

FORMES URBAINES ET REPARTITIONS DES POLLUANTS

Christiane WEBER (Chargée de recherche) Laboratoire Image et Ville UPRESA-7011 CNRS - Faculté de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg

Email : chris@lorraine.u-strasbg.fr

RESUME : La pollution atmosphérique qui caractérise nos villes intéresse de plus en plus les scientifiques mais aussi les acteurs politiques et administratifs ainsi que la population. Les proportions de citoyens soumis à ce type de nuisances, ne font que croître sur le continent européen, de tel sorte que des directives européennes ou nationales tentent d'en réguler les causes en multipliant les moyens de prévention (industriels et techniques, mais aussi administratifs et juridiques) mais aussi d'alerte et de communication. Cela étant pour assurer un quelconque succès à ces initiatives il convient d'aborder ces phénomènes dans une approche plus globale qu'elle ne l'a été jusqu'à présent. Si les modèles de répartition des polluants atmosphériques ont été bien développés selon des échelles macroscopiques, celle de la ville l'est beaucoup moins. Le projet d'étude présenté s'inscrit dans une telle démarche articulant échelle microscopique d'observation (la station de mesure) à une échelle plus large (l'aire urbaine). L'hypothèse principale étant que les formes urbaines ont un impact certain sur la répartition des polluants, que se soit au niveau de la rue, du site de mesure ou de l'ensemble de la ville. De plus, pour pallier l'insuffisance du nombre de stations de mesure, il faut que trouver des moyens de spatialiser l'information collectée afin d'obtenir une représentation étendue des phénomènes de pollution atmosphérique. L'image satellite est utilisée ici comme vecteur d'information fournissant une solution au problème.

MOTS CLEFS Morphologie urbaine, pollution atmosphérique, modélisation, spatialisation

ABSTRACT : The urban atmospheric pollution is one of the subjects that interests most scientists, persons involved in political and administrative functions, as well as the urban dwellers. The numbers of people exposed to this kind of pollution in the European territory is increasing. Through European or national directives an effort is made to regulate the causes by multiplying the different means (industrial and technical but also administrative and legal) allowing to anticipate, inform, communicate. Therefore, in order to guarantee a minimum success to these initiatives, it is necessary to study these phenomena through an approach much more global than before. The models of atmospheric pollutants' distribution have been so far developed according to macroscopic scale, which is less relevant when the study area is the city. The research theme presented here combines the microscopic scale of observation (measurement stations) with a much larger scale (urban area). The main hypothesis is that urban forms have a certain impact on the distribution of pollutants, in the street, the measurement site or the whole urban area. The number of the measurement stations being insufficient, it becomes then necessary to find a way to spatialise the collected information. This will allow a broader representation of the atmospheric pollution phenomena. Satellite images are used here as an information vector providing a solution to the problem.

KEY WORDS urban fabric, atmospheric pollutants, modelling, spatialising

1 Introduction

Si une baisse des concentrations en dioxyde d'azote (NO²) est constatée depuis quelques années dans les villes européennes, avec une tendance similaire pour le dioxyde de soufre (SO²) (AAE, 1997), il n'en demeure pas moins que bien souvent les valeurs guide de l'EU15 sont dépassées dans les villes européennes équipées de stations de mesure et qu'environ 37 millions d'habitants sont ainsi exposés. Cette situation n'est pas l'apanage des villes industrialisées, la répartition de la population mondiale a pour corollaire l'augmentation de l'habitant-urbanisé baignant dans une atmosphère "socialisée" (Vigneau, 1997). Dans cette logique l'auteur souligne la nécessité d'analyser les faciès climatiques urbains trop longtemps dédaignés, non seulement par une appréhension stationnelle fine sur la durée mais aussi par des campagnes de terrain fournissant une observation spatialisée complémentaire. Ces observations doivent enrichir les connaissances accumulées qui serviront à des échelles variables du local, au régional. Cependant, la fragmentation de l'espace urbain, sa complexité confirment l'intérêt d'analyses à une échelle fine permettant d'aborder la variabilité interne des phénomènes de pollution. Même si la plupart des modèles de simulation des processus, intervenant dans le transport et la dispersion des polluants dans l'atmosphère se cantonnent à des échelles locales (maillage de 1km), il ne semble pas inutile de préciser que la connaissance d'éléments explicatifs supplémentaires à un niveau plus fin, pourrait améliorer les résultats obtenus (occupation du sol, densité de bâti etc.).

Le programme de recherche s'inscrit-il dans une amélioration de la connaissance des processus de répartition des polluants à différentes échelles. Ainsi a-t-il comme objectifs de mieux sectoriser les phénomènes de pollution à l'échelle d'une ville (de la rue à l'agglomération) ; de spatialiser les éléments collectés en s'appuyant sur des vecteurs d'information particuliers, les images satellites, enfin de fournir des clés de lecture de la pollution pour mieux répondre aux obligations de la loi sur l'Air par des produits cartographiques appropriés à la gestion de la qualité de l'air.

Les résultats présentés correspondent à une série de travaux réalisés au cours des premiers mois du programme financé par le MERNT (ACIV1999)¹ et réalisé en partenariat avec l'association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace et le laboratoire Télédétection et Modélisation de l'Ecole des Mines. Seront analysées successivement les informations collectées nécessaires aux tests de modélisation sur segments de rue, à la démarche de qualification des sites de mesures ainsi qu'à la sectorisation des phénomènes de pollution. Pour finir seront abordés les limites et les problèmes rencontrés, ainsi que les développements à venir notamment en matière de validation des résultats.

2 Sujet d'étude et site d'observation

Diverses études (InVS, 1999) menées au niveau européen préconisent d'étudier les processus intervenant dans le transport et la dispersion des polluants dans l'atmosphère de manière globale, de ne plus considérer la prévention des risques en termes de "pics²" de pollution mais en termes d'exposition quotidienne permanente à un fond de pollution³, de prendre en compte un ensemble d'indicateurs et donc d'améliorer les connaissances et l'estimation de l'exposition des populations, enfin de rendre accessible les résultats à l'ensemble des acteurs et de la population. L'étude s'inscrit ainsi dans une démarche d'appréhension de la qualité de l'air, en focalisant plus particulièrement sur les processus de répartition des polluants et les modalités de représentation associées.

¹ IMAGE et VILLE Strasbourg, ASPA Strasbourg et ARMINES Sophia-Antipolis.

² Pic de pollution : correspond à une valeur horaire ou journalière anormalement élevée. Il s'agit donc d'une situation temporaire.

³ Un fond de pollution correspond à de la pollution observée à distance de l'influence directe de toute source émettrice importante (industrie, voie de circulation...).

La loi sur l'Air (30/12/1996) et ses textes d'application ont statué sur l'obligation, à terme, de couvrir le territoire, de prévoir la pollution et de planifier sa gestion. Dans ce contexte, l'usage de la modélisation est de plus en plus fréquent.

- La modélisation déterministe pour définir le comportement des polluants au travers des mécanismes physico-chimiques et rendre compte de l'impact des mesures destinées à maintenir ou améliorer la qualité de l'air et de l'action des éléments susceptibles de la détériorer. On y trouve : la simulation de la dispersion des rejets de polluants industriels ou de trafic à l'échelle de l'agglomération (20*20km à 50*50km) et la simulation de la génération et de la dispersion de polluants secondaires typiquement l'ozone. A l'échelle régionale (jusqu'à 200*200km) ces modèles requièrent des données d'entrée à un niveau de détail plus fin.
- La modélisation statistique inférentielle tend à fournir des probabilités de dépassement des seuils réglementaires de polluants, conduisant au lancement de procédures d'alerte et de mesures de réduction d'émission. L'efficacité de ces modèles dépend de la définition des paramètres utilisés comme prédicteurs dans le modèle (le plus souvent les conditions météorologiques et les niveaux de polluants mesurés).
- La modélisation d'exposition correspond à une préoccupation émergente. L'évaluation du risque encouru par les populations devient une question essentielle. Pour y répondre des modèles locaux sont utilisés souvent intervenant au niveau de la rue "modèle rue-canyon" ou à celui du quartier. Des modèles simplifiés comme STREET (©Targeting) qui calculent des niveaux moyens de concentration ou modèles plus complexes tri-dimensionnels qui calculent les concentrations en tous points d'une rue à partir de la résolution numérique d'équations de mécanique des fluides et d'équations de transport.
- Enfin, les méthodes d'interpolation et la cartographie entrent de plain-pied aussi dans ces préoccupations en offrant des outils de spatialisation des données ponctuelles collectées. La cartographie "de la qualité de l'air" est délicate car elle peut être source de nombreuses erreurs et confusion si les outils ne sont pas parfaitement maîtrisés. De plus il ne s'agit aucunement de procéder à des études d'impact ou d'en déduire des prévisions.

Dans notre propos, deux types de modélisation vont être abordés : la modélisation d'exposition et les méthodes d'interpolation permettant la spatialisation des données.

Ces choix résultent de l'intérêt d'envisager une appréhension globale des processus articulés sur les interactions s'illustrant à plusieurs niveaux d'observation : le point de mesure au sol, le réseau de voirie et les mailles bâties complémentaires et enfin l'aire urbaine. Les interfaces qui matérialisent ces interactions sont multiples : l'environnement restreint de la station de mesure, la rue, la zone bâtie et l'unité urbaine. Chacune de ces interfaces peut s'étudier selon leurs caractéristiques spatiales et thématiques ; de leurs articulations verticales s'appréhende le changement d'échelle, de leurs descriptions se déclinent les relations spatiales (géométriques, topologiques) de ces différents niveaux d'observation. Il est clair que ces niveaux d'observation ne peuvent être satisfaisants que s'ils sont associés, de la station à la région urbaine. Le problème réside dans l'identification et la qualification de ces articulations multi-échelles (Weber, 2000).

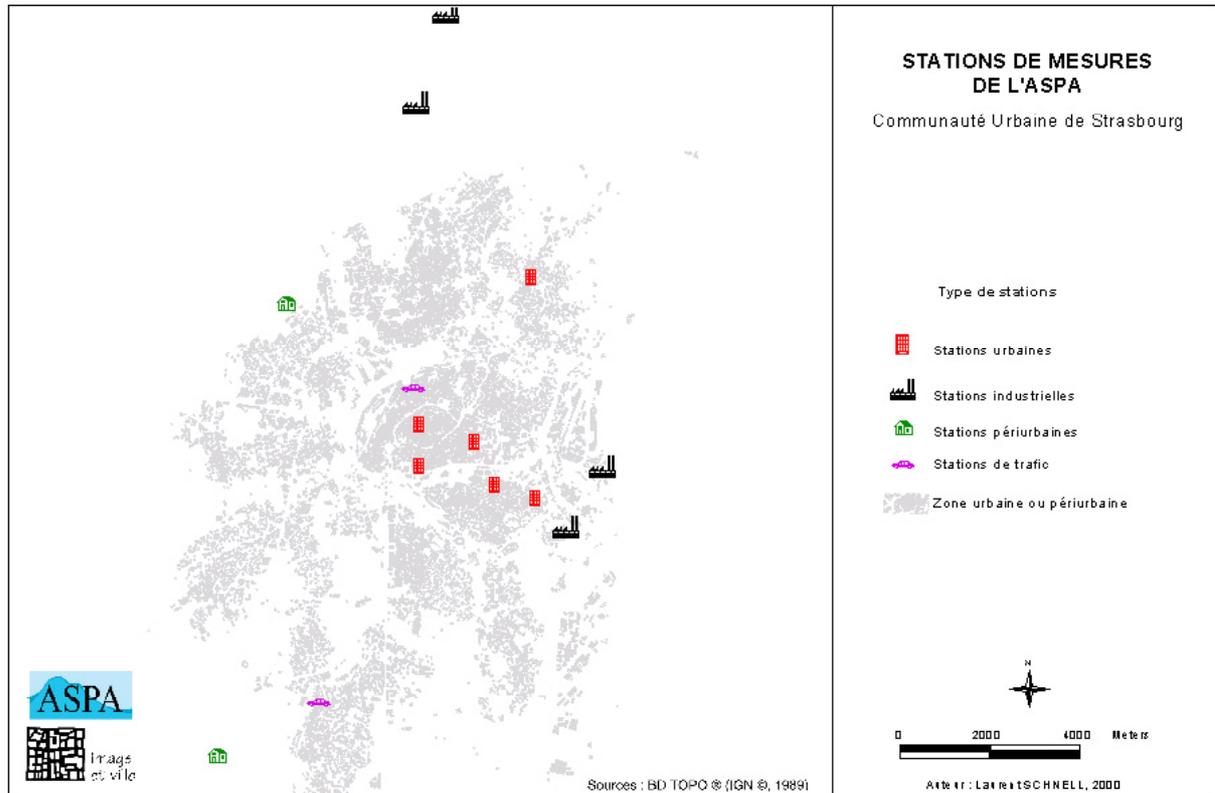
Les objectifs de l'étude sont donc :

- de modéliser les transports de polluants dans les rues
- de qualifier les sites de mesures des stations strabourgeoises,
- de spatialiser les données de pollution en utilisant les images satellites.

Ces trois objectifs sont complémentaires spatialement et thématiquement.

Le site de Strasbourg et de son aire urbaine a été choisi du fait de la participation de l'ASPA à ce projet. Cette association pour la surveillance de la qualité de l'Air sur l'Alsace a depuis la promulgation de la loi sur l'Air (1996) des obligations d'information, de prévention mais aussi d'intervention en cas de dépassement de seuils. Elle dispose pour cela d'une douzaine de stations disséminées sur la zone retenue, stations divisées en stations urbaines, périurbaines, rurales, industrielles ou de trafic, selon la localisation et les composants atmosphériques analysés (figure 1).

Figure 1 les stations de mesures de l'aire strasbourgeoise



3 Données collectées et structuration de la démarche

Différents types de données sont nécessaires à ce projet de recherche. Le choix est fixé selon les diverses sous-tâches associées aux objectifs.

- Afin de pouvoir analyser la répartition des polluants en milieu urbain, il est nécessaire de pouvoir disposer de données collectées selon des protocoles assurant la qualité des informations recueillies. L'ADEME a défini des nomenclatures de sites de mesures, déterminant une typologie des stations de mesure et des critères de localisation afin de faciliter la comparaison des mesures collectées. Cependant il convient de revoir ces nomenclatures et d'analyser la représentativité et la qualification. *Ceci revient à prendre en compte non seulement les mesures elles-mêmes mais aussi les sites de mesures.*
- Les interfaces qui matérialisent les interactions en présence sont multiples, un emboîtement d'éléments met en avant l'importance que peut avoir la morphologie du bâti dans un tel contexte⁴. Les données à collecter sont donc celles caractérisant le tissu urbain, si possible en tenant compte de la hauteur du bâtiment (z) à partir du sol. En effet, la modélisation d'exposition selon les voies de circulation nécessite le calcul de ratio entre largeur de rue et hauteur du bâti.

Les données de la BD Topo IGN sont donc utilisées pour caractériser le tissu bâti (emprise, hauteur, orientation).

⁴ Notion apparue d'abord chez les géographes entre les deux guerres, puis reprises par les historiens et les architectes. Elle analyse le rôle de chacun des éléments du tissu urbain, le rapport entre les espaces bâtis et les espaces libres. (Merlin, 1994: 55).

- Le peu de stations réparties sur l'aire urbaine requiert l'extrapolation des mesures collectées sur la totalité de l'aire urbaine en tenant compte de ses spécificités. La spatialisation des données doit pour cela bénéficier d'un vecteur d'information uniformément réparti. L'image satellite ouvre des possibilités intéressantes en tenant compte des relations qui existent entre les valeurs spectrales et certaines particules en suspension ou polluants. Images satellites Landsat TM avec des résolutions allant de 15m en panchromatique à 60m pour des données recueillies dans l'infrarouge thermique.

L'ensemble des données collectées est structuré au sein d'une base de données couplée à un SIG de manière à faciliter les requêtes spatiales et attributaires permettant de caractériser le tissu urbain et les sites des stations de mesures.

Les données mesurées sont définies par l'ASPA en fonction de la typologie des sites et des analyseurs associés (94). Elles recouvrent le dioxyde de soufre, les particules fines en suspension (PM_{10} / PM_{13}), les oxydes d'azote NO_x , le monoxyde et le dioxyde de carbone C_2 , l'ozone O_3 , le plomb, la radioactivité de l'air ainsi que les paramètres météorologiques.

Les stations sont classées selon leur situation et les mesures réalisées :

- les stations rurales assurent le suivi du niveau de pollution atmosphérique dite de fond (polluants mesurés : SO_2 , NO , NO_2 , O_3)
- les stations périurbaines (2) assurent le suivi du niveau d'exposition de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dite de fond à la périphérie de la ville, Strasbourg sud.

(polluants mesurés : SO_2 , NO , NO_2 , O_3)

- les stations urbaines (4) assurent le suivi du niveau d'exposition de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dite de fond dans le centre ville, Strasbourg centre.

(polluants mesurés : SO_2 , NO , NO_2 , O_3)

les stations de trafic (2) fournissent des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située à proximité des routes est susceptible d'être exposée, Strasbourg Illkirch. (polluants mesurés : SO_2 , NO , NO_2 , CO , particules)

- les stations industrielles (4) fournissent des informations sur les concentrations représentatives du niveau de pollution induit par des phénomènes de panache ou d'accumulation issu de source industrielle. (polluants mesurés : SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , particules)

Les données IGN ont été intégrées dans le SIG malgré l'ancienneté des plans d'information (1989). Sachant qu'il n'y a pas pour le moment de données aisément accessibles sur la hauteur des bâtiments, les informations contenues dans la BD Topo peuvent être considérées comme satisfaisantes. Il faut savoir que les coûts de cession ou de réalisation d'une couverture stéréoscopique ou d'un modèle numérique de surface (MNS) ne sont pas à la mesure des capacités du projet !

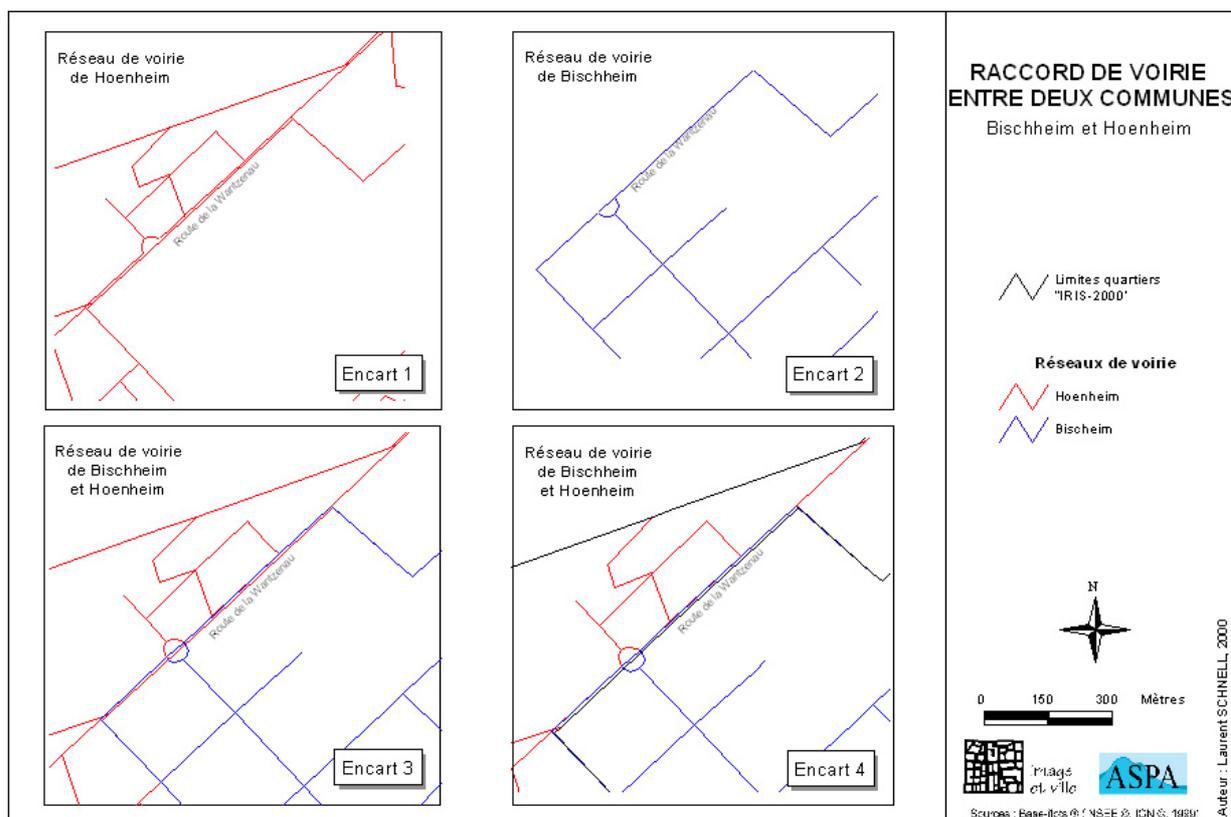
Les données INSEE (Base-îlots et IRIS2000, 1998) ont aussi été intégrées avec quelques difficultés (figure 2) afin de tenir compte d'une quantification de la population concernée par les stations de mesures, selon un critère de densité développée par l'ADEME et reprise par notre partenaire (ASPA).

Les problèmes liés à la différence de précision géométrique (respectivement 1 mètre et 10 à 20 mètres dans le meilleur des cas) compliquent les superpositions de plans (260 bâtiments sont intersectés par les limites des quartiers IRIS2000).

Les données routières et de trafic ont été fournies par la DDE et la communauté urbaine de Strasbourg afin de calibrer les routes dans le centre de la ville.

D'autres données spatiales sont utilisées pour qualifier les sites notamment, des photographies aériennes et des images à très haute résolution spatiale.

Figure 2 Adéquation entre les couches IGN et INSEE



La démarche envisagée (figure 3) s'établit en plusieurs phases selon deux approches parallèles : d'une part, l'influence des formes urbaines est analysée en fonction de diverses caractéristiques : le bâti, la canopée urbaine (rugosité et compacité), l'environnement proche des stations de mesures (occupation et utilisation du sol, compacité ou ouverture). D'autre part le volet spatialisation des données est engagé par le traitement des images satellites (Landsat TM; en cours) et la campagne de validation, prévue pour le printemps 2001 ou 2002.

4. Résultats

Parmi les premiers résultats obtenus, une première typologie des rues a été élaborée pour pouvoir initier une modélisation du comportement des polluants dans les rues de la ville.

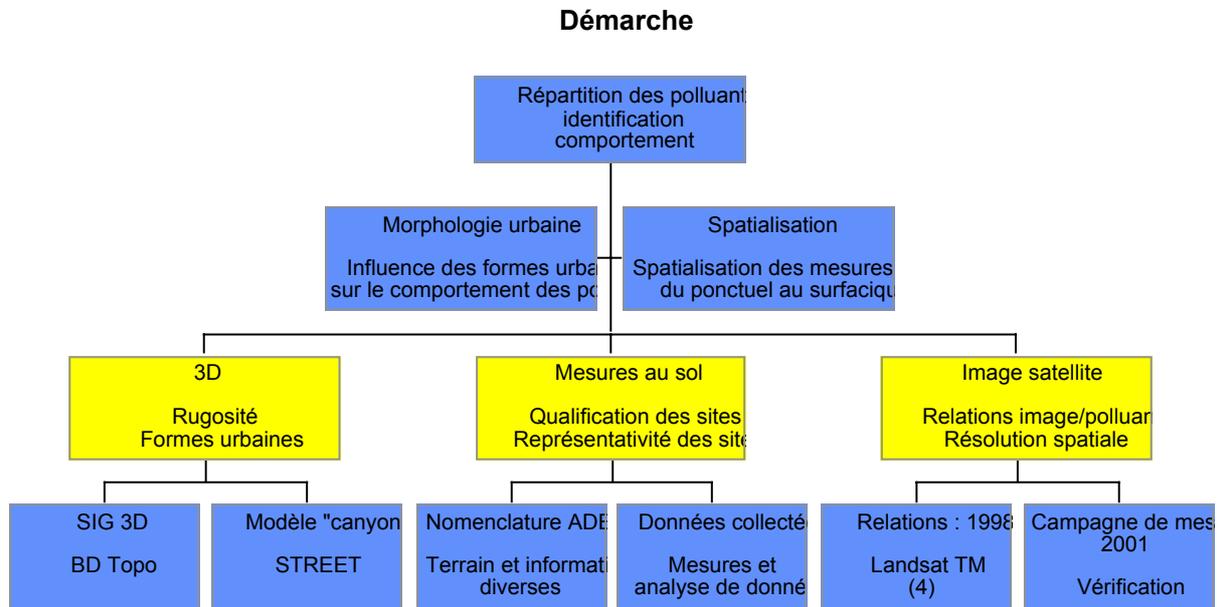
4.1 Modélisation par segment de rue

Parmi les outils existant dans le domaine de la modélisation statistique inférentielle, l'intérêt s'est porté sur les modèles simplifiés qui calculent des niveaux moyens de concentration, souvent au niveau du sol et reposent sur un certain nombre d'hypothèses dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats. STREET 3.1⁵ constitue l'un de ces modèles qui reconstituent à l'échelle de la rue des moyennes annuelles en appliquant des fonctions simplifiées issues de simulations préétablies (Cerciat, 2000). L'un des intérêts du recours à la simulation dans l'estimation de la pollution de proximité automobile, réside dans le remplacement de campagnes lourdes et coûteuses, et la possibilité de faire différentes simulations rapidement et d'en évaluer les impacts, par exemple dans le cas d'une augmentation prévisible de la charge du trafic ou de modification du plan de déplacement. Cet outil informatique permet de couvrir un large territoire en travaillant à l'échelle de la rue. Il

⁵ Le logiciel STREET 3.1 est articulé avec le logiciel de simulation 3D MISCAM pour les immissions et IMPACT de l'ADEME lui-même basé sur le logiciel COPERT-II (Computer program to calculate emissions from road transport) pour les émissions.

offre la possibilité de tester les modifications des taux d'exposition des riverains aux immissions⁶ en testant l'impact de nouveaux projets d'aménagement et d'urbanisme. Adapté au parc automobile français il permet à l'utilisateur d'identifier les dépassements de seuils en vigueur. Le raisonnement est bâti sur des moyennes annuelles ainsi qu'en percentile 98 pour le NO₂. Les résultats sont exprimés en g/km/véhicules pour les émissions, et en µg/m³ pour les immissions.

Figure 3 Démarche développée



Toute une série de données de références sont utilisées dans STREET 3.1 comme la configuration de la rue, du tronçon ou du carrefour (niveau unitaire de simulation), la catégorie de la voie (typologie de 98 configurations), les conditions météorologiques locales (direction du vent dominant, vitesses moyenne annuelle), les caractéristiques de la flotte de véhicules (année de référence du parc automobile, la circulation moyenne journalière nombre de véhicules-jour, le pourcentage de véhicules légers et les poids-lourds), les conditions de circulation (le pourcentage des bouchons), les descripteurs géographiques (pente, orientation), les valeurs de pollution (charge du fond de pollution).

Les valeurs annuelles des immissions prennent en compte la contribution de chaque direction dominante de vent en un lieu, d'où l'importance de la répartition moyenne annuelle des vents dominants. La topographie locale influence la direction du vent. La catégorie de circulation intervient aussi, elle peut être définie par la succession de vitesses et d'états de marche différents. Neuf catégories sont proposées (avec des possibilités de création) allant de 5 à 130 à l'heure selon le type de voies et le lieu, à ceci s'ajoute un pourcentage de bouchon selon la catégorie de circulation. La pente intervient, bien entendu, dans la modélisation. Les données de pollution sont soit préenregistrées selon des valeurs par défaut selon le type de zone d'étude (du rural aux villes de plus de 500 000 habitants), soit intégrées manuellement.

Pour les tests, les valeurs guide de la loi sur l'Air ont été choisies.

- Benzène $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Particules PM10 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO₂ $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en percentiles 98
- CO, l'objectif est de $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

⁶ Les immissions correspondent à la charge polluante dans le milieu étudié.

Deux séries de tests ont été réalisées, les premiers pour comparer les résultats en immissions obtenus à l'aide de STREET et les données validées provenant des stations de mesures de l'ASPA. Les seconds pour analyser la variation des polluants en fonction des différents paramètres du logiciel. Ces paramètres ont été définis pour une journée de " type-canyon " (données ASPA et CETE de l'Est) tableau 1.

Tableau 1 Paramètre d'une journée type

Direction du vent moyen	nord nord ouest
Vitesse du vent moyen	2,1m/s
Année de référence des véhicules	2000
Répartition du trafic	5000 dont 9,4% VUL et 3,9% (PL)
Vitesse moyenne	voie secondaire, perturbation moyenne 32km/h
Bouchon (temps de congestion)	10%

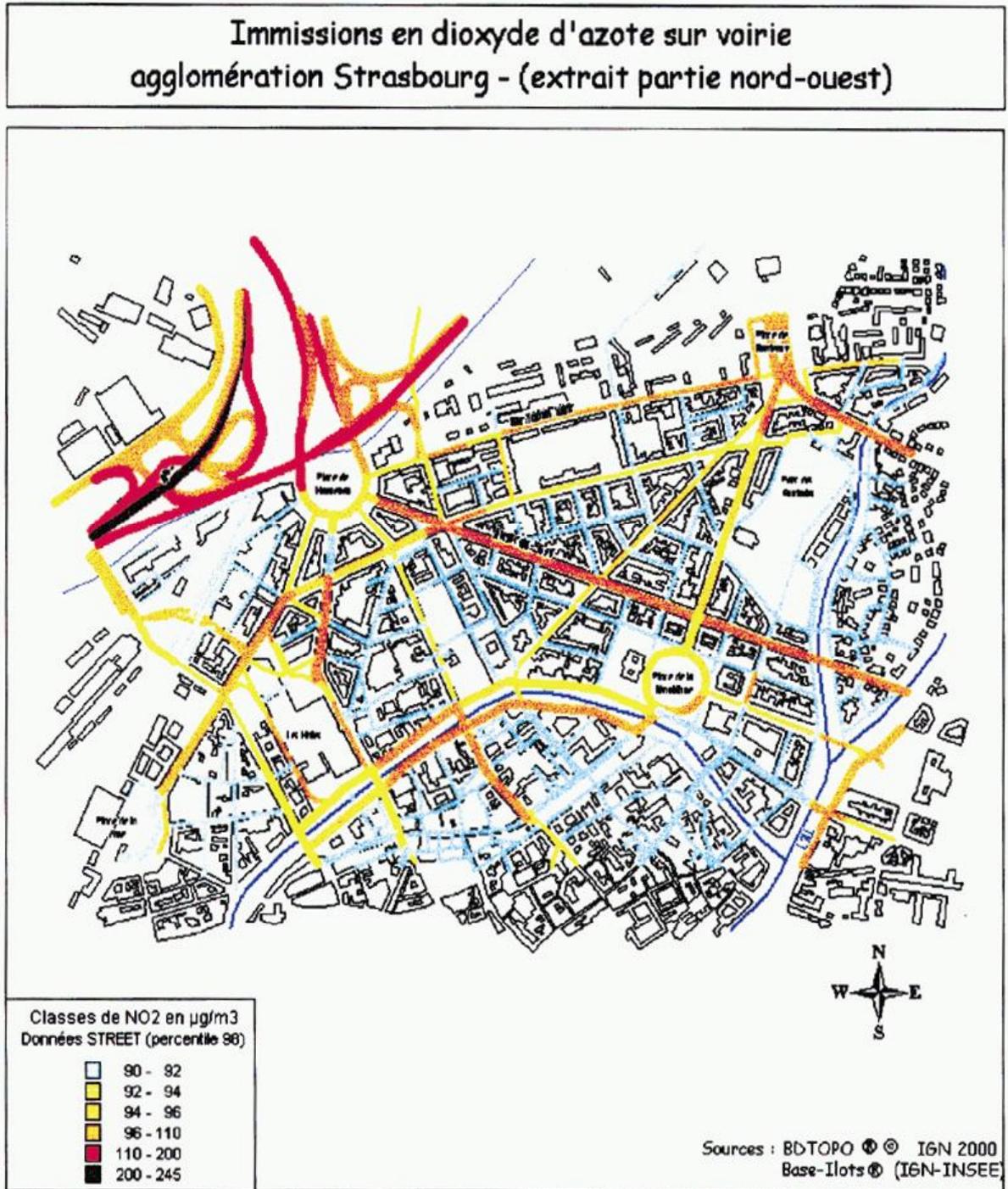
En conclusion des tests réalisés sur la comparaison de valeurs, on constate une variation de ± 12 à 25 %. Ceci peut paraître important, mais il faut temporiser en tenant compte des écarts provenant des données mesurées.

Pour les tests de paramètres, il s'avère que la direction du vent n'intervient que très légèrement dans la variation des concentrations. Ceci s'explique par le fait que la prise du vent est réalisée au-dessus des toits et donc qu'elle n'intègre pas les turbulences engendrées par les bâtiments et les voitures. On observe une augmentation de la concentration en polluants lorsque l'on augmente le pourcentage de bouchon, les émissions de polluants sont très importantes pour des vitesses inférieures à 20km/h. *Il est à noter aussi que lorsque la vitesse est inférieure à 80 km/h les concentrations de polluants décroissent régulièrement pour augmenter à nouveau pour des vitesses supérieures.* Ces concentrations diminuent aussi lorsque le nombre de véhicules personnels diminue, cependant le fond de pollution reste inchangé. *Les configurations de rues ont une incidence non négligeable sur les immissions de polluants.* Il est toutefois nécessaire de remarquer que dans ces configurations prédéfinies, il n'y a pas de rue à sens unique, pas de ronds-points ou des rues à trois voies. La typologie des rues définies dans le modèle apparaît sur bien des points peu compréhensible notamment en ce qui concerne le ratio hauteur des bâtiments-largeur des rues, l'espacement bâti et la prise en compte des trottoirs ou encore l'absence d'un facteur végétal dans la rue.

Les configurations type intégrées dans STREET 3.1 considèrent les types de rue et les carrefours : les rues droites avec croisement 50/50 ou 80/20 (trafic égal ou inégal) et les intersections en T (50/50 ou 80/20), la disposition des bâtiments (alignement unilatéral, bilatéral, avec ou sans pare bruit), le nombre de voies (2 ou 4 et plus), la continuité des façades, la distance rue-bâtiment depuis le centre de la voie et le ratio hauteur/largeur de façade à façade. La notion de " rue-canyon " est déterminée par ce ratio, si le rapport se situe entre 0,3 et 0,7 (on considère qu'il n'y a pas de risque d'accumulation) ou supérieur à 0,7 (avec risque).

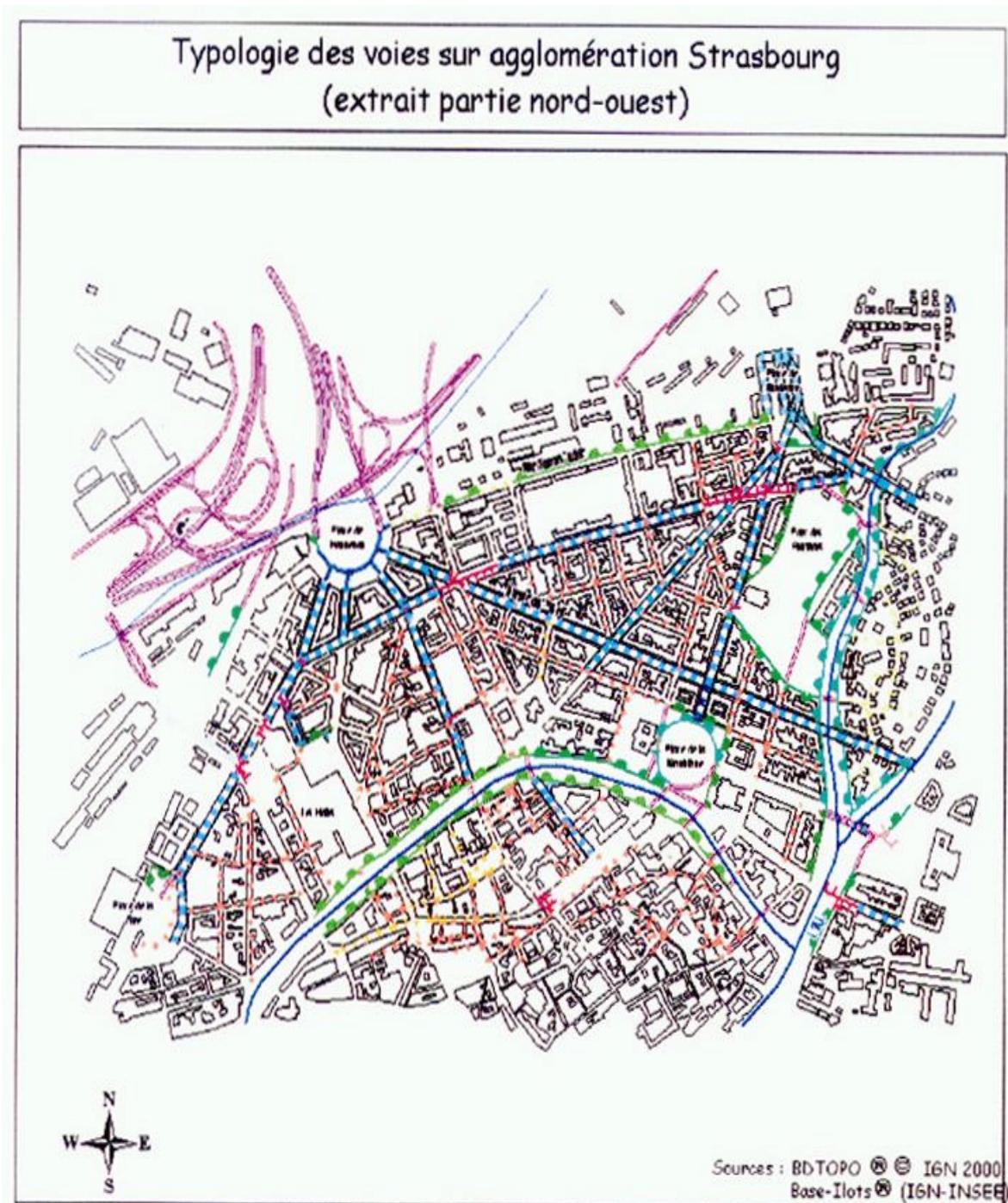
Le travail a consisté à classer certaines rues de Strasbourg selon les différents critères afin de trouver les identificateurs urbains les plus sensibles et les plus importants à prendre en compte lors de la mesures de polluants dans une rue. Pour articuler mesures au sol et caractéristiques issues du modèle des rues, 796 tronçons de rues ont été étudiés. La carte obtenue (Figure 4) met en évidence 28 types de rues dans cette partie de la ville. Quatre grands groupes sont distingués : les voies à grande circulation (autoroutes), des avenues, des rues ayant un alignement unilatéral (quais) et les petites rues canyon du centre ville où la hauteur bâtiments est supérieure à la largeur de la rue.

Figure 4 Typologie des voies



L'étude a été effectuée sur la période précédant le mois de septembre 2000, c'est-à-dire avant la mise en place du nouveau plan de déplacement urbain des bus CTS. Ceci explique les valeurs élevées le long des quais là où circulaient cinq lignes de bus contre seulement deux aujourd'hui. Cette spatialisation linéaire des mesures doit, bien entendu, s'appréhender avec son complément, la surface. Pour ce faire les sites de mesures doivent être abordés. Localisation, caractérisation seront des clés importantes de compréhension.

Figure 5 Cartographie des polluants



4.2 Qualification des sites

La nécessité de caractériser la ville et ses formes apparaît inéluctable dans cette tentative de modélisation des processus de répartition des polluants. La caractérisation de la morphologie urbaine ne se satisfait plus d'une description sociologique, historique, architecturale des formes, mais appelle à une caractérisation fondée sur des données chiffrées, quantifiables. Qualifier un site pose d'emblée le problème des descripteurs choisis permettant son observation. De nombreuses classifications de sites existent chacune reposant sur des critères similaires, mais non identiques. Qualifier un site de "station urbaine" ou "station de trafic" implique une localisation relative par rapport à la proximité de sources d'émissions, à un flux de véhicules...

D'autres indicateurs plus géométriques pourraient aussi être utilisés : le confinement ou l'ouverture de l'environnement proche de la station, la "surface de visibilité". D'autres encore peuvent fournir des informations en relation avec une mesure de rayonnement comme l'occupation du sol.

La qualification des sites reste donc un problème majeur surtout si l'on veut assurer la comparabilité des mesures collectées. Dans le cadre de ce projet ont été développés surtout deux notions : le volume et la distance. Le volume a été retenu afin de caractériser l'environnement proche des stations de mesure. Le bâti et les espaces ouverts (non bâtis) ont une influence sur la circulation de l'air est donc celle des polluants. La rugosité à la hauteur des toits intervient bien entendu aussi.

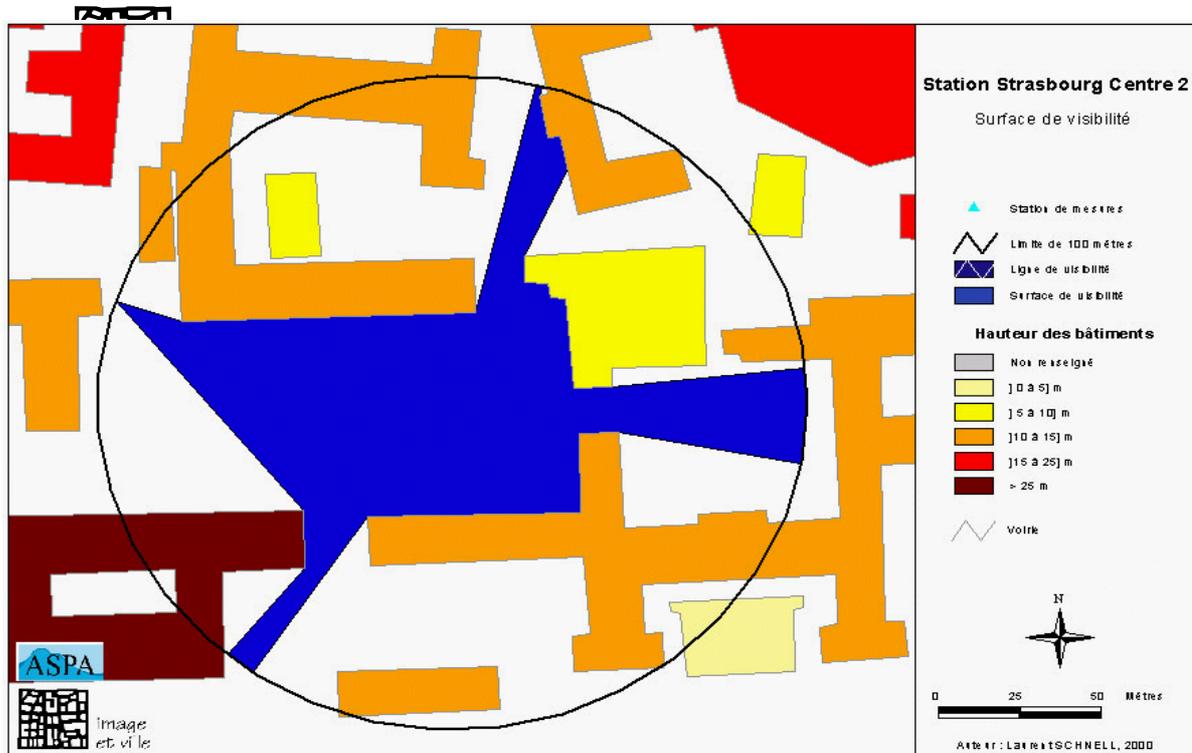
La distance est un élément à la fois morphologique et social. En effet il est intéressant d'avoir une idée de la densité de bâti autour de la station de mesure en fonction de distances successives. Le rayon maximum choisi correspond à une norme utilisée par les agences de surveillance de la qualité de l'air, pour quantifier la population concernée par les mesures collectées (1km).

Parmi les stations (12) localisées sur l'aire urbaine de Strasbourg, 4 sont qualifiées "d'urbaines" (figure1). Celles du centre de Strasbourg ont plus particulièrement étudiées et soumises aux développements des indices de volume et de distance. Leur proximité entraîne une superposition des zones d'exposition définies, tout en permettant d'identifier des caractéristiques morphologiques propres.

L'utilisation de la hauteur (fournie dans la BD TOPO) a été possible par le modèle de balayage par extrusion permettant de représenter des objets dans un espace à trois dimensions. Le principe général des modèles par balayage est de déplacer une surface le long d'une trajectoire. L'expression la plus classique est le balayage simple translationnel. Mais celui-ci ne permet que la prise en compte d'une seule trajectoire, ce qui est insuffisant pour décrire des objets complexes. Le balayage hybride permet de représenter deux entités surfaciques contiguës le long de deux trajectoires parallèles avec des normes différentes. C'est le principe utilisé par ArcView 3D Analyst (Schnell, 2000).

A partir de surfaces en deux dimensions, le logiciel procède à une extrusion le long d'une trajectoire, s'apparentant à un vecteur dont la direction est la verticale absolue et la norme égale à Hmax. S'il reste encore limité pour des objets très complexes, il permet un rendu tridimensionnel appréciable. Cette possibilité a été exploitée pour définir un indice de forme de l'environnement proche des stations de mesure qui puissent permettre les comparaisons entre les sites. Une "surface de visibilité" (figure 6) a été créée qui correspond à la surface visible de la station et délimitée par les façades d'immeubles rencontrées. Un volume a été ensuite construit en utilisant Hmoyen pour aplanir la face supérieure. Plusieurs données quantifiables peuvent ainsi être utilisées, les surfaces, les volumes et leur complémentaires par rapport au volume de référence (Durrenberger, 2000). D'autres indices utilisant la stéréographie sont en développement.

Figure 6 : Coefficient de visibilité



MORPHOLOGIE URBAINE ET RÉPARTITION DES POLLUANTS - 22/02/2001

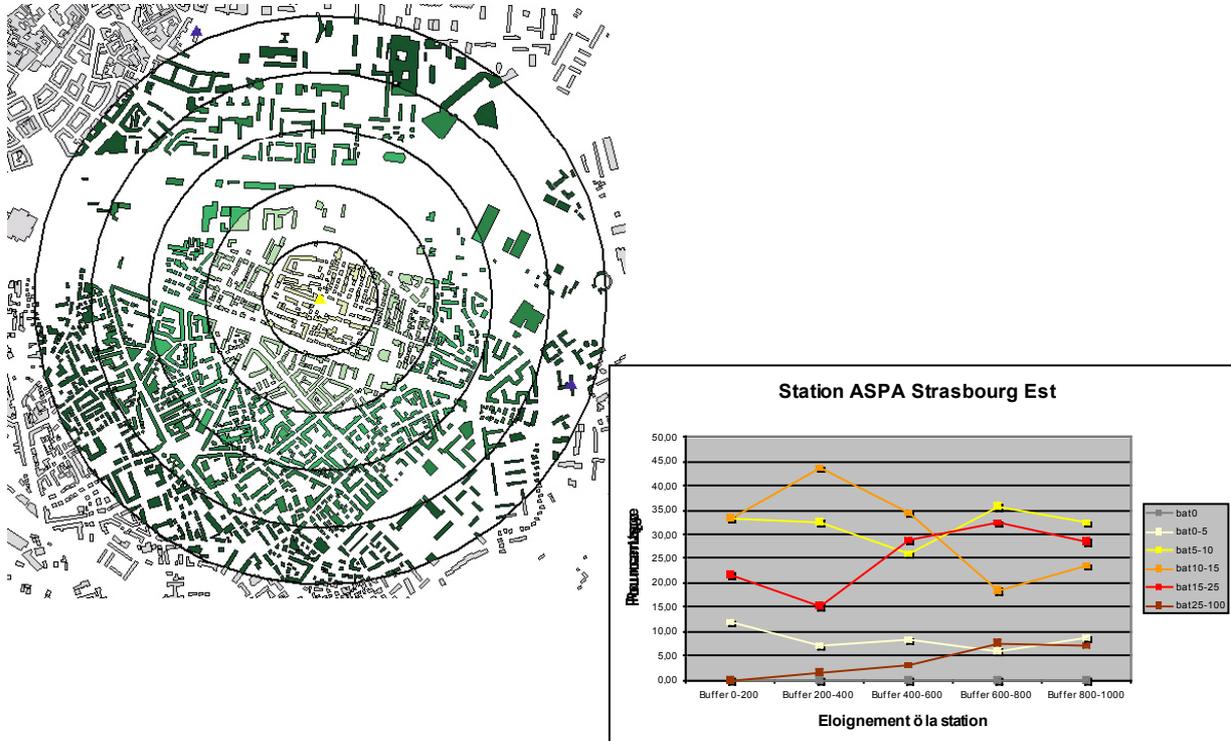
Les cercles concentriques (5 de 200 mètres de large) de densités tout comme les courbes fournissent un aperçu de l'environnement de la station tant en termes d'occupation du bâti que de hauteur de celui-ci. Les hauteurs des différents bâtiments étant connues il est possible là encore de qualifier l'environnement de la station selon le type de paysage qui l'entoure et ses caractéristiques d'homogénéité par exemple (figure 7). Des comparaisons inter-stations sont réalisables.

Le but de cette qualification des sites est de pouvoir confirmer la classification faite lors de leur installation, de pouvoir comparer entre sites de même type les comportements de polluants mesurés et d'extraire des renseignements quantifiés sur l'influence des formes urbaines sur les répartitions de polluants. L'utilisation du volume doit être ici complété par la rugosité de la canopée urbaine, à partir de données de surface et de renseignements sur l'occupation du sol extraits d'images satellites à très haute résolution.

Un dernier volet est en cours de développement, il s'agit de la spatialisé des données mesurées à partir d'images satellites Landsat TM. Les relations entre polluants et en particulier les particules en suspension (fumée noire, MP10 ou PM2,5) sont en cours de test. Certaines applications ont déjà été testées sur Nantes avec succès (Basly, 2000). Mais l'évolution des normes associées aux données mesurées et le faible nombre de station collectant ce type d'informations oblige à trouver des modes d'appréhension alternatifs : comme les pseudo stations. Ce concept revient à définir des stations virtuelles présentant des données satellites similaires à celles qui sont relevées sur les stations concernées. L'hypothèse étant que cette proximité numérique peut permettre d'affiner l'interpolation d'une représentation de la répartition des polluants fondée sur l'image satellite (Ung, 2000). L'analyse des images satellites va permettre d'aborder un autre niveau d'observation, il est évident qu'à

partir des relations qui peuvent exister entre réponses spectrales et polluants atmosphériques, des choix méthodologiques et algorithmiques seront faits. Les prochains travaux devraient porter sur ces relations et les méthodes de spatialisation possibles.

Figure 7 : Environnement de la station Strasbourg EST



5. Conclusions

Un tel projet demande, bien entendu, à être validé. La campagne de validation envisagée pour confirmer les résultats de spatialisation notamment pour les travaux en imagerie doit se dérouler en 2002. Elle devrait permettre ainsi de vérifier les liens entre différents polluants et les données satellites, mais aussi de confirmer le travail de qualification des sites entrepris et de généralisation des localisations potentielles avec des camions laboratoires.

Les différents travaux entrepris se complètent et les interactions entre les niveaux d'observation de ce processus complexe qu'est la répartition des polluants commencent à s'individualiser.

Chaque étape nécessite des approfondissements qu'il va falloir entreprendre sans perdre pour autant de vue les objectifs initiaux. L'interdisciplinarité de ce projet est une des clés de sa forte cohérence. Les ouvertures scientifiques qui apparaissent sont nombreuses, bien entendu, les liaisons avec les phénomènes d'exposition des populations (aspects sanitaires et pathogènes), les liens avec les formes de mobilité tant au niveau des flux automobiles que des déplacements d'individus ou encore les impacts des spatialisations obtenues sur les développements et les aménagements urbains que ce soit du côté des fonctions que des éléments structurants.

Référence

Agence A Européenne, 1997, Towards sustainable development for local authorities. Approaches, experiences and sources. 65 p. + annexes

Basly L., 2000, Télédétection pour la qualité de l'air en milieu urbain. Thèse de doctorat. Université de Nice. 188 p.

Cerciat M., 2000, Evaluation du logiciel STREET 3.1 et hiérarchisation du réseau. Application sur une zone de l'agglomération strasbourgeoise. Mémoire de Maîtrise de géographie. ULP. 90 p + annexes.

Durrenberger M., 2000, La qualification des sites de mesures de la pollution de l'air dans la communauté urbaine de Strasbourg (CUS). Mémoire de Maîtrise de géographie. ULP. 80 p.

Institut de Veille Sanitaire, 1999, Surveillance Epidémiologique Air& Santé. 19 p.

Merlin P., 1994, La croissance urbaine. PUF. 128 p.

Schnell L., 2000, Mise en place et évaluation d'une base de données 3D sur l'emprise de la communauté urbaine de Strasbourg. Rapport de stage DESS ATS. ULP. 60 p. et annexes

Ung A., 2000, Cartographie des polluants atmosphériques à l'aide d'images satellitaires sur la ville de Nantes. Mémoire de DEA Paris VII. 17 p.

Vigneau , 1997, Dans la chaleur de la ville *in Le climat urbain*. Geocarrefour n°4. Lyon. pp 343-349.

Weber C., 2000, Morphologie urbaine et répartition spatiale des polluants : de la rue à l'agglomération. Application à la communauté urbaine de Strasbourg. Rapport intermédiaire de l'ACI Ville. 51 p + figures.