubriques de caractérisation économique et juridique des établissements. Il contient tout d'abord des données géographiques concernant le lieu d'implantation de l'établissement, puis des données de gestion comme la date de création, le statut, le siège, la tranche d'effectif salarié, l'activité principale exercée.

#### ➤ **Données socio-économiques : IRIS PROFILS**

Le cédérom IRIS PROFILS contient des données attributaires issues du recensement de 1999. Ces données permettent de traiter l'information statistique au niveau infra communal.

Etant donné que le projet de thèse s'inscrit dans une continuité des projets développés par le laboratoire<sup>44</sup>, nous avons retenu les données socio-économiques utilisées lors de ces travaux<sup>45</sup>.

Données du recensement général de la population 1999 retenues :

- Proportion des résidents de nationalité étrangère
- Proportion des chômeurs parmi la population active
- Proportion des chômeurs depuis plus d'un an parmi la population active
- Proportion d'emplois précaires parmi la population active
- Proportion d'emplois stables parmi la population active
- Proportion des ouvriers parmi la population active
- Familles monoparentales parmi les familles
- Population de 15 ans ou plus titulaire du Baccalauréat ou du Brevet des collèges
- Population de 15 ans ou plus sans éducation secondaire
- Population de 15 ans ou plus de niveau d'éducation  $\geq$  Bac+2

---

<sup>44</sup> Bard, D., Laurent, O., Filleul, L., Havard, S., Deguen, S., Segala, C. *et al.*. Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes: an overview of the PAISARC Project. *Environ Res Lett.* 2007;2.

<sup>45</sup> Havard, S., Deguen, S., Bodin, J., Laurent, O., and Bard, D. A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. *Social science & medicine* (1982). 2008

*Annexe N°2 : Synthèse des résultats de l'analyse Factorielle Multiple (AFM)*

*A. Histogramme des 10 premières valeurs propres*

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT. CUMULE	POURCENT. CUMULE	
1	1.9973	17.39	17.39	*****
2	0.9973	8.69	26.08	*****
3	0.6796	5.92	32.00	*****
4	0.6029	5.25	37.25	*****
5	0.5092	4.43	41.68	*****
6	0.4693	4.09	45.77	*****
7	0.4439	3.87	49.64	*****
8	0.4298	3.74	53.38	*****
9	0.4184	3.64	57.02	*****
10	0.4065	3.54	60.56	*****

**B. Contributions des variables au premier axe factoriel**

Partie négative -	cos <sup>2</sup>	Partie positive +	cos <sup>2</sup>
Zone pavillonnaire	0,82	Proportion de personnes sans voiture	0,68
Très peu de commerces	0,67	Nombreux commerces	0,60
Pas d'associations	0,67	Proportion d'emplois précaires	0,59
Part de personnes ayant deux voitures	0,64	Proportion de familles monoparentales	0,52
Pas d'établissements classés	0,56	Proportion d'étrangers	0,49
Proportion d'emplois stables	0,51	Proportion de chômeurs depuis plus d'1 an	0,48
Distance d'accès aux soins	0,44	Habitations collectives	0,48
Distance d'accès au médecin	0,40	Densité de population	0,46
Pas d'associations bénévoles	0,32	Proportion de chômeurs	0,45
Distance aux équipements sportifs	0,30	Tissu urbain centre	0,41
Proportion de personnes ayant le niveau Bac	0,24	Indice de violence important	0,37
Proportion de personnes ayant le niveau Bac + 2	0,22	Indice d'espaces verts	0,35
		Indice de transport	0,32
		Présence d'associations religieuses	0,29
		Présence d'établissements classés	0,28
		Proportion de personnes sans diplôme	0,21
		Zones mixtes	0,19
		Proportion de personnes couvertes par la CAF	0,10
		Proportion de personnes couvertes par le RMI	0,09
		Présence d'associations politiques	0,09

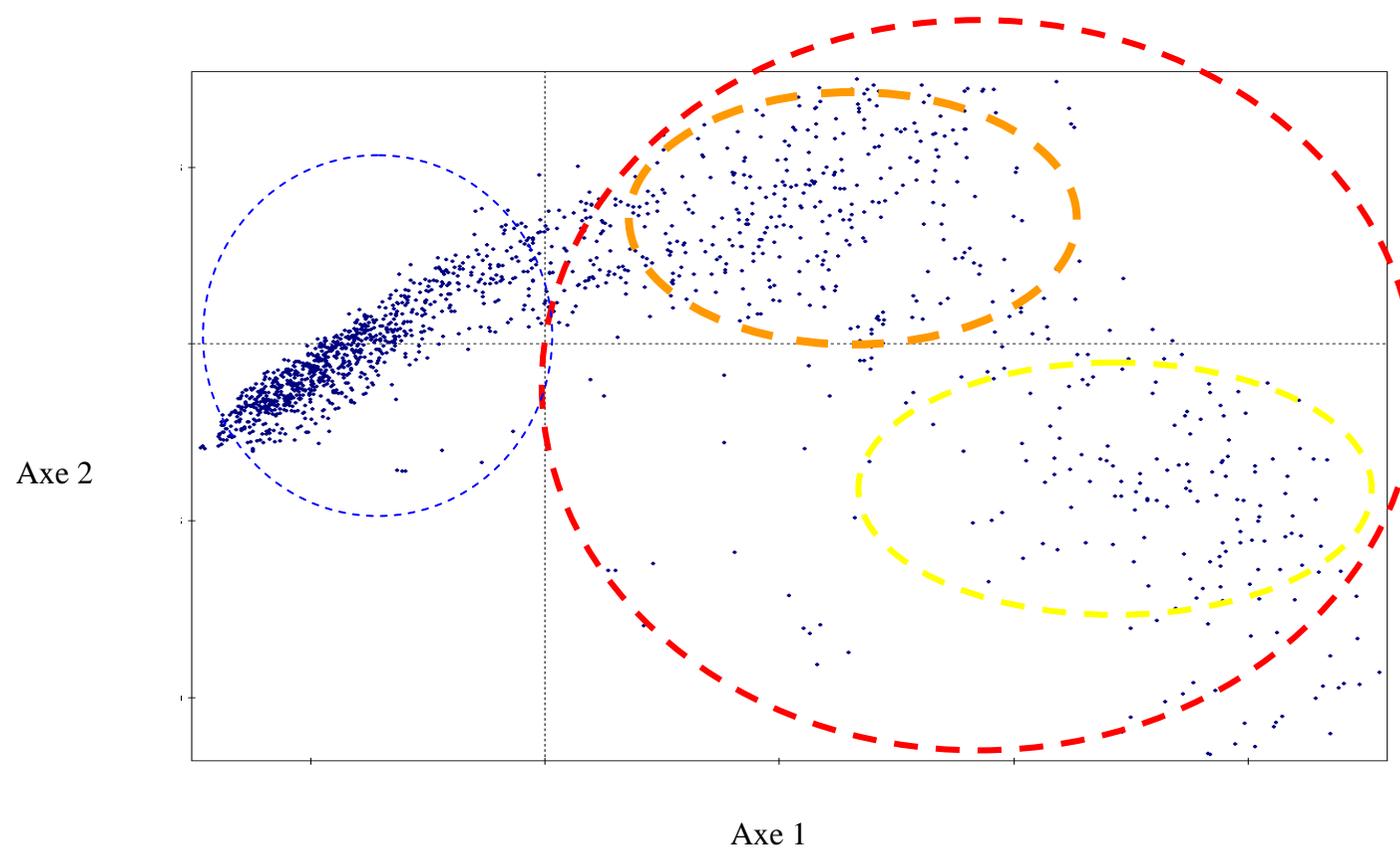
**Axe 1** : 17,39% de l'inertie totale

Variables psychosociales
Variables socioéconomiques
Variables ressources publiques

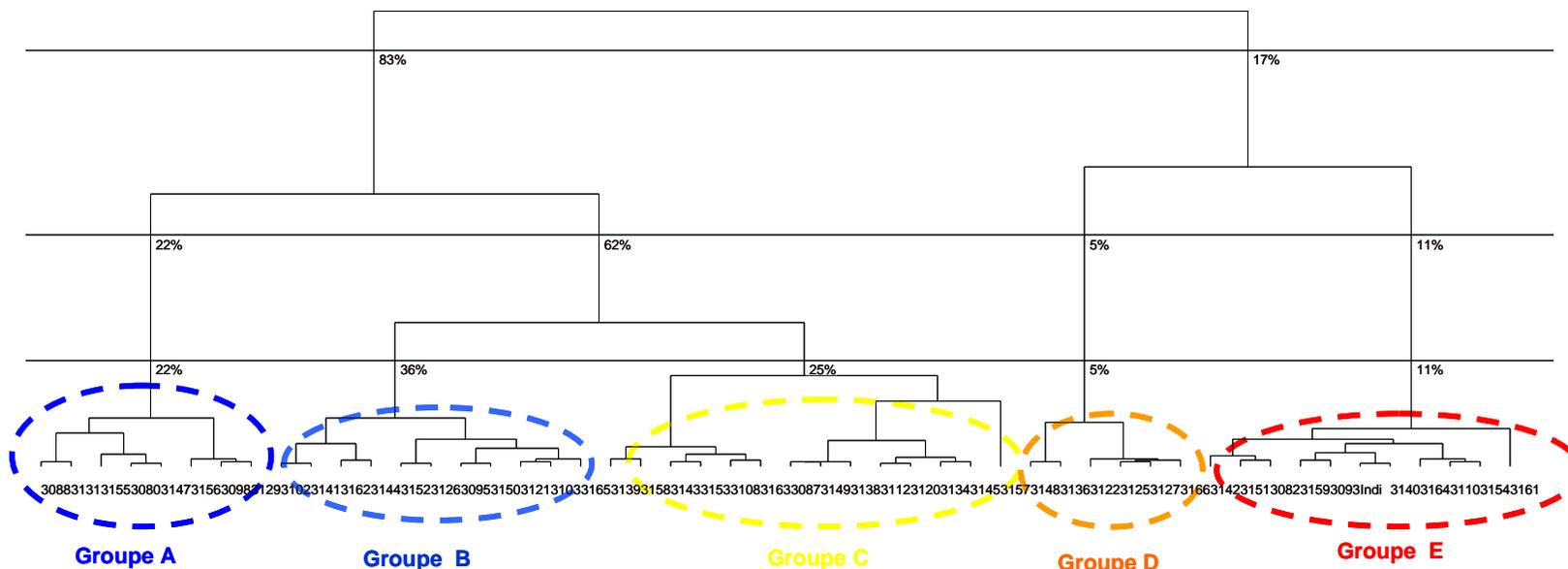
**Partie négative** : favorisé socio-économiquement, faible accessibilité aux ressources publiques et faible lien psychosocial

**Partie positive** : défavorisé socio-économiquement, forte accessibilité aux ressources publiques et fort lien psychosocial

*C. Représentation des individus (unités) sur le plan factoriel 1X2*

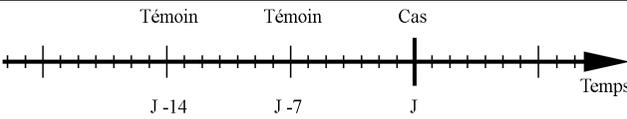
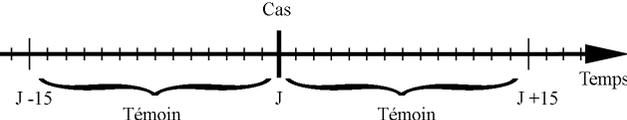
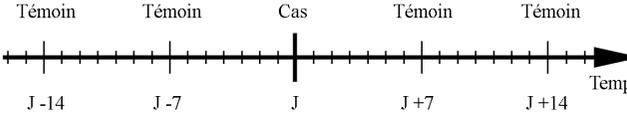
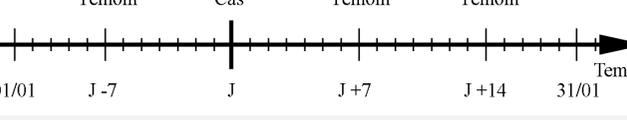


*Annexe N°3 : Représentation de l'arbre hiérarchique (dendrogramme) et la partition en 5 classes*



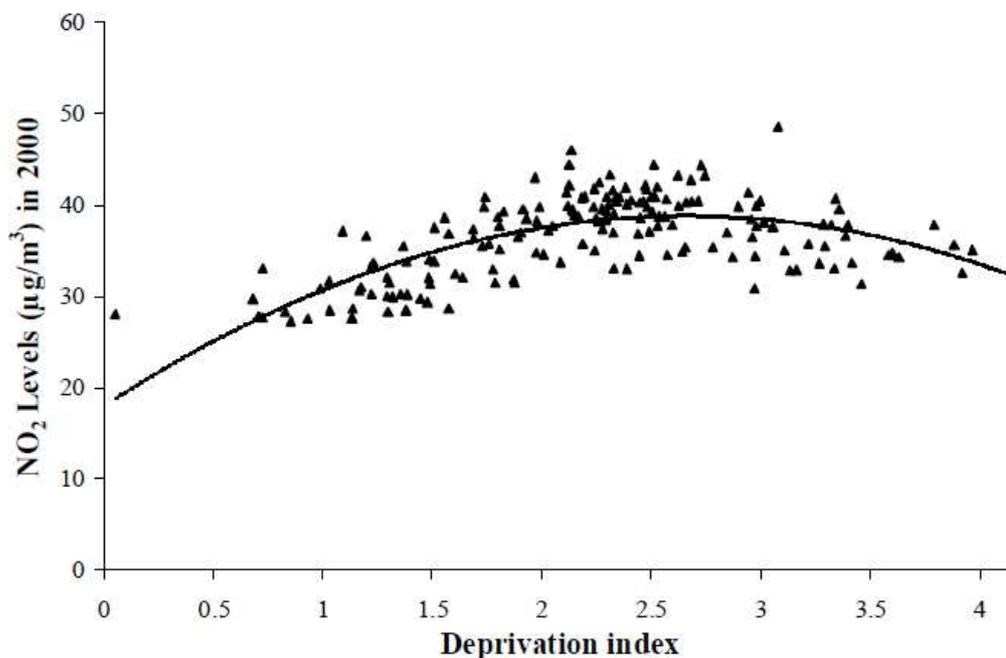
Groupe de cellule	Profil du groupe
<b>Groupe A</b>	<b>Lien psychosocial très faible, très faible accessibilité, habitat pavillonnaire, très favorisées</b>
<b>Groupe B</b>	<b>Lien psychosocial faible, faible accessibilité, habitat pavillonnaire et mixte, favorisé</b>
<b>Groupe C</b>	<b>Fort lien psychosocial, accessibilité moyenne, habitat pavillonnaire et mixte, moyennement favorisées</b>
<b>Groupe D</b>	<b>Très fort lien psychosocial, très bonne accessibilité, habitat mixte et centre ville, et défavorisées</b>
<b>Groupe E</b>	<b>Lien psychosocial moyen, bonne accessibilité, habitat collectif, et très défavorisées</b>

**Annexe N°4 : Schémas d'appariement pour le choix de la période témoin**

Type de schéma	Référence	Exemple	Avantages / inconvénients
<p><b>Schéma d'appariement unidirectionnel</b></p> <p>les périodes témoins sont les jours <b>antérieurs</b> à l'événement sanitaire et correspondant au même jour de la semaine que le jour cas</p>	(Maclure 1991)	 <p><b>Schéma unidirectionnel.</b> Dans cet exemple, les périodes témoins correspondent aux jours situés entre 7 et 14 jours avant le jour cas</p>	<p><b>Avantage :</b> cette approche permet de contrôler la variabilité à court terme (saisonnalité et jour de la semaine) et l'autocorrélation temporelle des niveaux de pollution.</p> <p><b>Inconvénient :</b> l'approche ne permet pas de prendre en compte l'existence d'une éventuelle tendance à long terme dans les données</p>
<p><b>Schéma d'appariement bidirectionnel</b> <i>c'est-à-dire avant et après la période cas.</i></p> <p>Tous les jours de la série d'exposition autres que le jour cas sont sélectionnés comme des périodes témoins</p>	(Navidi 1998)	 <p><b>Schéma bidirectionnel full stratum.</b> Dans cet exemple, les périodes témoins correspondent à tous les jours situés 15 jours avant et après le jour cas.</p>	<p><b>Avantage :</b> Cette approche permet de contrôler les tendances temporelles.</p> <p><b>Inconvénient :</b> Cette technique ne permet pas de contrôler les variations saisonnières.</p>
<p><b>Schéma d'appariement bidirectionnel symétrique</b></p> <p>Les périodes témoins sont sélectionnées de manière symétrique par rapport à la période cas</p>	(Bateson et Schwartz 1999)	 <p><b>Schéma bidirectionnel symétrique.</b> Dans cet exemple, les périodes témoins correspondent aux jours situés entre 7 et 14 jours avant et après le jour cas</p>	<p><b>Avantage :</b> Cette approche permet de contrôler les tendances temporelles, les variations saisonnières et hebdomadaires et l'autocorrélation temporelle dans la série d'exposition</p> <p><b>Inconvénient :</b> cette approche peut être biaisée par les tendances temporelles des niveaux de pollution.</p>
<p><b>Schéma d'appariement stratifié sur le temps</b> (<i>time stratified</i>)</p> <p>les périodes témoins sont sélectionnées comme les mêmes jours de la semaine, du même mois, de la même année que la période cas</p>	Levy et al., 2001		<p><b>Avantage :</b> Cette approche permet de contrôler les tendances temporelles, les variations saisonnières et hebdomadaires et de l'autocorrélation temporelle.</p>

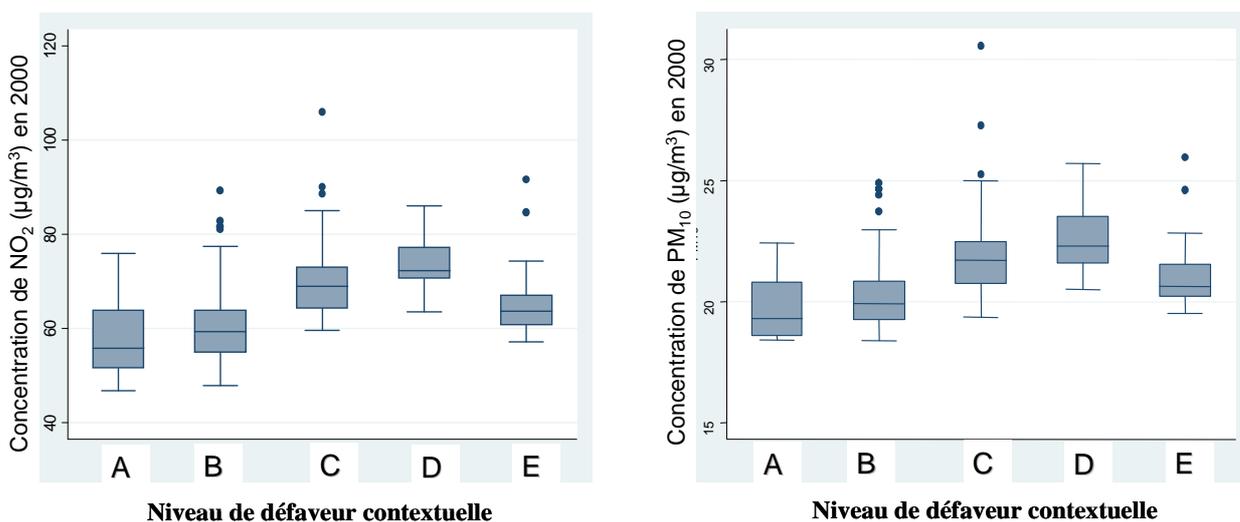
Au vu de la littérature existante à ce jour sur la méthode cas-croisés, il semble qu'un consensus soit établi pour reconnaître que le schéma d'appariement stratifié sur le temps est le plus performant pour la modélisation des effets sanitaires de la pollution atmosphérique.

**Annexe N°5. Relation entre pollution atmosphérique et le niveau de défaveur au sein de la CUS, niveau socio-économique (A) et niveau contextuel (B)**



(A) Relation non-linéaire entre les concentrations du NO<sub>2</sub> et le niveau de défaveur socio-économique (Deprivation index) (Scatter plot), CUS, 2000

D'après Havard et al., 2009



(B) Répartition des concentrations de deux polluants (NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>) en fonction du niveau de défaveur contextuelle, CUS, 2000.

## Annexe N°6 : synthèse des principaux résultats des travaux

Risque de survenue d'infarctus							
Polluants	Approche i			Approche ii			
	Population sensible	Catégorie du NDC	OR (IC 95%)	Population sensible	Catégorie du NSE	OR (IC 95%)	
<b>NO2</b>	✓ Sujets âgés entre 35-74 ans	C	1.11 <sup>‡</sup> (1.02-1.21)	✓ Sujets âgés (55-74 ans)	3	1.24 <sup>‡</sup> (1.06-1.45)	
	✓ Sujets âgées (55-74 ans)	C	1.14 <sup>‡</sup> (1.01-1.27)	✓ Les femmes (55-74 ans)	3	1.4 <sup>‡</sup> (1.01-1.93)	
	✓ Femmes âgées (55-74 ans)	C	1.24 <sup>‡</sup> (1.001-1.54)	✓ Les hommes (55-74 ans)	3	1.20 <sup>‡</sup> (1.00-1.44)	
	✓ Hommes âgés (35-54 ans)	C	1.10 <sup>‡</sup> (1.00-1.22)				
<b>PM10</b>				✓ Sujets âgés entre 35-54 ans	3	0.75 <sup>‡</sup> (0.60-0.94)	
	✓ Femmes âgées (54-74 ans)	C	1.29 <sup>‡</sup> (1.01-1.63)	✓ Femmes (55-74 ans)	5	1.35 <sup>‡</sup> (1.02-1.78)	
				✓ Hommes (35-54 ans)	3	0.78 <sup>‡</sup> (0.61-0.99)	
<b>CO</b>							
	✓ Sujets âgés entre 35-74 ans	C	1.20 <sup>‡</sup> (1.04-1.38)	✓ Sujets âgés (54-74 ans)	3	1.27 <sup>‡</sup> (1.00-1.62)	
	✓ Femmes (35-74 ans)	C	1.37 <sup>‡</sup> (1.03-1.81)	✓ Femmes âgées (35-54 ans)	3	0.29 <sup>‡</sup> (0.10-0.79)	
	✓ Femmes âgées (54-74 ans)	C	1.41 <sup>‡</sup> (1.04-1.91)				
Risque d'appel aux urgences pour asthme							
Polluants	Approche i			Approche ii			
	Population sensible	Catégorie du NDC	OR (IC 95%)	Population sensible	Catégorie du NSE	OR (IC 95%)	
<b>NO2</b>	✓ Les sujets tout âge confondu	C	1.04 <sup>‡</sup> 1.00-1.08	✓ Les sujets tout âge confondu	3	1.05 <sup>‡</sup> 0.99-1.10	
	✓ Les sujets les plus âgés (plus de 65 ans)	B	1.10 <sup>‡</sup> 1.03-1.17	✓ Pas de sous population sensible			
<b>PM10</b>				✓ Les sujets tout âge confondu	4	1.05 <sup>‡</sup> 1.00-1.11	
	✓ Les sujets les plus âgés (plus de 65 ans)	C	1.06 <sup>‡</sup> 0.87-1.16	✓ Pas de sous population sensible			
			1.09 <sup>‡</sup> 1.01-1.18				

