HAL
open science

La qualité de l'air dans les agglomérations françaises : l'exemple des concentrations de dioxyde d'azote

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel

To cite this version:

Christina Aschan-Leygonie, Sophie Baudet-Michel. La qualité de l'air dans les agglomérations françaises : l'exemple des concentrations de dioxyde d'azote. M.F. Mattei, D. Pumain. Données urbaines, 5, Anthropos-Economica, pp.335-349, 2007, Villes. halshs-00150556v2

HAL Id: halshs-00150556

https://shs.hal.science/halshs-00150556v2

Submitted on 17 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La qualité de l'air dans les agglomérations françaises : l'exemple des concentrations de dioxyde d'azote

Article à paraître en 2007 dans une version réduite, dans Données urbaines (Tome 5), collection Villes, Anthropos, Pumain et Mattei (ed), Paris.

Mots-clefs : aires urbaines, France, pollution atmosphérique journalière, dioxyde d'azote, BDQA

L'article met en évidence des types de pollution journalière par le dioxyde d'azote dans 54 villes de plus de 100000 habitants.

Aschan-Leygonie Christina (UMR 5600, Espace, Ville, Société ; ISIG ; Université de Lyon II), Baudet-Michel Sophie (UMR Géographie-Cités ; Université de Paris VII)

Christina.Aschan@univ-lyon2.fr, Sophie.baudet-michel@univ-paris-diderot.fr

La pollution dans les sites urbains est d'abord caractérisée par les niveaux élevés des concentrations de polluants que l'on y rencontre, ceci en raison de la forte densité des émissions dues aux transports et aux activités industrielles et domestiques, comme par exemple le chauffage en hiver. Les polluants sont aussi très nombreux et très divers et les concentrations variables dans l'espace et dans le temps. Malgré une baisse très significative de la pollution de l'air depuis les années 1980, l'air dans les agglomérations est toujours mauvais et constitue un risque réel pour la santé.

Cet article vise à présenter les premiers résultats d'un travail qui a pour objectif de tester l'hypothèse d'une relation entre la pollution atmosphérique et la morbidité respiratoire d'une population dans l'ensemble des villes françaises de plus de 100 000 habitants. Une partie de ce travail consiste à explorer les caractéristiques de la pollution atmosphérique de ces mêmes villes. Ce sont les analyses exploratoires qui ont précédé la construction d'indicateurs complexes de pollution par le dioxyde d'azote dans les agglomérations qui sont présentées ici.

L'objet est de décrire et comparer les villes françaises quant à la concentration journalière de l'air par le dioxyde d'azote. Comment les seuils réglementaires sont-ils respectés d'une ville à l'autre, et à l'intérieur d'une ville, d'un type de station à l'autre ? Comment les villes se différencient-elles au regard des concentrations journalières de dioxyde d'azote ? L'organisation journalière de la concentration de dioxyde d'azote dans l'air différencie-t-elle les villes, autrement dit, les cycles quotidiens de concentration du dioxyde d'azote sont-ils les mêmes partout ?

On décrira d'abord la source d'information à partir de laquelle ont été conduites ces premières analyses et ce sera l'occasion de souligner l'inégale présence des stations de mesure de la pollution de l'air dans les agglomérations françaises. On exposera dans un deuxième temps le comportement des stations et des villes quant au respect des normes de la qualité de l'air. Enfin on présentera les caractéristiques de la pollution journalière par le dioxyde d'azote dans l'espace des agglomérations françaises..

1. L'INEGALE PRESENCE DES STATIONS DE MESURES DANS L'ESPACE URBAIN FRANCAIS

Cet article et l'étude dans laquelle il s'inscrit visent à comparer les caractéristiques de la pollution atmosphérique d'une ville à l'autre. Pour l'appréhender, il est nécessaire de construire pour chaque ville un indice de pollution synthétique, qui résume les caractéristiques générales de la pollution à l'échelle d'une agglomération. Cet indice se construit à partir des mesures de pollution faites au niveau de chaque station.

En France les mesures des concentrations de polluants sont obligatoires depuis le 1er janvier 1998 dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants et on trouve effectivement des capteurs de mesures même dans des villes de taille relativement modeste comme Angoulême, Poitiers, La Rochelle ou Nîmes. C'est pourquoi l'analyse porte sur l'ensemble des agglomérations de plus de 100 000 habitants en 1999. Au total elles sont 54, exception faite de Calais qui présente des mesures de la pollution aux valeurs aberrantes.

L'ADEME centralise la totalité des mesures de pollution effectuées par les Associations Agrées de la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA)[i]. Les associations mesurent les niveaux de concentration de différents polluants et ces mesures sont rassemblées dans la Base de Données de la Qualité de l'Air (BDQA). Ces mesures permettent de connaître heure par heure le niveau de pollution enregistré par les capteurs. La pollution est mesurée à partir de la présence de certaines particules dans l'air : selon leur taille, leur nature, leur concentration dans l'atmosphère. Cette présence de polluants est enregistrée par des capteurs abrités dans des stations de mesures aux localisations géographiques différenciées : proches des principales sources polluantes ou au contraire situées à l'écart de la circulation ou des industries, voire même en zone périurbaine. Il existe deux groupes de stations de mesure en France : les stations dites de fond (urbaine, périurbaine, rurale régionale, rurale nationale) et les stations de proximité (trafic, industrielle) dont font partie les stations d'observation spécifique[ii].

Les stations de mesure sont différenciées en fonction de leur localisation et cette différenciation tient au fait que selon les lieux, les caractéristiques de la pollution ne sont pas les mêmes. Lors de la construction de cet indicateur synthétique de la pollution à l'échelle d'une agglomération, on est donc amené à s'interroger sur la manière de tenir compte des mesures faites au niveau de chaque station. Faut-il retenir l'ensemble des stations et établir une moyenne, une médiane, un nombre de dépassement de seuils ? Faut-il retenir simplement les stations de fond, de proximité ? Si l'on doit tenir compte des deux, de quelle manière les agréger ? en fonction de la surface occupée par chaque type d'espace dans la ville, en fonction de la fréquentation de chaque type d'espace par la population ?

Il convient ici de rappeler que la plupart des études épidémiologiques portant sur le lien entre la pollution de l'air et les pathologies respiratoires et cardiovasculaires, qu'elles soient temporelles, spatiales ou spatio-temporelles, incluent exclusivement des capteurs dits de pollution de fond (Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes 2002), (APHEIS 2000-2001) : les stations urbaines[iii] seules par exemple (Wong and al. 2002), (Huang and Batterman 2000). Ce choix est généralement fondé sur l'hypothèse que les capteurs de stations de proximité n'enregistrent pas des données de pollution type ou moyenne d'une ville et qu'en les utilisant l'exposition des populations à la pollution risque d'être surestimée. Cette définition de la pollution de fond d'une ville vise à éliminer les sources particulièrement polluantes (voies à trafic intense, industries etc.). Pour nous, dans une perspective géographique, ce choix doit être remis en cause : ne serait-ce que pour la simple raison que la population d'une ville n'est pas immobile, ou cantonnée au type d'espace des stations de

fond : elle évolue dans l'espace entre des zones présentant des concentrations variées de polluants dans l'air.

(Boudet, Zmirou et al. 2001) ont cherché à évaluer la pollution urbaine à partir des sites de mesure de pollution de fond (représentés par les stations urbaines) et de proximité (représentés par les stations trafic). Il s'agissait d'évaluer la pollution à laquelle sont soumis les grenoblois quant la présence des petites particules (PM) dans l'air (présence enregistrée par des capteurs fixes (de l'AASQA)). L'étude est fondée sur une comparaison de ces mesures avec celles faites par des moniteurs mobiles portés par des personnes. Les résultats montrent qu'il est pertinent d'inclure les mesures de stations de trafic pour évaluer l'exposition de la population passant une partie de son temps à proximité de sources polluantes.

La notion de pollution de fond telle qu'elle est habituellement définie exprime la contribution de l'ensemble des sources de pollution à distance de sources spécifiques. Or il est vraisemblablement pertinent de tenir compte également des mesures faites à proximité de ces sources pour évaluer l'exposition globale de la population à la pollution atmosphérique. En effet, il nous paraît discutable d'écarter d'emblée les stations de proximité de trafic, au nom d'un principe qui voudrait qu'elles exposent exclusivement les populations habitant à proximité de ces axes. L'exposition d'un individu au dioxyde d'azote dépend largement de sa proximité au trafic de véhicules dans l'espace et dans le temps, étant donné que les sources mobiles sont les contributeurs majeurs à la présence de dioxyde d'azote dans l'air des villes. Ainsi, les concentrations mesurées par un capteur urbain ne refléteront vraisemblablement pas l'exposition des individus au NO2. En effet, les concentrations de NO2 dans l'air urbain sont essentiellement liées à la répartition du trafic, des caractéristiques du bâti et des conditions météorologiques (Rijdners and AL. 2001).

Le deuxième ensemble de question que pose la construction d'indicateur synthétique de pollution à l'échelle des villes dans cette perspective comparative est relatif à l'hétérogénéité de la répartition des types de stations dans l'ensemble de 54 villes. Faut-il construire l'indice de la même manière pour toutes les villes, et cela est-il possible ? En effet, les conditions de localisation des stations de mesure n'ont pas été harmonisées entre les villes, et certaines villes présentent peu de stations de trafic, peu de stations de fond…

Ainsi, lorsque l'on observe la répartition interurbaine des stations selon leur type (Tableau 1), on constate que cette répartition est très hétérogène dans l'ensemble des villes. Ainsi les stations urbaines (relevant de la catégorie des stations de fond) sont assez bien réparties dans l'ensemble des agglomérations, même si les variations entre les villes sont très grandes (coefficient de variation de 105 %). On trouve en moyenne 3,7 stations de fond urbaines dans les villes et seules deux villes en sont dépourvues (Amiens et Calais ; qui seront de ce fait exclues de l'étude). En revanche les stations de fond localisées en zone périurbaine différencient fortement l'espace national puisqu'elles sont absentes des villes du sud-ouest à l'exception de Toulouse (elle-même pourvue d'une seule station).

D'autre part, les stations industrielles (34 villes sont dépourvues de stations industrielles) et de trafic (50% des villes n'ont pas de station de ce type) sont présentes dans un petit nombre de villes (coefficient de variation spatiale de 142 %). A titre d'exemple, des villes aussi importantes que Nancy, Metz, Nice, Toulon, Angoulême, Annemasse, Limoges, Lorient, Maubeuge, Poitiers, Valence, Annecy, Chambéry, Nancy, Nîmes, Saint-Nazaire, Troyes, Bayonne, Caen, Pau, Reims, Dijon sont dépourvues de station d'observation de trafic ! De la même manière les stations d'observations spécifiques, parce qu'elles sont très peu nombreuses et concentrées dans quelques villes (6) différencient beaucoup les villes.

Tableau 1 : Types de stations de surveillance dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants (paramètres des distributions interurbaines en 2001)

Paramètres statistiques	Industrielle	Observation spécifique	Périurbaine	Trafic	Urbaine	Total
Nombre de stations	32	12	57	70	165	336
Ecart-type	3,0	0,6	1,2	2,1	3,9	8,6
Moyenne	1,6	0,2	1,4	1,5	3,7	8,3
Médiane	0	0	1	1	3	6
Coefficient de variation	189,9	345,8	85,6	142,1	105,1	103,0
Nombre d'agglomération sans station	34	48	13	20	2	0

Cette variabilité et la très faible densité des capteurs dans certaines agglomérations rendent délicate la caractérisation de la pollution de certaines villes et les comparaisons devront être abordées avec beaucoup de précautions. On gardera donc présent à l'esprit, dans les tentatives d'interprétation, l'hétérogénéité de l'équipement des aires urbaines en capteurs de mesures de la pollution.

Nous avons choisi de retenir exclusivement les stations urbaines de fond[iv] et de trafic[v] entre le 1er janvier 1998 et le 31 décembre 2001. Les analyses tiennent compte séparément des stations de trafic et urbaine, mais aussi en les agrégeant.

Nous avons éliminé les stations périurbaines, industrielles et d'observation spécifique car des analyses menées en parallèle sur la construction d'indicateurs complexes de pollution montrent qu'elles peuvent être sources de distorsions considérables dans l'évaluation du niveau de la concentration du dioxyde d'azote à l'échelle d'une agglomération. Au cours de ce travail exploratoire, nous observons donc 233 stations distribuées dans 53 aires urbaines : 68 stations de trafic et 165 stations urbaines.

Pour comprendre les variations spatio-temporelles de la pollution atmosphérique urbaine, nous avons choisi de présenter l'étude de la concentration d'un polluant, le dioxyde d'azote (NO_2) qui est un polluant dérivé en grande partie de l'oxydation de NO. Trois raisons nous ont conduites à observer la concentration du dioxyde d'azote dans l'air.

Tout d'abord, le NO_2 est identifié comme une des particules participant à l'apparition de certaines pathologies, en particulier respiratoires. Les expérimentations en environnement contrôlé d'exposition d'individus ont depuis longtemps mis en évidence les effets nocifs immédiats de NO_2 sur la respiration (Folinsbee 1992). Les études épidémiologiques ont globalement aussi mis en valeur une association entre les concentrations de NO_2 dans l'air et un ensemble pathologies (Stieb and al. 2002) (Sunyer, Spix et al. 1997).

Les concentrations de NO_2 dans l'air suivent globalement le rythme de la pollution de l'air par ce polluant suit les heures de pointes du trafic urbain. La présence de ce polluant dans les agglomérations est en grande partie imputable à la circulation automobile, environ 70% en France (ADEME) et constitue donc la source principale de la pollution atmosphérique urbaine. Les niveaux de NO_2 sont donc considérés comme un bon marqueur de l'exposition des individus aux émissions provenant du trafic. Par ailleurs, le dioxyde d'azote est également sujet à des transformations qui conduisent à la formation d'oxydants chimiques toxiques (comme l'ozone) et l'acide nitrique. Ces polluants contribuent de façon significative à la masse des particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$). Pour ces raisons le dioxyde d'azote est un précurseur clé d'un ensemble de polluants dont les effets nocifs sur la santé et l'environnement sont assez bien connus.

Notre choix s'est aussi porté sur ce polluant car c'est l'un des mieux surveillés en France : au total dans les 54 agglomérations de plus de 100 000 habitants il y a 336 capteurs qui mesurent les concentrations du NO_2.

2. UNE PREMIERE APPROCHE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS LES VILLES FRANÇAISES : LE RESPECT DES NORMES DE LA QUALITE DE L'AIR

Les normes de qualité de l'air sont propres à chaque polluant ; elles sont révélatrices du niveau de la pollution atmosphérique d'une ville et c'est en tant que telles qu'elles sont présentées ici. Ces normes ont été introduites dans la législation européenne dans l'objectif d'évaluer et d'améliorer la qualité de l'air. Elles indiquent les concentrations qui ne doivent pas être dépassées compte tenu des effets sur la santé publique, mais aussi et surtout des effets sur les écosystèmes. En théorie une des raisons d'établir et de faire respecter ces normes est d'atteindre des niveaux de pollution si faibles qu'ils n'affectent pas de manière significative la santé humaine et l'état des écosystèmes. En pratique, ces normes ont été établies à un niveau qui tient également compte de la possibilité pratique (surtout économique) de réellement atteindre ces niveaux normatifs. Dans une perspective d'amélioration de la qualité de l'air sur le long terme, des objectifs sont prévus à moyen et long terme : ainsi, à titre d'exemple, l'objectif de qualité européen pour le dioxyde d'azote correspond à une moyenne annuelle de 40 µg/m³ pour 2010.

Les normes françaises relatives à la qualité de l'air dépendent des directives de l'Union européenne. Ces directives sont des directives minimales : ce qui signifie que les pays peuvent adopter des normes plus sévères, mais pas plus permissives. L'Union européenne peut mettre en place des sanctions en cas de non respect de ces normes et les directives imposent que les normes soient transcrites dans le droit français dans des délais qui vont de une à plusieurs années.

Actuellement trois types de normes servent de référence pour évaluer la qualité de l'air en termes de NO_2 (Tableau 2) : ce sont les valeurs guides, les valeurs limites et les seuils d'alertes. Voyons ici comment sont respectées ces normes dans les agglomérations françaises. A cette fin, nous rapportons le nombre de fois où une valeur est dépassée, au nombre total de mesure horaires de la station entre janvier 1998 et janvier 2002.

Tableau 2 : Les normes de la qualité de l'air dans l'Union européenne et en France pour les dépassements horaires du dioxyde d'azote

Type de valeurs	Paramètres	En µg/m³
Valeurs guides	Moyenne sur 1 heure à ne pas dépasser plus de 50 % du temps	50
	Moyenne sur 1 heure à ne pas dépasser plus de 175 heures par an soit 2 % du temps	135
Valeurs limites	Moyenne sur 1 heure à ne pas dépasser plus de 175 heures par an soit 2 % du temps	200
Seuil d'alerte	Moyenne sur 3 heures	200[(1)] 400

[(1)] Sur prévision suite à 2 jours de dépassement du seuil à 200 µ/m³

1.1. La valeur guide 50 µg/m³ : dépassements fréquents partout, mais en particulier à Paris, Marseille, Nice

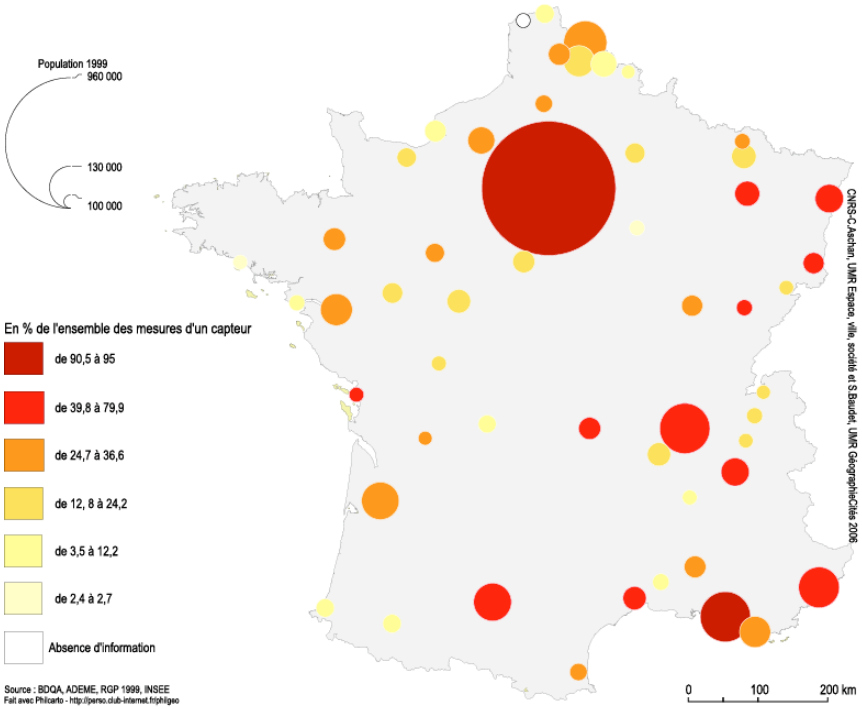
Deux valeurs guides sont actuellement en vigueur en France : la moitié des moyennes horaires doit être inférieure à 50 µg/m³, et 98% des moyennes horaires ne doivent pas dépasser 135 µg/m³.

Commençons par la norme la plus permissive. Nous allons constater qu'elle est peu respectée. En effet, 23 (sur 233 soit 10%) des stations urbaines et de trafic dépassent cette norme de 50 µg/m³ pendant plus de la moitié des heures entre 1998 et 2001. Ces stations sont en grande majorité des stations de trafic (15, contre 8 urbaines) : on les trouve notamment à Paris (11 des 29 capteurs), Marseille (3 capteurs sur 20) et Nice (3 capteurs sur 9). Lyon ne figure qu'avec un capteur (signalons ici le dysfonctionnement de tout le système de mesure lyonnais entre février et octobre 1999 ; une période pendant laquelle aucune donnée est fournie par la Coparly[vi]).

Parmi ces 23 capteurs, six capteurs trafic (Plombières, dans le centre de Marseille ; quatre stations parisiennes : à proximité de l'autoroute A1 à Saint-Denis, à la porte d'Auteuil, Place Victor Basch, à proximité de la nationale 4 à Joinville-le-Pont ; le capteur Saint-Denis à Montpellier) enregistrent un dépassement cette valeur guide les trois quarts du temps (plus de 75 % des moyennes horaires) et deux stations plus de 89 % des moyennes horaires : pourtant, on sait que l'exposition répétée à ces seuils est explicitement signalée par l'UE comme dangereuse pour la santé.

La Figure 1 présente la répartition interurbaine du nombre de dépassements de la valeur guide (50 µg/m³). On a sélectionné pour chaque ville le capteur pour lequel les dépassements sont les plus fréquents entre 01.01.98 et 31.12.01. Ces dépassements sont très nombreux à Paris, Marseille, Montpellier, Nancy, Grenoble, Clermont-Ferrand, Nice, Nîmes, Toulouse. Ces dépassements sont peu fréquents à Brest, Rouen, Saint-Nazaire, Bayonne, Pau, Dunkerque, Valenciennes. Aucun lien n'apparaît entre la fréquence des dépassements et la taille des villes dans l'ensemble considéré, pourtant on peut noter que les dépassements sont fréquents dans de grandes villes (Paris, Lille, Lyon, Marseille, Nantes, Toulouse, Nice). Mais on observe aussi que des villes de taille modeste apparaissent avec une proportion non négligeable de moyennes horaires de NO2 supérieures à 50 µg/m³ : ainsi en est-il de Besançon avec 47 %, Amiens avec 30 %, Perpignan 29 %, Angoulême avec 27 %, Poitiers 20 % etc. Enfin, on notera que les villes, hormis Paris et Nancy, dans lesquelles les dépassements sont les plus fréquents sont des villes du quart sud-est de la France.

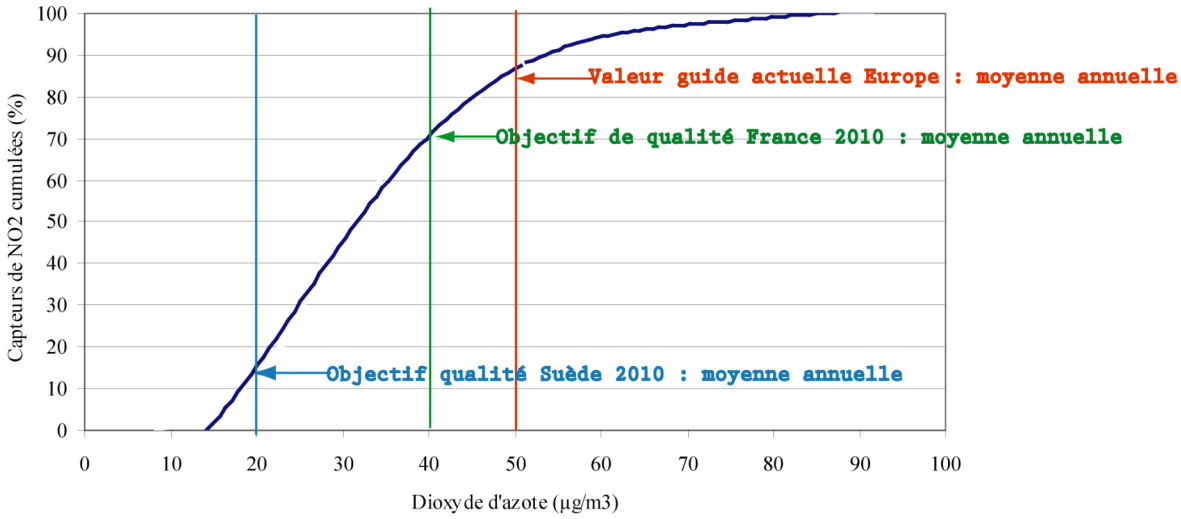
Figure 1 : Le dépassement des normes réglementaires des agglomérations entre janvier 1998 et décembre 2001 (les résultats correspondent au capteur pour lequel les dépassements sont les plus fréquents)



Ce rapide examen du respect de la norme française la plus permissive met en exergue la médiocrité de la qualité de l'air urbain en France : en effet, si l'on tient compte de la valeur guide donnée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), soit une moyenne annuelle de 40 µg/m³, la situation est peu encourageante : en ce début de 21e siècle, 30 % des stations de mesure françaises de type urbain ou de trafic enregistrent une moyenne annuelle supérieure à 40 µg/m³ et seules 10 % des stations ne dépassent pas 20 µg/m³ plus de la moitié du temps.

Une comparaison entre les objectifs normatifs français et suédois pour 2010 souligne la faiblesse des ambitions françaises : atteindre un niveau de dépassement pour la moitié des heures inférieur à 40 µg/m³ en France contre 20 µg/m³ en Suède.

Figure 2 : Courbe cumulée des concentrations de dioxyde d'azote en 2001 mesurées par les capteurs urbains et trafic de dioxyde d'azote des agglomérations de plus de 100 000 habitants et quelques seuils réglementaires



1.2. La valeur guide 135 µg/m³ : quelques dépassements à Paris, Marseille, Lyon Montpellier et Toulouse

Cette deuxième valeur guide (les concentrations supérieures à 135 µg/m³ ne doivent pas être dépassées plus de 2 % du temps), plus permissive est beaucoup mieux respectée : en effet, seules une douzaine de stations (4,5 % d'entre elles) dépassent ce niveau plus de 2 % du temps entre janvier 1998 et janvier 2002. Ce niveau de dioxyde d'azote dans l'air correspond à une très forte pollution : il occasionne une gène immédiate et considérable, en particulier chez les sujets les plus sensibles à la présence de polluants dans l'air. Seulement cinq villes sont concernées : Paris, Marseille, Lyon, Montpellier et Toulouse. Parmi la douzaine de stations qui dépassent cette norme, 4 stations de trafic enregistrent des dépassements pendant plus de 130 heures sur les 4 ans : le capteur Plombières à Marseille, les capteurs Place Victor Basch et Boulevard périphérique à Auteuil à Paris et Saint-Denis à Montpellier.

1.3. Au-delà des valeurs guides, qu'en est-il de la valeur limite et le seuil d'alerte ?

La valeur limite horaire est de 200 µg/m³ : elle ne doit pas être observé plus de 175 fois dans l'année dans une station. Le dépassement des valeurs limites impose aux pouvoirs publics d'informer les populations dites à risque.

La valeur limite de 200 µg/m³ en moyenne horaire est très rarement dépassée. Entre le 1er janvier 1998 et le 31 décembre 2001 un seul capteur (Saint-Denis au centre de Montpellier) est dans cette situation plus de 2 % du temps (539 heures). Plombières dans le centre de Marseille dépasse la valeur limite pendant 385 heures, soit 1,3 % des heures sur les quatre années. Il est étonnant de constater que trois stations de mesure parisiennes particulièrement polluées viennent loin derrière (entre 125 et 162 dépassements horaires sur 4 ans, c'est-à-dire moins de 0,5 % du temps) (Place Victor Basch, Boulevard périphérique à Auteuil et l'autoroute A1 à Saint-Denis).

Ainsi, la valeur limite, particulièrement importante pour les populations fragiles, paraît assez bien respectée : autant dans les agglomérations de grande taille que dans celles où la

pollution par dioxyde d'azote est favorisée par les caractéristiques du site (topographie, les caractéristiques du trafic routier ou par la nature des spécialisations économiques…).

Enfin, les seuils d'alerte impliquent la mise en place de mesures d'urgence de réduction de la pollution. Ces seuils ne doivent légalement pas être dépassés plus de trois heures d'affilée et, dans le cas contraire, imposent d'engager des actions de prévention (réduction de vitesse pour les véhicules, circulation alternée...). Pour le dioxyde d'azote le seuil d'alerte s'élève à 400 µg/m³ et est dépassé au moins une fois sur l'ensemble de la période étudiée dans quinze stations localisé dans Paris, Marseille, Bordeaux, Montpellier, Perpignan, Besançon, Brest, Saint-Nazaire et Douai-Lens.

Hormis dans les très grandes agglomérations, les valeurs limites sont respectées, tandis que la valeur guide française 50 µg/m³ est fréquemment dépassée dans quelques agglomérations.

Pourtant, en termes de santé publique, le dépassement de ces valeurs guides ne semble pas sans danger pour les populations fragiles : en effet, pour l'instant aucune étude n'a permis de prouver qu'il existe des seuils de concentrations en dessous desquels aucun effet sanitaire de la pollution est observé pour des populations particulièrement fragiles (personnes asthmatiques ou âgées, nourrissons…) ; au contraire, il semble que le NO_2 réagit en effet à la présence d'autres polluants, s'y recombine pour produire des polluants secondaires (comme l'ozone) aux effets sanitaires négatifs (WHO 2003). De ce fait il nous paraît important de souligner que des concentrations ambiantes situées en dessous des valeurs réglementaires existantes n'impliquent pas nécessairement une absence de risque.

Le nombre de dépassements de ces seuils et les moyennes annuelles brossent une vision très synthétique des différenciations interurbaines de la pollution par le NO_2. C'est pourquoi il est nécessaire de compléter ce premier tableau par une approche plus détaillée.

3. LE DIOXYDE D'AZOTE DANS LES VILLES FRANÇAISES : LES DIMENSIONS DE LA DIFFERENCIATION INTERURBAINE DE LA POLLUTION A L'ECHELLE D'UNE JOURNEE

Un aspect important des caractéristiques de la pollution de l'air urbain est la variabilité de ces concentrations à plusieurs échelles de temps : les échelles annuelles, saisonnières ou quotidiennes. C'est l'échelle quotidienne qui retiendra ici notre attention. L'objectif de cette troisième partie est donc de mettre en évidence les dimensions de la différenciation des villes quant à la pollution atmosphérique journalière par le dioxyde d'azote.

Le cycle quotidien de la pollution par le dioxyde d'azote et l'ampleur de ses variations sont peu étudiés. Pourtant, la particularité du profil de la présence du dioxyde d'azote dans l'air, qui présente un double cycle au cours de la journée, avec des pics matinaux et de fin de journée, nous paraît importante à appréhender : l'amplitude journalière peut aller de 45 à 90 µg/m³ dans certaines villes.

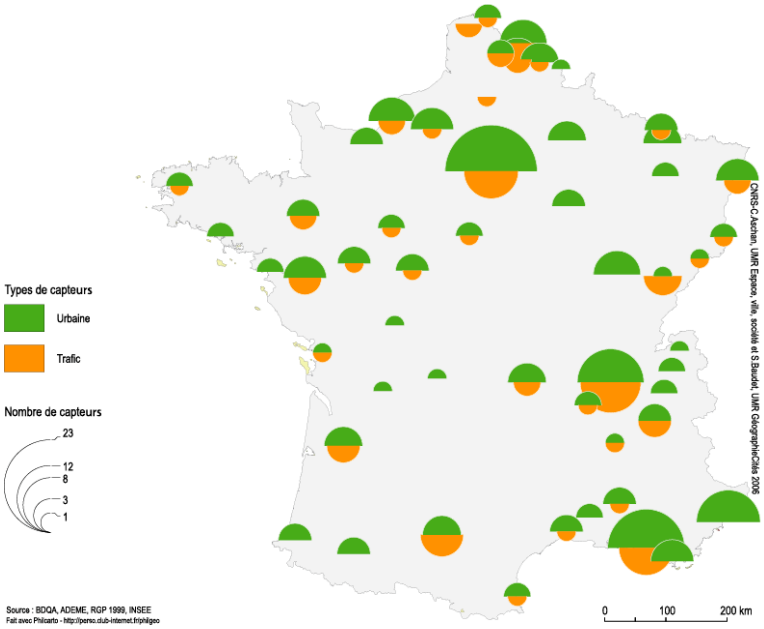
En ce qui concerne l'évolution sur le long terme de la répartition du dioxyde d'azote dans l'air, une publication récente (IFEN 2006) fait état de la stabilité de l'indice de pollution atmosphérique dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants depuis 2000. Les tendances que nous observons à partir de notre base, sur l'évolution des concentrations de dioxyde d'azote entre 1998 et 2002 s'inscrivent dans cette tendance à la stabilité. Seules quelques stations montrent de légères tendances, tantôt à l'augmentation, tantôt à la diminution du dioxyde d'azote dans l'air. Les résultats nous signalent que les différenciations journalières des niveaux de pollution sont plus fortes que les différenciations saisonnières, mensuelles ou même quotidiennes.

Dans cette phase exploratoire, nous avons donc choisi de résumer l'information contenue dans le tableau des mesures horaires des trois cents stations pour le millier de jours de la période 1998-2001 en élaborant des indicateurs simples et très agrégés dans le temps, Nous avons choisi de travailler sur un résumé de la période qui représente une sorte de journée 'type', et qui indique pour chaque station, heure par heure, un niveau moyen résumant la situation de l'ensemble des journées de la période. Ce choix résulte aussi de la volonté de minimiser l'influence des variations météorologiques saisonnières ou annuelles sur le niveau de la pollution : ces variations sont ainsi considérablement « lissées » afin de produire ce qui nous semble être un résumé pertinent à cette échelle. Quatre années nous ont semblé suffisamment longues pour que les résultats ne soient pas affectés par les situations exceptionnelles.

La méthodologie de ce travail est centrée sur deux analyses en composantes principales normées effectuées sur les moyennes horaires de chaque agglomération, à partir des stations urbaine, d'une part, et des stations trafic, d'autre part, pour la période du janvier 1998 au décembre 2001.

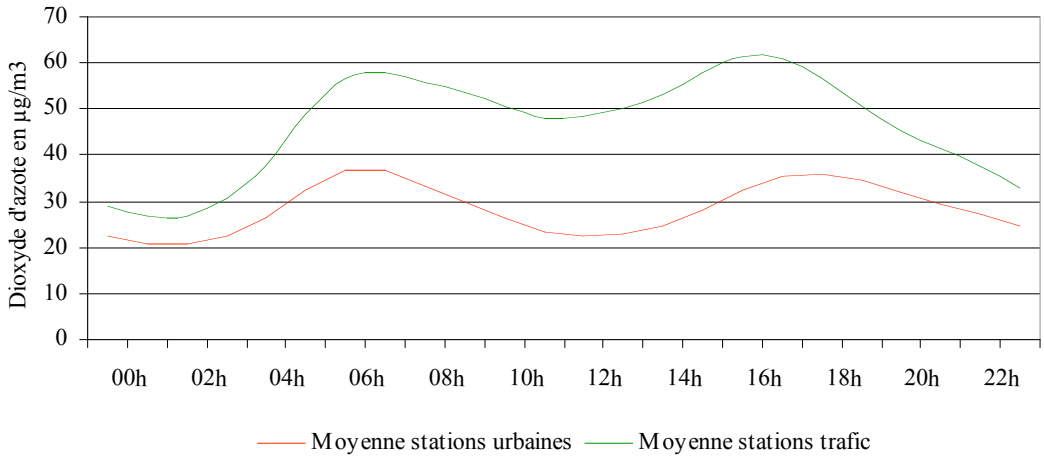
Nous avons choisi ici de travailler à partir des analyses des stations urbaines et de trafic séparément afin de comprendre si ces deux types de stations différencient les villes de la même manière. Ce choix permet aussi de construire des indicateurs comparables d'une ville à l'autre : en effet, étant donné, l'hétérogénéité de la répartition des types de station dans l'espace des villes, construire des indicateurs synthétiques reposant sur une agrégation des mesures dans les stations urbaines et de trafic, conduirait à construire des indicateurs incomparables car reposant sur des échantillons de types de stations différents d'une ville à l'autre. Les stations urbaines introduites dans l'analyse sont localisées dans 49 agglomérations au total (Amiens, Calais, et Dunkerque sont dépourvues de stations urbaines, et les stations de Montbéliard et Valence ont été ouvertes trop tardivement pour être représentatives de la période analysée). Les stations trafic sont localisées dans 29 agglomérations au total (Figure 3 : Répartition des capteurs de mesure du dioxyde d'azote de type urbain et trafic dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants en 200.

Figure 3 : Répartition des capteurs de mesure du dioxyde d'azote de type urbain et trafic dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants en 2001



Les courbes moyennes de concentration moyennes horaires du dioxyde d'azote dans les stations urbaines, d'une part, et dans les stations de trafic, d'autre part, montrent qu'il existe des écarts importants entre le comportement des stations urbaines et de trafic : ces écarts sont particulièrement significatifs pour les concentrations moyennes diurnes, alors que les écarts nocturnes (22 heures jusqu'à 4 heures du matin) sont plus faibles : les concentrations de dioxyde d'azote dans l'air ans à proximité des voies à trafic intense reflètent de manière assez attendue les variations du trafic routier : ainsi, l'amplitude journalière des moyennes horaires des stations de trafic est beaucoup plus marquée que celles des stations urbaines .

Figure 4 : Concentrations moyennes de dioxyde d'azote dans les stations de trafic et les stations urbaines (de janvier 1998 au décembre 2001)



En général, les concentrations présentent un maximum en début de matinée : ceci s'explique à la fois par la stabilité de l'atmosphère (dû au refroidissement nocturne), et par l'intensité des émissions liées à l'intensité du trafic automobile de début de journée. Un

deuxième maximum apparaît en fin de journée, vers 17h, alors que le trafic automobile augmente à nouveau et que le sol commence à se refroidir. Ces pics quotidiens peuvent être masqués en période de brume ou de brouillard persistants, ou lorsque les niveaux de pollution restent élevés toute la journée. Ce schéma général, de deux pics de même ampleur dans les stations urbaines et un pic principal dans l'après-midi et un secondaire le matin dans les stations trafic, doit être nuancé car il y a des variations considérables selon les agglomérations.

3.1. DIVERSITE DES SITUTATIONS DES VILLES QUANT AU NIVEAU DE LA POLLUTION

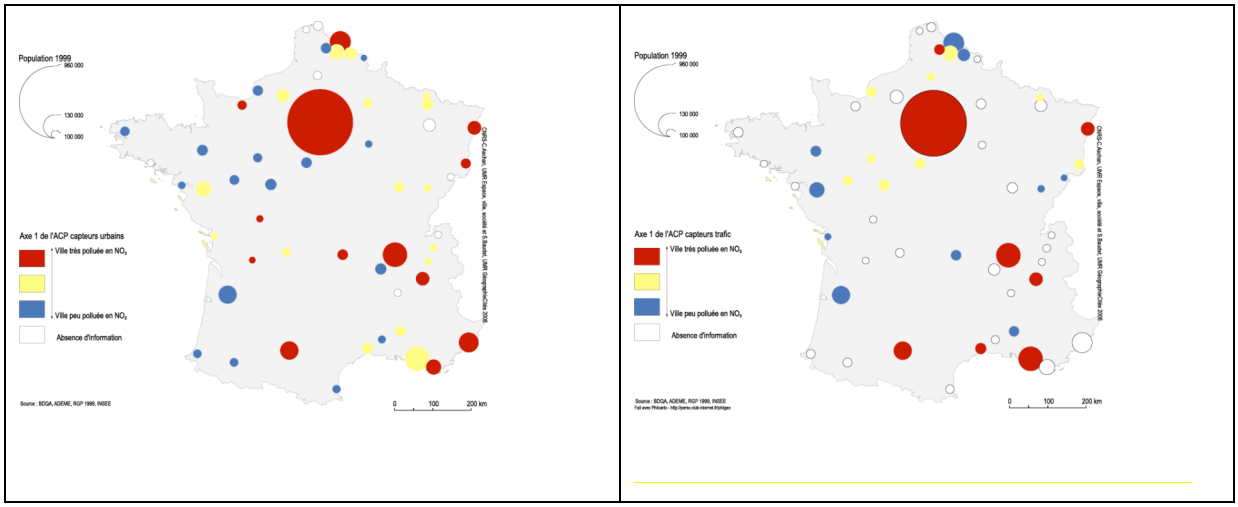
La première dimension mise en lumière par l'analyse en composantes principales est sans surprise une très forte opposition interurbaine quant aux moyennes des concentrations horaires, que l'on observe les stations de trafic ou les stations urbaines.

L'analyse relative aux stations urbaines montre que Paris, Lyon, Lille, Caen, Mulhouse, Strasbourg, Grenoble, Toulouse, Toulon, Nice, Poitiers, Angoulême se présentent comme des agglomérations avec une pollution sur la période particulièrement forte Figure 5 a et b : Intensité de la pollution par le NO_2 (résultats de deux ACP sur les moyennes horaires du 1.1.98 au 31.12.01).. A Paris, Lyon, aux heures de pointe la moyenne horaire se situe entre 50 et 60 µg/m³. Ces moyennes sont très au-dessus de la moyenne générale des villes qui est d'environ 35 µg/m³ en matinée et fin de journée. En revanche, dans les agglomérations de l'ouest et du sud-ouest (Bordeaux, Le Havre, Rennes, Bayonne, Pau), on observe des concentrations relativement faibles à l'image de Saint-Nazaire, Lorient et Brest où la moyenne de NO_2 sur la période se trouve en dessous de 30 µg/m³ aux heures de pointe et proche de 10 seulement au milieu de la journée et la nuit. Une forme de régionalisation apparaît, avec à l'ouest et au sud-ouest une majorité de villes au niveau de pollution horaire faible sur l'ensemble de la période, et à l'est, quelques zones où les villes ont des niveaux plutôt élevés : Rhône-Alpes, Alsace, Provence Alpes Côte d'Azur.

L'analyse de l'ensemble des stations de trafic par agglomération met en évidence une très forte concentration à Paris, qui dépasse de loin celle des deux agglomérations suivantes, Grenoble et Lyon (Figure 5 a et b : Intensité de la pollution par le NO_2 (résultats de deux ACP sur les moyennes horaires du 1.1.98 au 31.12.01).. A proximité des axes à fort trafic dans l'agglomération parisienne les moyennes en heure de pointe, sur les quatre années, avoisinent 90 µg/m³. Une situation similaire est observée à Grenoble en fin d'après-midi (entre 16 et 18 heures). Les villes au niveau de pollution horaire moyen élevé sur la période sont Paris, Strasbourg, Lyon, Nice, Toulon, Toulouse, Grenoble, Béthune ; à l'opposé les villes dans lesquelles les niveaux sont faibles sont Lille, Valenciennes, Douai, Dunkerque, Rennes, Nantes, La Rochelle, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Valence. Les villes immédiatement à l'ouest du bassin parisien sont en position intermédiaire, alors qu'elles apparaissaient comme peu polluées pour les stations urbaines. Comme pour les stations urbaines, les villes qui présentent les moyennes les plus faibles sont souvent les villes sur la façade maritime atlantique : il est probable que cette organisation géographique est lié à la meilleure ventilation des villes de la façade atlantique.

Figure 5 a et b : Intensité de la pollution par le NO_2 (résultats de deux ACP sur les moyennes horaires du 1.1.98 au 31.12.01).

a) Stations urbaines (part de l'inertie de l'axe 74,3 %) b) Stations trafic (part de l'inertie de l'axe 76,1 %)



Cette opposition entre villes aux niveaux plutôt élevés et villes aux niveaux plutôt faibles s'observe autant pour les stations de trafic que pour les stations urbaines. Même si les positions de quelques villes changent dans la hiérarchie d'ensemble, globalement, cette première dimension de la différenciation entre les villes est similaire pour les stations de trafic et les stations urbaines. Signalons toutefois quelques villes pour lesquelles se produit une inversion de situation : Lille et Clermont-Ferrand sont parmi les villes les plus polluées quant aux moyennes des mesures faites par des capteurs urbains, alors qu'elles apparaissent très peu polluées par rapport à l'ensemble des villes si l'on tient compte des mesures faites dans des stations de trafic. L'inverse est observé pour Marseille qui pour les mesures de trafic affiche des concentrations moyennes élevées pendant les 24 heures de la journée, mais modérées par rapport à l'ensemble des villes lorsque l'on s'en tient aux stations urbaines.

Ces différences des niveaux moyens de concentrations de dioxyde d'azote dans les villes dépendent de trois facteurs essentiellement. L'importance des sources d'émission, en particulier l'intensité du trafic, des facteurs favorisant ou non la dispersion des polluants (type de site, conditions météorologiques), ainsi que l'importance de l'ensoleillement qui transforme le dioxyde d'azote en ozone.

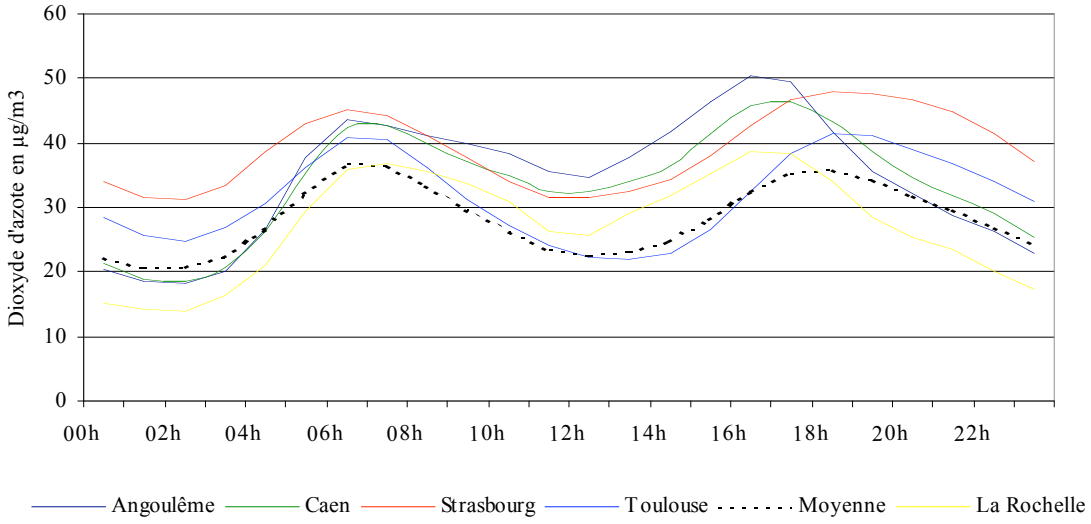
3.2. DEUXIEME DIMENSION DE LA DIFFERENCIATION INTERURBAINE : UNE OPPOSITION NUIT/JOUR DANS LES BAS NIVEAUX DE POLLUTION

La deuxième dimension (15,4 % de l'inertie) de la différenciation interurbaine de la pollution horaire, mesurée par les capteurs urbains, tient au niveau des creux diurne et nocturne de la pollution par NO_2. En effet, il existe deux creux très nets (autour de 2h du matin, et 13h ; voir encadré 1) dans le profil quotidien de la concentration de ce polluant dans l'ensemble des villes. Or ces creux sont plus ou moins accentués selon les villes.

Dans un premier ensemble des villes (**Figure 6 : Profil quotidien moyen des agglomérations avec des pollutions de dioxyde d'azote particulièrement faibles la nuit (Angoulême, Caen, Strasbourg) et celle avec un creux prononcé au milieu de la journée** le niveau du creux nocturne est bas, inférieur à la moyenne des villes (20 µg/m³ au lieu de 25 µg/m³) ; en revanche, le niveau du creux diurne est supérieur à celui de l'ensemble des villes (30 µg/m³ au lieu de 28 µg/m³). Ces villes (La Rochelle, Brest, Caen, Poitiers, Angoulême,

Lorient…) sont très majoritairement des agglomérations des littoraux et de l'ouest de la France (à l'exception de Nancy).

Figure 6 : Profil quotidien moyen des agglomérations avec des pollutions de dioxyde d'azote particulièrement faibles la nuit (Angoulême, Caen, Strasbourg) et celle avec un creux prononcé au milieu de la journée (Toulouse)

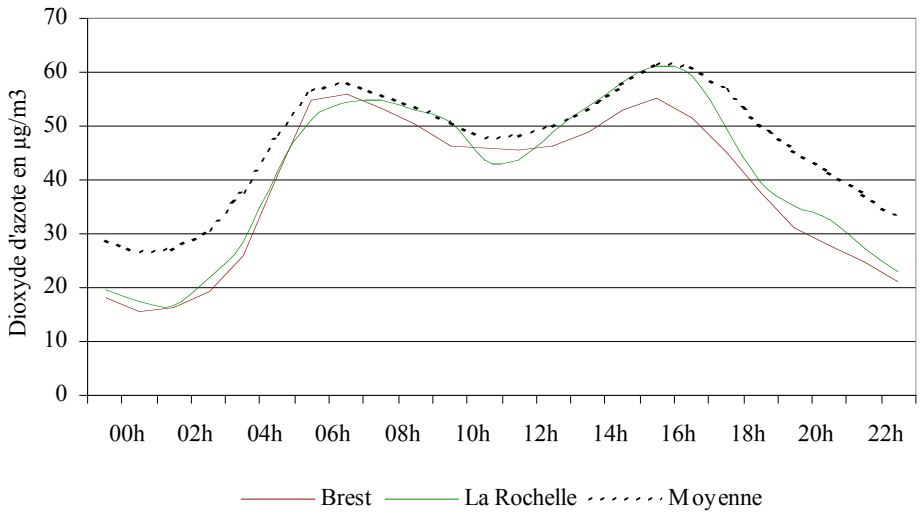


A l'opposé, on trouve des villes aux concentrations nocturnes fortes (entre 25 à 40 µg/m³ pour des villes types comme Strasbourg et Toulouse), par rapport à l'ensemble des agglomérations (figure 5), et relativement à l'ensemble des concentrations faibles pendant le creux de la journée (entre 10 h et 16 h en général). Dans cet ensemble on trouve des villes de grande taille (Paris, Lyon, Marseille, Nice, Bordeaux, Toulouse….), des agglomérations dont les sites favorisent la stagnation de polluants (Grenoble, Rouen, Metz, Strasbourg par exemple), des villes du Nord (Lille, Thionville, Béthune, Douais-Lens, Valenciennes). Ainsi, dans ces villes, la nuit, alors même que l'activité est réduite au minimum, la pollution ne se dissipe pas de façon significative. Dans l'ensemble, ces agglomérations ont des concentrations nocturnes proches, voire plus importantes, que les concentrations du creux diurne (entre 10 heures et 14 heures).

Cette opposition interurbaine nette entre le niveau des concentrations diurnes ou nocturnes s'observe aussi pour les stations trafic (13,5 % de l'inertie), avec cependant une différence notable en ce qui concerne la journée : pour les stations trafic c'est la matinée (7 à 8 heures) et le début de l'après-midi entre 14 et 16 heures qui sont significatives, même si la journée dans son ensemble (6 heures à 17 heures) s'oppose à la période nocturne (20 à 4 heures).

On retrouve aussi globalement la même organisation spatiale : les agglomérations de l'ouest ont des concentrations relativement importantes pendant la journée et une baisse forte la nuit (Brest et la Rochelle (Figure 7) : les courbes sont proches de la moyenne, mais avec des concentrations beaucoup plus faibles la nuit. Les pics du matin, de l'après-midi ainsi que le creux au milieu de la journée apparaissent donc relativement très forts par rapport aux moyennes nocturnes, bien en dessous des concentrations moyennes.

Figure 7 : Profil quotidien moyen des villes atlantiques : l'exemple de la pollution de proximité à Brest et à La Rochelle. Moyennes horaires de dioxyde d'azote des stations trafic sur la période 01.01.98 au 31.12.01



3.3. TROISIEME DIMENSION DES DIFFERENCIATIONS : LE MOMENT DU PRINCIPAL PIC DE POLLUTION

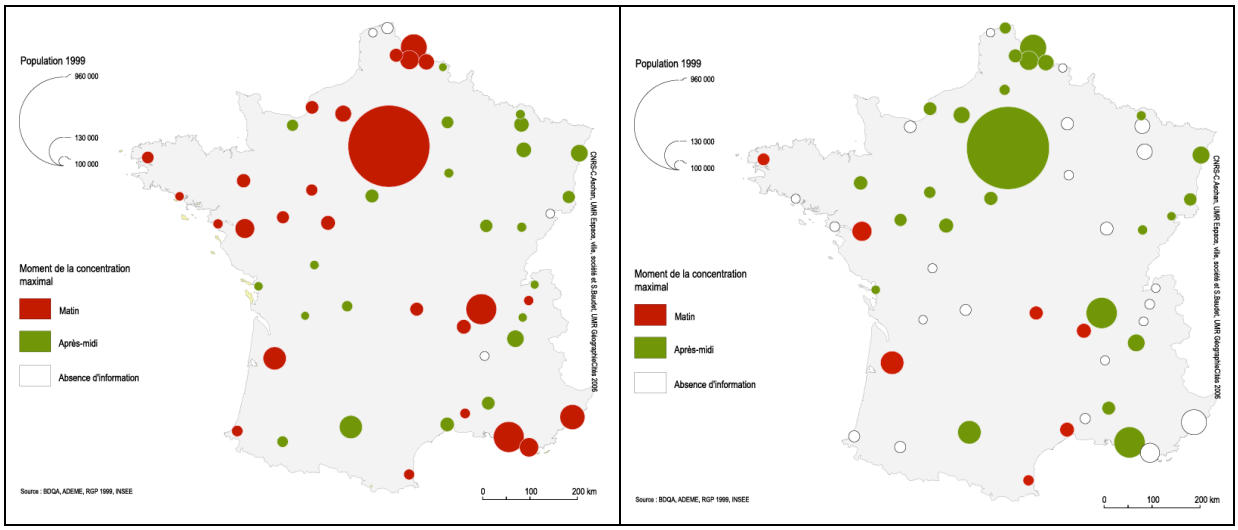
La troisième dimension (8,3 % de l'inertie totale pour les mesures dans les stations urbaines et 9,5 %) de la différenciation interurbaine de la répartition horaire du dioxyde d'azote dans les villes françaises est relative aux rythmes d'évolution du polluant dans la journée. Les pics quotidiens de concentration de dioxyde d'azote n'apparaissent que sur le troisième axe factoriel de l'analyse en composantes principales. Pour les agglomérations françaises les minima quotidiens sont donc plus discriminants que les maxima. En effet, sur le troisième axe s'affiche une opposition entre les villes selon le moment d'apparition des pics et leur durée : cette troisième dimension permet de distinguer trois types de profils.

Si l'on regarde les résultats à partir des mesures dans les stations urbaines, une première distinction concerne le moment de la journée où le pic principal apparaît.

Dans la moitié des agglomérations le pic principal se manifeste le matin, vers 6-7 heures, et dans l'autre moitié, en fin de journée autour de 17-18 heures. La différence de niveau entre les deux pics est dans certaines agglomérations très importante (ainsi à Toulon vers 6-7 heures du matin on observe des concentrations moyennes de 54 µg/m³, alors que le maximum de l'après-midi ne s'élève en moyenne qu'à 39 µg/m³). La Figure 8 a et b : Moment du pic maximal de dioxyde d'azote dans la journée : capteurs urbains (a) et trafic (b) montre la répartition spatiale du moment de l'apparition des pics de pollution et met en évidence une nette prédominance des pics matinaux dans les agglomérations de grande taille. Parmi les agglomérations de plus de 500 000 habitants seule Toulouse fait figure d'exception à cette règle.

Par ailleurs, des oppositions régionales apparaissent. Les villes du nord, du nord-ouest et du sud-est sont caractérisées par des maxima quotidiens matinaux. En revanche, dans le nord-est de la France ce sont les pics de fin d'après-midi qui affichent l'intensité la plus forte.

Figure 8 a et b : Moment du pic maximal de dioxyde d'azote dans la journée : capteurs urbains (a) et trafic (b)



La situation des moyennes horaires calculées à partir des mesures faites dans des stations urbaines de quatre villes par rapport à la moyenne permet d'illustrer ces trois différents types des agglomérations (Figure 6).

Strasbourg et Toulouse montrent un décalage net du pic de l'après-midi, par rapport à la moyenne. Dans ces villes les pics de pollution par dioxyde d'azote culminent beaucoup plus tard en fin d'après-midi. En moyenne les pics en fin de journée débutent vers 14h pour culminer vers 17h. Dans les villes comme Strasbourg et Toulouse, les pics commencent vers 14h mais ne culminent que vers 18h et durent plus longtemps.

Caen et Angoulême affichent une tendance inverse avec des pics qui débutent très en avance en fin de journée, déjà à 12 pour culminer tôt vers 16 h.

Enfin se détachent cinq villes, sans aucun caractéristique commun visible ; tantôt des petites villes, tantôt des grandes, tantôt à l'Est, tantôt au Sud : Paris, Bordeaux, Thionville, Orléans ont toutes un décalage de leur maximum journalier qui ne se manifeste en moyenne que vers 19 heures.

Ainsi, la présence du pic maximal en matinée s'observe de manière privilégiée dans les villes de grandes tailles, tandis que c'est la localisation nord-orientale à l'échelle du territoire français qui explique la présence du pic maximal en fin d'après-midi.

La situation pour les stations trafic s'avère toute à fait différente, ce qu'avait laissé voir le profil quotidien des moyennes sur les deux types de stations (**Figure 4 : Concentrations moyennes de dioxyde d'azote dans les stations de trafic et** Dans la majorité des agglomérations la pollution est la plus élevée en fin de journée, et ce pic surgit un peu plus tôt que dans les stations urbaines (Figure 8 a et b : Moment du pic maximal de dioxyde d'azote dans la journée : capteurs urbains (a) et trafic (b)). Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées vers 16h-17h, alors que dans les stations urbaines (dites aussi en situation de fond) il surgit plutôt vers 18h. Les grandes agglomérations situées sur le littoral atlantique, celles localisées sur la côte Opale ainsi que Clermont-Ferrand et Saint-Etienne sont les seules à avoir les valeurs les plus fortes le matin.

Pour résumer on peut donc dire que les comportements des stations de trafic et des stations urbaines différencient de manière similaire les villes françaises. La première différenciation tient au niveau de la concentration de dioxyde dans l'air sur les 24h d'une journée : elle

oppose les villes du sud-ouest où les niveaux sont faibles, aux villes de l'est et du nord où ils sont forts. La deuxième différenciation tient au rapport entre le niveau de pollution nocturne et le niveau de pollution diurne : là aussi s'opposent les villes du nord et de l'est où le niveau nocturne de pollution par le dioxyde d'azote est plutôt élevé à celles du sud et de l'ouest où il est faible. Enfin la troisième différenciation tient à l'heure ou aux heures de survenue du pic maximal. Dans tous les cas, les villes de l'ouest et du sud-ouest apparaissent en position favorable, à l'opposé des villes du nord-est.

4. UNE TYPOLOGIE DES VILLES QUANT A LA REPARTITION HORAIRE DE LA POLLUTION : SEULES QUELQUES VILLES SONT SPECIFIQUES

L'ACP a permis d'explorer la structuration des oppositions interurbaines en matière de pollution journalière et de montrer qu'au-delà d'une répartition journalière similaire des pics (6-8h du matin, 16-19h) et creux (2-3h du matin, 12-15h) de pollution, il existe des différences notables entre les villes. Nous souhaitons ici aller plus avant dans cette phase exploratoire en construisant une typologie des villes.

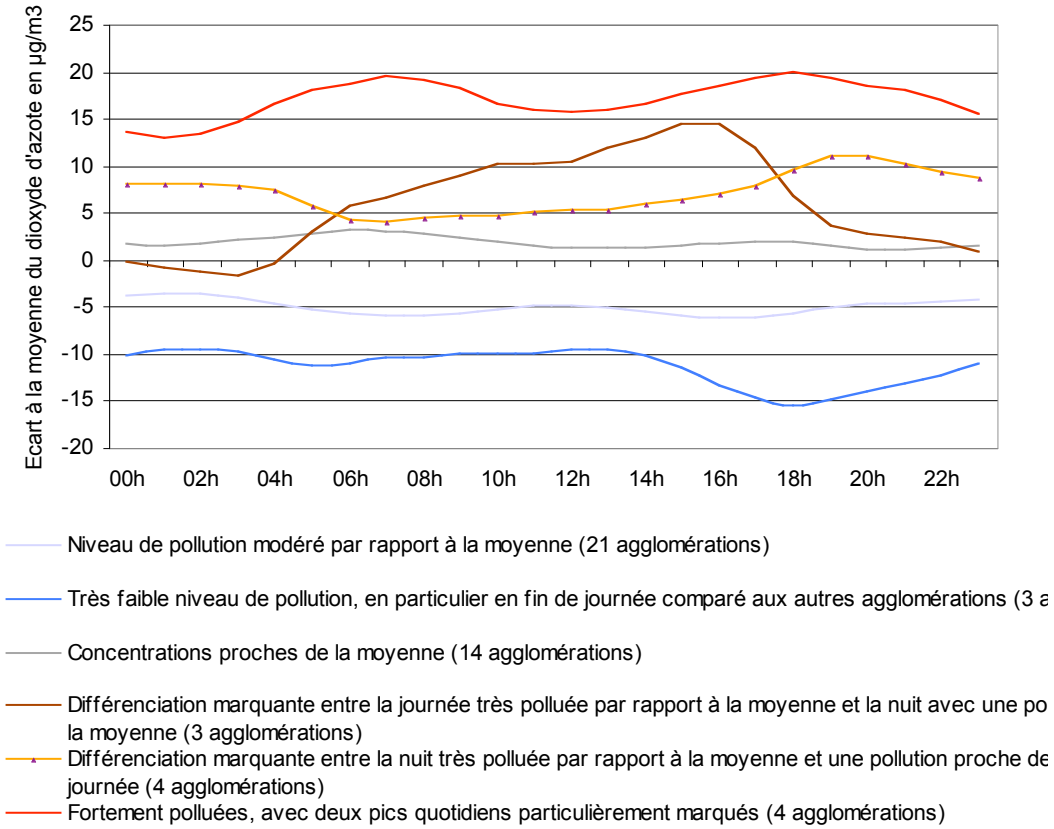
Nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique à partir des mesures dans les stations urbaines. Les capteurs urbains permettent d'introduire la quasi-totalité des agglomérations de plus de 100 000 habitants, contrairement aux capteurs de proximité qui ne sont localisés dans seulement 29 villes. Cette classification a permis d'identifier des types de villes quant au niveau de la pollution horaire, quant à la forme du profil quotidien de la concentration de dioxyde d'azote. L'analyse permet de distinguer 6 classes :

trois classes avec des concentrations horaires généralement supérieures à celles de la moyenne (qui se situe entre une moyenne de 30 et 60 µg/m³ selon les heures de la journée (Figure 9)

une classe avec des niveaux proches de la moyenne quelle que soit l'heure de la journée

deux ensembles d'agglomérations affichant des concentrations bien plus faibles que la moyenne générale quelle que soit l'heure de la journée.

Figure 9 : Types de villes selon les profils journaliers des concentrations moyennes de dioxyde d'azote. A partir d'une CAH effectuée sur les moyennes horaires sur la période du janvier 1998 au décembre 2001



La représentation des courbes des écarts aux concentrations moyennes de NO_2 dans l'air par type de ville met en lumière le fait que les profils sont plus différenciés entre les types de villes dans les niveaux hauts que dans les niveaux bas (Figure 9). Les horaires les moins différenciants sont ceux de minuit et 15 heures de l'après-midi ; le niveau haut le plus différenciant est celui de 16 heures, c'est-à-dire le moment du pic de l'après-midi. Rappelons que cet horaire n'est pas celui du pic le plus élevé des concentrations de dioxyde d'azote dans les agglomérations. C'est en effet le matin que la pollution est la plus élevée dans la majorité des agglomérations, et ceci notamment dans les villes de grande taille.

La carte des types de villes selon les caractéristiques de la pollution par le NO2 dans la journée met en valeur deux espaces distincts : l'ouest et l'est de la France. (Figure 10)

11 villes plus polluées que l'ensemble

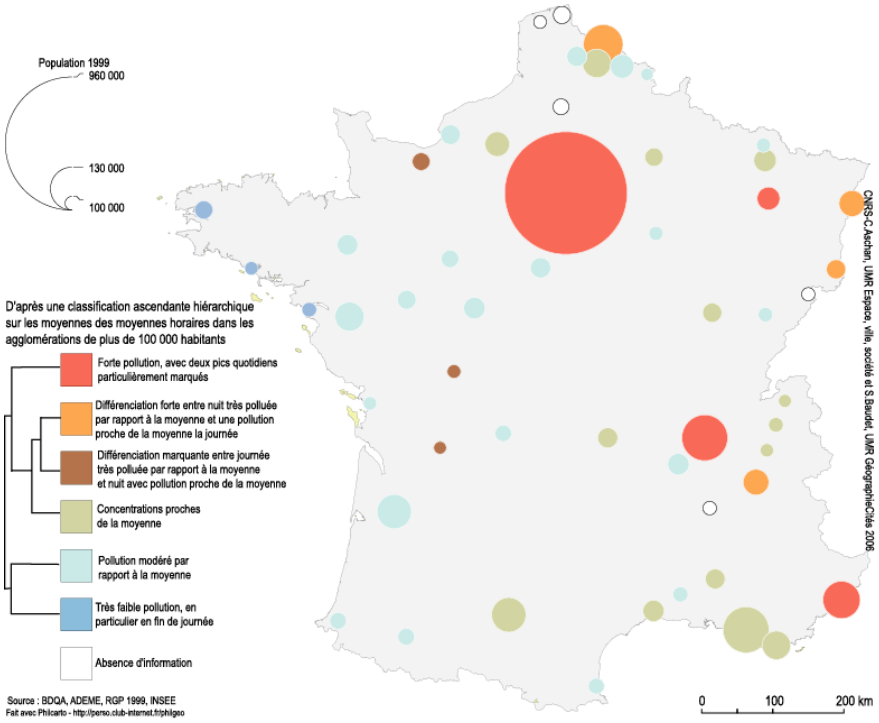
Parmi les villes dont les niveaux de pollutions sont plus élevés que la moyenne, on distingue trois ensemble. D'une part quatre villes, représentées ici en rouge, où les niveaux de pollution par le NO2 sont élevés, avec deux pics quotidiens marqués. Il s'agit de Paris, Lyon, Nice et Nancy. Le niveau du NO2 y atteint entre 30 et 40 µg/m³ (alors que la moyenne française se situe entre 15 et 25) et la journée un écart encore plus criant avec des moyennes entre 40 et plus de 60 µg/m³ (moyenne entre 25 et 35 µg/m³) (Figure 9).

Un deuxième type d'agglomération (Poitiers, Angoulême et Caen) est caractérisé par une différenciation marquante entre la journée très polluée par rapport à la situation moyenne des villes françaises et une pollution nocturne proche de la moyenne (Figure 10). Ces villes affichent une pollution horaire moyenne élevée entre 10h et 17h, c'est-à-dire pendant la

période qui généralement est le moment de creux en terme de circulation automobile. Enfin le troisième type de villes plus polluées que la moyenne concerne 4 villes (représentées en orange : Lille, Grenoble, Strasbourg, Mulhouse). Celles-ci présentent une situation inverse par rapport à la situation précédent : une différenciation marquante entre la nuit très polluée par rapport à la moyenne et une pollution proche de la moyenne la journée. Ainsi la concentration moyenne varie entre 25 et 40 µg/m³ pendant la nuit (la moyenne pour l'ensemble des ville se situe entre 15 et 25 µg/m³) et la journée elle avoisine 45-50 µg/m³ avec deux pics clairement marqués le matin et l'après-midi. Celui de l'après-midi est nettement supérieur à celui du matin dans les trois villes de l'est de la France. En revanche, pour Lille les concentrations du matin dépassent légèrement celles de fin de journée.

On constate que les villes ayant le principal pic le matin sont également en général les villes dont les concentrations au cours de la nuit sont fortes, par rapport aux concentrations observées lors de la période de creux dans la journée (entre 10 heures et 14 heures).

Figure 10 : Types d'agglomérations selon le profil de la concentration horaire du dioxyde d'azote dans les stations urbaines (moyenne horaires sur la période du janvier 1998 au décembre 2001)



14 villes proches de la moyenne

Ces villes constituent une classe où la concentration horaire moyenne de NO_2 se situe entre 20 et 40 µg/m³ et où aucun moment de la journée ne se distingue de façon significative de la moyenne générale. Les 15 villes de cette classe présentent une certaine concentration géographique : au Sud avec Avignon, Marseille-Aix-en-Provence[vii], Toulon, Montpellier, Toulouse ; dans les Alpes, avec Chambéry, Annecy et Annemasse et dans l'Est dans le sens large avec Reims, Dijon et Metz.

Dans l'ensemble les agglomérations avec des concentrations proches de la moyenne et caractérisées par une pollution azotée modérée sont de loin surreprésentées dans les villes françaises de plus de 100 000 habitants : 35 villes sur les 49.

Une vingtaine de villes moins polluées que l'ensemble

Près de la moitié des agglomérations de plus de 100 000 habitants présente sur la période un niveau de pollution faible par rapport à la moyenne. Les moyennes horaires de ces villes sont toujours bien en dessous de la moyenne horaire de l'ensemble des villes, avec une forte constance sur l'ensemble des heures de la journée. Les villes qui sont ainsi caractérisées sont principalement des villes de la moitié l'ouest de la France de taille moyenne (Bayonne, Le Mans, Tours, Le Havre…) ou grande (Nantes, Bordeaux).

Trois villes atlantiques, Brest, Lorient et Saint-Nazaire, se distinguent par un niveau de pollution NO_2 très faible en moyenne (entre 10 et 26 µg/m³ selon les heures). Cet écart à la moyenne se creuse davantage lors du pic de fin de journée, qui est très peu marqué par rapport à celui du matin. En effet, ces villes se détachent de façon remarquable des autres agglomérations par des concentrations particulièrement faibles (toujours par rapport à la moyenne) entre 15 et 20 heures, un des moments les plus pollués dans la journée en général. Le profil spécifique de ces villes atlantiques de taille moyenne (100 000 à 120 000 habitants) s'explique principalement par une circulation de l'air aisée, même pendant un temps stable et ensoleillé, grâce à la brise de la mer qui apparaît dans la matinée pour s'intensifier dans le courant de la journée.

Ainsi, l'analyse met en évidence l'opposition entre l'ouest et l'est de la France, selon la ligne Marseille-Le Havre, avec une forte particularité des villes atlantiques. Seules onze villes ont des niveaux de pollution atmosphérique par dioxyde d'azote élevés, voire très élevés. D'un autre côté, seules trois agglomérations affichent des moyennes constamment faibles sur l'ensemble de la période.

L'hypothèse selon laquelle la taille d'une ville est déterminante pour la concentration dioxyde d'azote dans l'air doit être nuancée : en effet, même si Paris et Lyon sont parmi les villes à très forte pollution, de nombreuses agglomérations de grande taille apparaissent moyennement, voire faiblement polluées : ainsi Bordeaux et Toulouse.

Cette classification met en évidence un ensemble de situations qui interpellent et qui nécessiteraient une enquête plus approfondie lors de l'analyse géographique de la relation entre la pollution atmosphérique et la morbidité respiratoire dans l'ensemble des villes françaises. Premièrement, la position extrême de la ville de Nancy est intéressante. Cette ville de taille modeste montre un même niveau de pollution de dioxyde d'azote que Paris et Lyon. Par ailleurs, dans la zone métropolisée du Nord on observe des situations très variables : Lille apparaît très clairement polluée par rapport à la moyenne, surtout la nuit, tandis que Douai-Lens présente un niveau de pollution moyen, et Valenciennes et Béthune se situent parmi les grandes villes françaises le plus faiblement polluées. Cette forte hétérogénéité sur le plan des concentrations de dioxyde d'azote entre des villes géographiquement très proche et situées dans un même environnement économique et social permettra une comparaison pertinente entre ces villes quant à la prévalence de maladies respiratoires.

Enfin, il est apparu que Bayonne et la Rochelle ne s'associent pas aux autres villes atlantiques très peu polluées par rapport à la moyenne, avec un écart marqué en fin de journée. En effet, les concentrations moyennes dans ces deux villes sont supérieures à celles de Brest, Lorient et Saint-Nazaire, et ceci plus particulièrement à la Rochelle. Mais, c'est surtout le profil de l'après-midi qui les différencient des autres villes atlantiques : le pic de NO_2 de l'après-midi est de même importance que le pic du matin à Bayonne et plus marqué

encore à la Rochelle. Ces résultats seront également très utile dans une comparaison des situations au niveau de la santé respiratoire dans ces villes.

Conclusion

Les résultats présentés ici sont le fruit d'analyses exploratoires menées sur les caractéristiques de la pollution atmosphérique par le dioxyde d'azote dans les villes françaises. Ce sont des résultats préliminaires qui présentent à grands traits ces caractéristiques. Quelles sont-elles ? D'abord, le fréquent dépassement de la valeur guide dans une petite partie des stations de mesure de la pollution tandis que les seuils limites et d'alerte sont bien respectés ; ensuite l'opposition entre des villes dans lesquelles le niveau de pollution est plutôt élevé (grandes villes de la moitié Est), à des villes dans lesquelles il est plutôt faible (moitié ouest de la France) ; enfin la prégnance d'une organisation horaire de la pollution par le dioxyde d'azote autour de deux pics quotidiens : l'un du matin, l'autre du soir, organisation modulée par une répartition macro-régionale des variations du profil quotidien de la concentration du dioxyde d'azote. Ce dernier résultat met en lumière la nécessité d'une réflexion approfondie quant à l'élaboration d'indicateurs synthétiques et comparatifs de la qualité de l'air dans les villes : cette organisation bien connue autour de deux pics invalide assez largement l'utilisation de la moyenne journalière, peu représentative des variations horaires des niveaux de dioxyde d'azote. Cette constatation nous a conduites à engager une réflexion plus complexe sur la manière dont on peut élaborer des indicateurs de la pollution atmosphérique, comparables dans l'espace des 53 plus grandes villes françaises. L'objectif de cette réflexion est d'élaborer des indicateurs capables de rendre compte de manière synthétique et pertinente des variations interurbaines de la pollution par le dioxyde d'azote ; il s'agira de tester ensuite leur validité pour une mise en relation des caractéristiques de pollution des villes avec leurs spécificités en matière de santé respiratoire. Si des études comme APHEA (APHEIS 2000-2001) montrent que des milliers de personnes en France sont affectées par la pollution, peu d'entre elles s'interrogent sur les variations des caractéristiques de pollution atmosphérique d'une ville à l'autre, et sur leur relations avec les variations des caractéristiques des population en matière de santé respiratoire. C'est pourquoi ce travail s'inscrit dans une perspective qui vise à explorer le volet géographique les travaux engagés dans le cadre des études épidémiologiques sur les interactions entre santé et respiration.

ADEME (2002). Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air. Paris, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie**:** 63.

APHEIS (2000-2001). Health Impact Assessment of Air Pollution in 26 European Cities. Air Pollution and Health : A European Information System, Institut de veille sanitaire. **Second year report:** 232.

Boudet, C., D. Zmirou, et al. (2001). "Can one use ambiant air concentration data to estimate personal and population exposures to particles ? An approach within the European EXPOLIS study." The Science of the Total Environment(267): 141-150.

Folinsbee, L. J. (1992). "Does nitrogen dioxide exposure increase airway responsiveness?" Toxicology and industrial health(8): 273-283.

Gent, J. F. and e. al. (2003). "Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma." The Journal of the American Medical Association **290**(14): 1859-1868.

Health Effects Institute (2003). Revised analyses of Time-series studies of air pollution and health. Revised analyses of the national morbidity, mortality and air pollution stuty, Part II. Special report**:** 306.

Huang, Y. L. and S. Batterman (2000). "Selection and evaluation of air pollution exposure indicators based on geographic areas." The Science of the Total Environment(253): 127-144.

IFEN (2006). "Amélioration contrastée de la qualité de l'air des villes entre 2000 et 2005." Les 4 pages d'IFEN(112): 1-4.

Pope III, C. A., R. T. Burnett, et al. (2002). "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution." Tne Journal of the American Medical Association(287): 1132-1141.

Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes (2002). Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain - Phase II, Institut de veille sanitaire**:** 184.

Rijdners, E. and e. AL. (2001). "Personal and outdoor nitrogen dioxide concentrations in relation to degree of urbanization and traffic density." Environmental health perspectives(109): 411-417.

Stieb, D. M. and e. al. (2002). "Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality : effects of gases and particles and the influence of cause of death, age and season." Journal of the air and waste management association(52): 470–484.

Sunyer, J., C. Spix, et al. (1997). "Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA project." Thorax(52): 760-765.

Vedal, S., M. Brauer, et al. (2003). "Air pollution and daily mortality in a city with low levels of pollution." Environmental Health Perspectives **111**(1): 45-à chercher.

Vineis, P. and K. Husgafvel-Pursiainen (2005). "Air pollution and cancer: biomarker studies in human populations." Carcinogenesis **26**(11): 1846-1855.

WHO (2003). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. BONN, World Health Organization (WHO), Working Group**:** 98 p.

Wong, C. M. and e. al. (2002). "A tale of two cities : effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared." Environmental Health Perspectives **110**(1): 67-77.

[i] Cette surveillance est effectuée, pour le compte de l'Etat, par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air. En 2001, 40 associations gèrent les moyens de surveillance de la qualité de l'air avec l'appui technique de l'ADEME. Chacune des associations est dirigée par un conseil d'administration qui comprend des représentants de l'Etat, des collectivités locales (ville, département ou région), des industriels de la zone de compétence de l'association et des associations de consommateurs et de protection de l'environnement.

Les 54 agglomérations (en 2001) métropolitaines de plus de 100 000 habitants disposent d'une surveillance de la qualité de l'air par stations fixes.

[ii] Trois critères permettent de classer une station : les objectifs de surveillance recherchés pour la station, l'environnement du site et les contraintes d'implantation à respecter.

[iii] Excluant ainsi les stations périurbaines.

[iv] Surveillance de la pollution atmosphérique de fond dans les communes composant le pôle urbain.

[v] Surveillance de la pollution atmosphérique à proximité des infrastructures de circulation automobile.

[vi] Association de la surveillance de la qualité de l'air dans la région lyonnaise.

[vii] L'appartenance de Marseille-Aix-en-Provence à cette classe s'explique en large partie par la configuration du réseau de mesure. En effet, huit stations de mesures urbaines sur quatorze dans cette agglomération sont localisées en dehors des centres villes de Marseille et d'Aix-en-Provence et sur le littoral.