

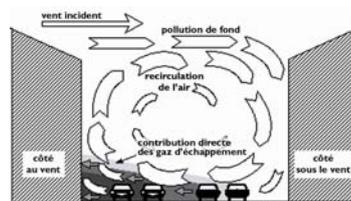
Évaluation de la qualité de l'air en proximité automobile

(rue Crébillon – Quai de la Fosse à Nantes)

Mesures et Modélisation, mai 2004 – mai 2005

Rapport intermédiaire

novembre 2005



Sommaire

SYNTHÈSE	4
INTRODUCTION	10
APPROCHE - MESURES	11
LE DISPOSITIF MIS EN ŒUVRE	12
3 Sites de mesure	13
LES RÉSULTATS	15
Situation de la pollution vis-à-vis de la réglementation	16
Influence de la configuration de la rue et du trafic automobile sur les niveaux de pollution.....	21
MODÉLISATION DE LA QUALITÉ DE L’AIR EN PROXIMITÉ AUTOMOBILE	22
LE MODÈLE OSPM ET LES PARAMÈTRES D’ENTRÉE	23
Principe du modèle OSPM.....	24
Les données d’entrée.....	24
LES RÉSULTATS 2004 – 2005 À NANTES	27
L’accord mesure - modèle.....	28
Influence de la vitesse du vent	33
Influence de la direction du vent.....	34
Influence du trafic routier	35
Conclusions sur les paramètres d’entrée du modèle	36
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	37
ANNEXES	39
annexe 1 : Air Pays de la Loire	40
annexe 2 : techniques d’évaluation	41
annexe 3 : types des sites de mesure.....	42
annexe 4 : polluants	43
annexe 5 : seuils de qualité de l’air 2005	44
BIBLIOGRAPHIE	45
GLOSSAIRE	46
abréviations.....	46
définitions	46

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : François Ducroz et Arnaud Rebours, Modélisation : Arnaud Rebours, Cartographie : Frédéric Penven, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire, Validation : Luc Lavrilleux.

Conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'association agréée pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des Pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2004 pris par le ministère de l'Écologie et du développement Durable.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études qu'elle produit selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur Castilla des services techniques de Nantes Métropole pour sa collaboration à l'installation de nos analyseurs.

Air Pays de la Loire remercie également Monsieur Manoury de la Direction Départementale de l'Équipement de Maine et Loire pour avoir fourni les données de comptage routier de la station Félix Faure (RN 23) entre le 1 janvier et le 15 août 2005.

Contexte >

une dégradation de la qualité de l'air à proximité des voies de circulation

En agglomération urbaine, la dégradation de la qualité de l'air est principalement observée à proximité des axes de circulation. En raison des niveaux très hétérogènes relevés d'une rue à l'autre, il n'est pas envisageable de réaliser des mesures sur chaque voie de circulation. Air Pays de la Loire a effectué en 2003, par modélisation, une cartographie des niveaux de pollution dans 80 rues du centre ville de Nantes. Le modèle a notamment identifié la rue Crébillon (rue encaissée de type canyon avec un trafic de 11 000 véhicules/jour) et le Quai de la Fosse (boulevard semi aéré avec un trafic de 43 000 véhicules/jour) parmi les rues les plus exposées.

Pour confirmer les résultats de modélisation, une étude portant sur l'évaluation de la qualité de l'air dans ces 2 axes a été réalisée en 2004-2005. Cette étude s'inscrit également dans le cadre du Programme de surveillance de la Qualité de l'Air dans les Pays de la Loire, ARGOS.

Objectifs >

un triple objectif

L'objectif de cette étude est triple :

- Évaluer la qualité de l'air vis-à-vis de la réglementation ;
- Estimer l'influence de différents paramètres sur la pollution simulée ou observée : configuration des rues, trafic automobile, vitesse et direction du vent ;
- Comparer les résultats de mesure et de modèle en incluant les informations mises à jour concernant les paramètres d'entrée (parc automobile notamment) et évaluer les performances du modèle OSPM dans les configurations aérées.

2 approches complémentaires >

Mesure et Modélisation

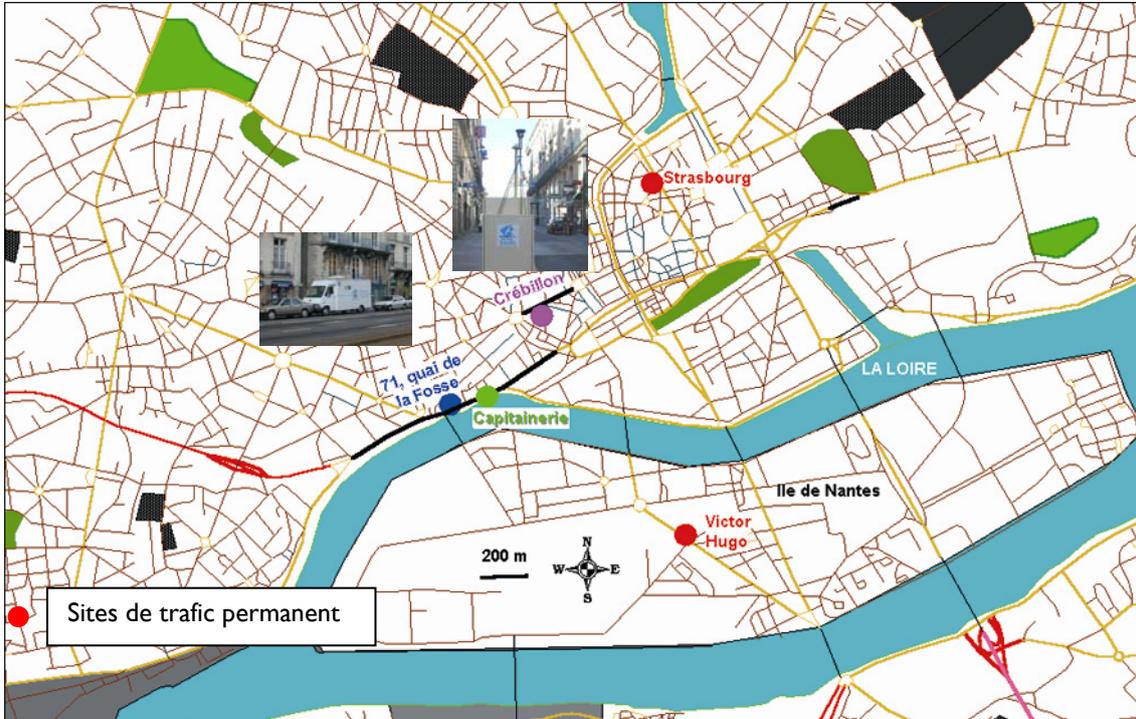
Afin de répondre à ces objectifs, 2 approches d'évaluation de la qualité de l'air ont été considérées :

- Une approche par campagnes de mesure des principaux polluants d'origine automobile (NOx, CO, PM10),
- Une approche par modélisation avec le logiciel OSPM.

Moyens >

3 sites de mesure

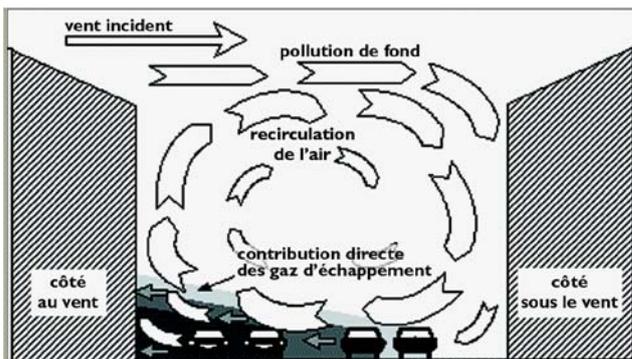
- Depuis le 1^{er} mai 2004, deux armoires mobiles pourvues d'analyseurs d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de PM10 sont installées dans la rue Crébillon ;
- Du 1^{er} octobre 2004 au 31 janvier 2005, le laboratoire mobile a été installé au 71 Quai de la Fosse côté bâtiments ;
- Du 16 décembre 2004 au 31 janvier 2005, la remorque laboratoire a été installée sur le côté Loire du Quai de la Fosse au niveau de la Capitainerie.



Localisation des sites de mesure

Moyens >

Le modèle OSPM



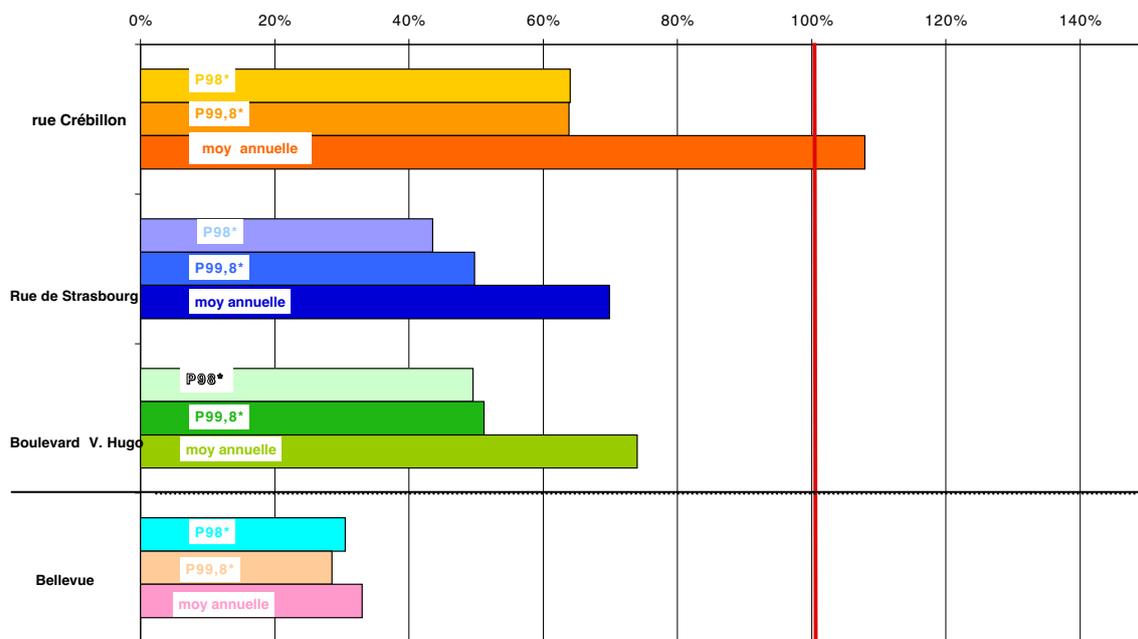
OSPM est un modèle destiné à la modélisation des rues "canyons ou « semi-canyons »", c'est à dire des voies bordées de bâtiments d'un côté ou des deux côtés. Il nécessite la connaissance de la pollution ambiante de l'agglomération, de la météorologie, de la configuration de la rue et du trafic automobile et calcule les concentrations de quatre polluants : dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules PM10.

Une comparaison mesure modèle a été réalisée pour les quatre polluants en fonction des données de mesure disponibles sur 5 axes de circulation de la ville de Nantes : la rue Crébillon, le boulevard Victor Hugo, la rue de Strasbourg, le quai de la Fosse (côté bâtiments) et la Capitainerie (côté Loire). Les périodes d'étude peuvent être différentes d'un axe de circulation à l'autre et varient de quelques mois (Quai de la Fosse ou Capitainerie) à une année complète (rue de Strasbourg) en 2004 et 2005. Il a été montré que les scores ne dépendent pas de la durée de la période d'étude : des performances comparables sont ainsi observées sur des périodes de quelques mois ou bien sur une année complète. Dans ces conditions, les comparaisons entre rues peuvent être directement réalisées, même si la durée d'étude est différente.

Résultats I > situation des niveaux par rapport à la réglementation

L'étude de la situation des niveaux de pollution enregistrée du 01/05/04 au 01/05/05 dans la rue Crébillon par rapport aux valeurs de références montre :

- Des niveaux en NO₂ observés sur la période de mesure (mai 2004 – mai 2005) supérieurs à la valeur limite annuelle de référence (applicable sur une année civile) et à fortiori à l'objectif de qualité ;
- 3 journées où des niveaux horaires en NO₂ ont dépassé le seuil d'information (05/10/04 ; 09/02/05 ; 15/03/05) ;
- Des niveaux de poussières et de CO inférieurs aux valeurs réglementaires.



Situation des niveaux en NO₂ par rapports aux valeurs limites

Résultats II > une influence du trafic et de la configuration de la rue

L'étude comparative des niveaux enregistrés dans la rue Crébillon et au niveau du Quai de la Fosse côté bâtiment et côté Loire montre :

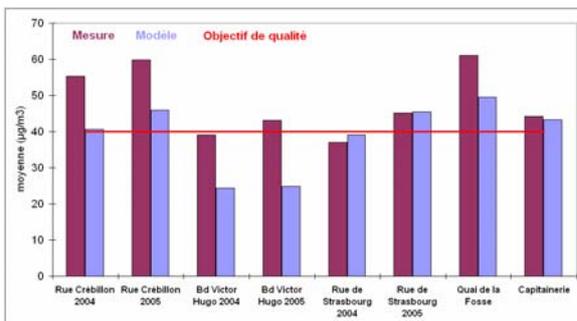
- Des niveaux 24 % à 31 % plus élevés suivant les polluants du côté bâtiment par comparaison au côté Loire aéré,
- Des niveaux sensiblement équivalents dans la rue Crébillon et dans le Quai de la Fosse côté bâtiment.

Le trafic 4 fois plus important au niveau du Quai de la Fosse est compensé par une configuration plus aérée au niveau du Quai de la Fosse.

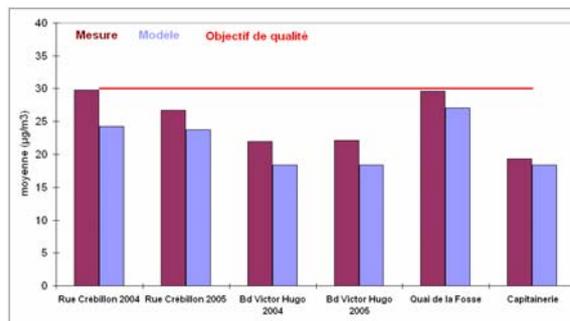
Résultats III >

Un bon accord mesure modèle

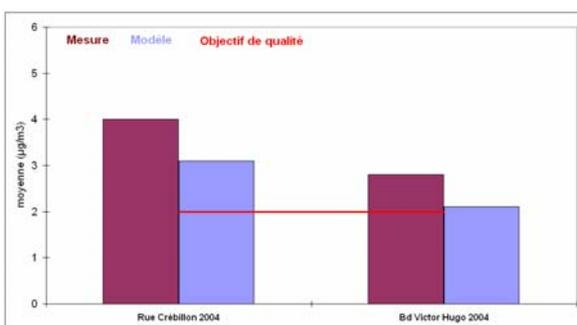
Les graphiques suivants représentent la comparaison entre les concentrations moyennes observées et modélisées sur les périodes d'études pour les 4 polluants pris en compte.



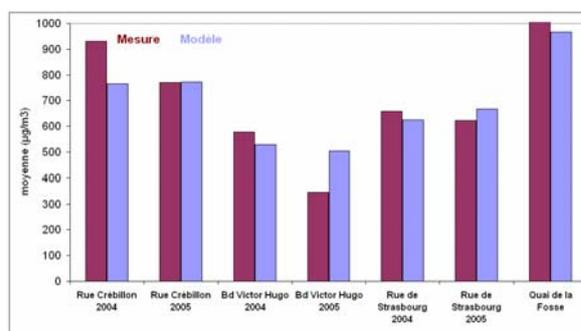
Comparaison pour le dioxyde d'azote



Comparaison pour les particules PM10



Comparaison pour le benzène



Comparaison pour le monoxyde de carbone

La modélisation au niveau de la rue de Strasbourg et du site de la Capitainerie est très satisfaisante. La rue de Strasbourg est homogène en terme de configuration et correspond aux critères pour lesquels OSPM est adapté. La situation pour le site de la Capitainerie est particulièrement intéressante puisqu'elle prouve la possibilité pour OSPM de simuler correctement les concentrations lorsque la configuration de la rue est en L.

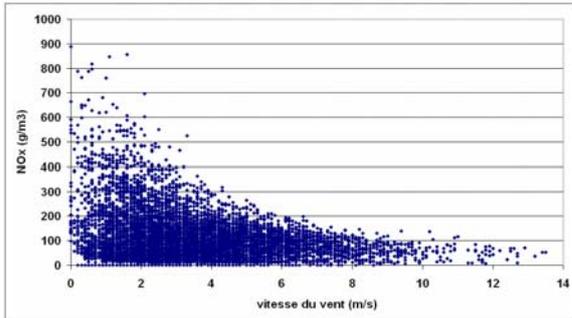
Pour l'ensemble des polluants, les écarts observés sont acceptables, le plus souvent de l'ordre de 5 à 20 %, en particulier pour les particules PM10 et le monoxyde de carbone.

La sous estimation de la pollution par le modèle est le plus souvent inférieure à 20 %; Une étude de janvier 2003 [1] a également mis en évidence ce phénomène. Deux hypothèses peuvent être avancées : la non prise en compte par OSPM des sur-émissions dues à l'accélération des véhicules, d'une part et la légère sous-estimation du trafic routier par le modèle, d'autre part.

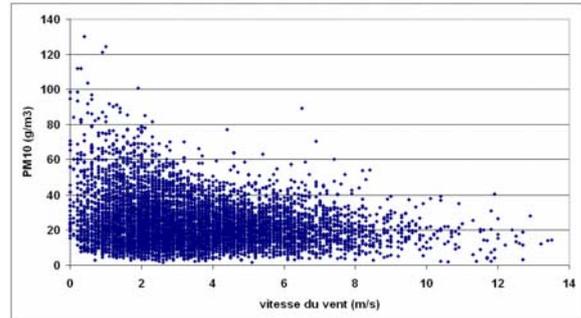
Résultats IV >

Une influence variable de différents facteurs

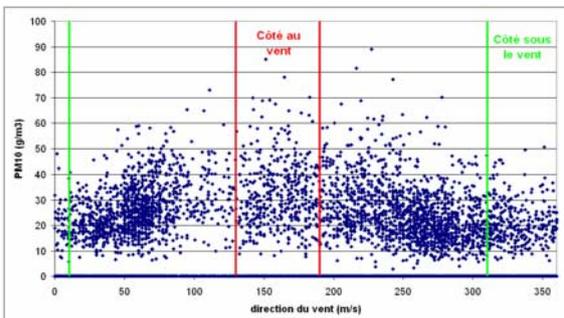
Les graphiques suivants représentent respectivement l'influence de la vitesse du vent, de la direction du vent et du trafic routier dans la rue Crébillon en 2004.



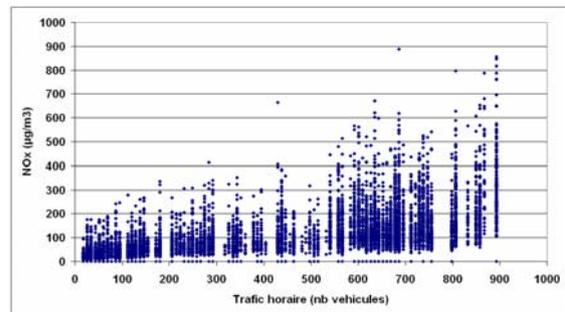
Influence de la vitesse du vent sur les concentrations modélisées en NOx dans la rue Crébillon en 2004



Influence de la vitesse du vent sur les concentrations modélisées en PM10 dans la rue Crébillon en 2004



Influence de la direction du vent sur les concentrations modélisées en PM10 dans la rue Crébillon en 2004



Influence du trafic routier sur les concentrations modélisées en NOx dans la rue Crébillon en 2004

Pour les oxydes d'azote, il est constaté une décroissance des concentrations avec l'augmentation de la vitesse du vent. Au-delà de 6 m/s, les niveaux sont systématiquement inférieurs à 300 µg/m³. Il est également montré que la structure des résultats des mesures et du modèle est proche mais celle d'OSPM est plus régulière. Pour les particules PM10, on observe également une influence de l'augmentation de la vitesse du vent qui provoque une diminution des concentrations. Mais pour ce polluant, la relation est moins univoque que pour les oxydes d'azote. Une étude [7] réalisée en 2003 a en effet montré que les concentrations en particules PM10 sont moins sensibles à la variation de la vitesse du vent.

Il existe également une relation entre les concentrations et la direction du vent. Lorsque le site de la rue Crébillon est sur le côté au vent, les concentrations ont tendance à augmenter par rapport à la situation où le site est placé sur le côté sous le vent. En effet, dans le premier cas, le tourbillon créé dans la rue canyon a tendance à concentrer la pollution vers le site.

Le dernier graphique montre que les niveaux de pollution augmentent avec le trafic horaire. Rappelons que le trafic présenté ici est un trafic modélisé. La relation trafic – concentrations n'est pas linéaire puisque pour un même trafic, il peut être constaté une variation d'autres paramètres ayant une influence sur les concentrations dans la rue : citons par exemple, la vitesse du vent et la direction du vent.

Une étude d'août 2003 [7] a montré que c'est principalement la combinaison de deux types de paramètres propres à la rue qui conditionnent les niveaux de pollution : le rapport entre la hauteur des bâtiments et largeur de la rue, d'une part et le trafic sur l'axe de circulation, d'autre part. Un modèle simple de prévision de la pollution dans 80 rues canyons de Nantes basée sur la connaissance de ces paramètres a ainsi pu être construit.

Les mesures réalisées dans la rue Crébillon et au niveau du Quai de la Fosse ont montré :

Des niveaux en NO₂ observés sur la période de mesure (mai 2004 – mai 2005) supérieurs à la valeur limite annuelle de référence applicable à une année civile, dans la rue Crébillon et 3 dépassements au seuil d'information les 05/10/04 et 09/02/05 et 15/03/05,

Des niveaux en PM10 et CO inférieurs aux seuils réglementaires,

Une réduction de 24 à 31 % de la pollution lorsque l'on se déplace du côté bâtiment vers le côté aéré du Quai de la Fosse,

Des niveaux sensiblement équivalents dans la rue Crébillon (rue Canyon avec un trafic journalier de 11 000 véhicules / jour) et du côté bâtiment du Quai de la Fosse (trafic de 43 000 véhicules / jour).

Par ailleurs, les mesures effectuées ont permis de valider les résultats de modélisation puisque le modèle donne de bonnes performances avec des écarts mesure - modèle le plus souvent compris entre 5 et 20 %, ponctuellement supérieurs, généralement avec une tendance à la sous-estimation. En particulier, l'effort porté vers une meilleure prise en compte de la proportion de véhicules diesel permet de mieux modéliser le taux de particules PM10 par rapport aux précédentes études. Les résultats obtenus sur le côté Loire du quai de la Fosse sont encourageants et conduisent à valider le modèle dans une configuration semi - fermée.

Cette tendance à la sous-estimation devra être intégrée lors des prochaines études de cartographies des rues. Il est ainsi envisagé de classer les rues en fonction du degré de continuité du bâti afin d'identifier les rues présentant un faible degré « canyon ». Les résultats propres à ce type de rue devront alors indiquer la probable sous-estimation des concentrations. Il n'est pas envisageable à l'heure actuelle de majorer ces résultats d'un coefficient fixe, la base de données de calage d'OSPM devant être encore nourrie.

L'étude de l'influence de différents facteurs extérieurs (vitesse du vent, direction du vent, trafic automobile) montre également la capacité d'OSPM à modéliser les écoulements d'air dans les rues de type « canyon ».

Dans le cadre du Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air ARGOS, ces 2 approches complémentaires d'évaluation de la qualité de l'air en proximité automobile vont être poursuivies.

Approche Mesure

Les mesures rue Crébillon seront prolongées jusqu'en fin 2005 afin de situer les niveaux observés sur une période d'une année civile (2005) au regard des valeurs seuils réglementaires de référence.

Des mesures annuelles sur différents sites de trafic de la région sont d'ores et déjà prévues à l'horizon 2006, citons par exemple Voies des Berges à Angers en 2005, rue Maréchal Joffre à Nantes et rue Nationale à Cholet en 2006.

Approche Modélisation

Jusqu'en 2009, il est prévu la réalisation de cartographies dans les rues des principales agglomérations des Pays de Loire, comme le prévoit le Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air dans les Pays de la Loire. En particulier, en 2006, il est envisagé une étude dans l'agglomération angevine.

Enfin, d'autres essais de comparaison mesure modèle sont à réaliser pour compléter la qualification des performances d'OSPM dans différentes configurations de rues.

INTRODUCTION

En agglomération urbaine, la dégradation de la qualité de l'air est principalement observée à proximité des axes de circulation. D'une rue à l'autre les niveaux de pollution sont hétérogènes et dépendent du trafic et de la configuration de la rue.

Dans l'agglomération nantaise, Air Pays de la Loire dispose de deux sites de trafic permanents dans la rue de Strasbourg et au niveau du Boulevard V. Hugo. Sachant que la mesure de la qualité de l'air dans chaque rue n'est pas envisageable, Air Pays de la Loire a mis en œuvre en 2003 un modèle de calcul de la pollution dans 80 rues du centre ville de Nantes. Une cartographie des niveaux en polluants d'origine automobile (NO_x, CO, PM10) a ainsi pu être réalisée. Cette cartographie montre qu'en 2001 la moitié des rues du centre ville de Nantes est susceptible de dépasser l'objectif de qualité pour le NO₂ tandis qu'une petite dizaine de rues dont la rue Crébillon et le Quai de la Fosse approche la valeur limite pour le NO₂.

Pour confirmer les résultats de modélisation et dans le cadre du Programme de Surveillance de la Qualité de l'air, une étude basée sur 2 approches complémentaires d'évaluation (mesures et modélisation) a été réalisée en 2004 – 2005 dans ces deux rues.

L'objectif de cette étude est triple :

- Evaluer la qualité de l'air vis-à-vis de la réglementation,
- Estimer l'influence de différents paramètres (configuration de la rue, trafic automobile, vent en force et direction) sur la pollution,
- Comparer les résultats de la modélisation aux mesures.

APPROCHE - MESURES



LE DISPOSITIF MIS EN ŒUVRE

3 sites de mesure ont été dotés d'analyseurs automatiques mesurant tous les quarts d'heure les principaux polluants d'origine automobile (NO_x, PM10, CO)

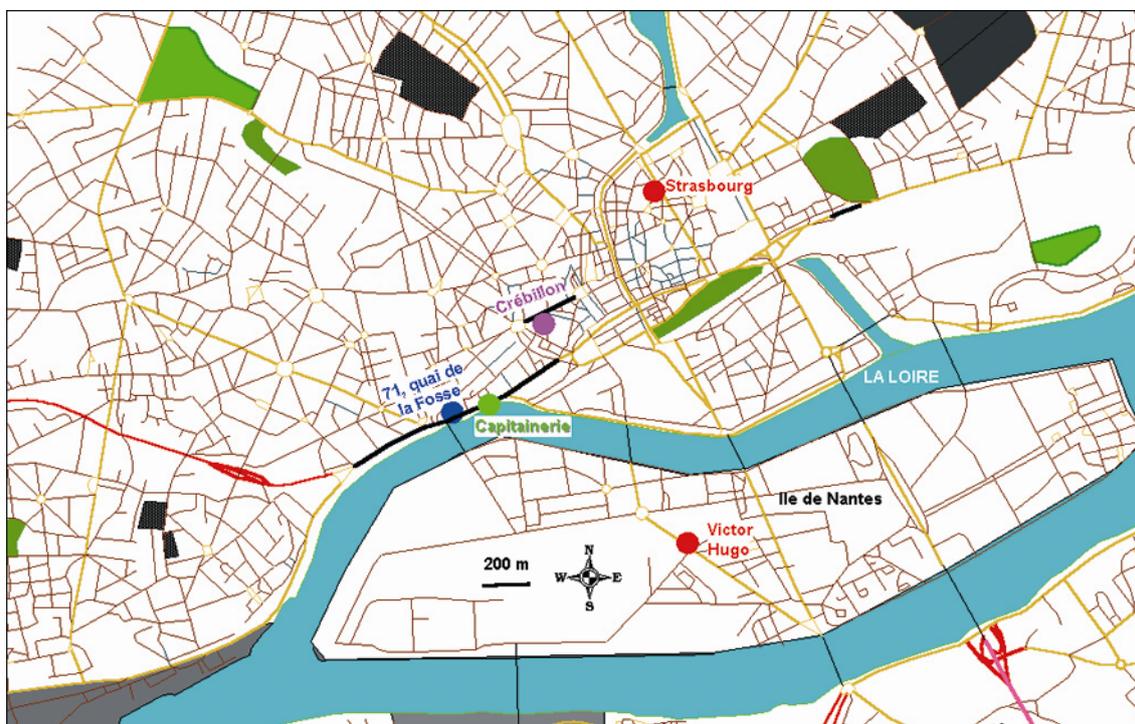
Deux armoires dotées d'analyseurs automatiques ont été installées dans la rue Crébillon à partir du 1^{er} mai 2004.

Le camion laboratoire a été installé au 71 quai de la Fosse (côté bâtiment) du 1^{er} octobre 2004 au 31 janvier 2005.

La remorque laboratoire a été installée sur le quai de la fosse du côté Loire au niveau de la Capitainerie du 16 décembre 2004 au 31 janvier 2005.

3 Sites de mesure

La carte suivante montre la localisation des 3 sites de mesures temporaires (Crébillon, 71 Quai de la Fosse et Capitainerie) ainsi que les deux sites de trafic permanents d’Air Pays de la Loire situés rue de Strasbourg et boulevard V. Hugo. Ces sites de trafic répondent aux critères nationaux de classification des sites de mesure (distance aux voies de circulation).



Carte I : Localisation des sites de mesure

Le tableau ci-après récapitule pour les 3 sites, les polluants mesurés et les caractéristiques en termes de trafic et de configuration.

Voie	Hauteur H des bâtiments (m)	Largeur L de la voie (m)	Rapport H / L	Orienta-tion de l'axe par rapport au nord (°)	Trafic TMJA (véhi-cules / jour)	Vitesse à vide (km/h)	Nom-bre de voies	Pol-luants mesurés
Rue Crébillon	21	9.3	2.3	66	10 650	30	1	NOx, PM10, CO
Bd V. Hugo	7 côté station 18 sur le côté opposé	22	0.3	127	27 090	50	2	NOx, PM10, CO
Rue de Strasbourg	18	14.7	1.2	150	18 550	50	3	NOx, CO
Quai de la Fosse	16	30	0.5	69	43 810	50	4	NOx, PM10, CO
Capitainerie	0	30		69	43 810	50	4	NOx, PM10

Tableau I : description des sites de mesure

Les photos ci-après montrent les armoires et le laboratoire mobile installés respectivement dans la rue Crébillon et au 71 Quai de la Fosse.



Photo 1 : Armoires rue Crébillon



Photo 2 : Laboratoire mobile au 71 quai de la Fosse

Des mesures de NO_x, CO et PM 10 en continu

Trois des principaux polluants d'origine automobile ont été mesurés :

- Les oxydes d'azote selon la norme NFX 43.018 ;
- Le monoxyde de carbone selon la norme NFX 43.044 ;
- Les poussières fines de diamètre inférieur à 10 µm par pesée à fibration de fréquence

Le suivi du bon fonctionnement des analyseurs est périodiquement réalisé, notamment lors d'opérations de vérification ou d'étalonnage. Ces opérations peuvent être manuelles ou automatiques, réalisées sur site ou télécommandées.

Les opérations d'étalonnage sont effectuées avec des étalons de transfert raccordés au laboratoire d'étalonnage de niveau 2 d'Air Pays de la Loire (airplab). Ce laboratoire est accrédité COFRAC 17025 dans le domaine " chimie et matériaux de référence – mélanges de gaz " depuis le 1 août 2004.



Photo 2 : Analyseur d'oxydes d'azote

Les périodes de mesure

Le tableau ci-après résume les périodes de mesure pour les différents sites

site	Périodes de mesure	Nombre de mois
Crébillon	du 01/05/04 au 01/05/05	12
71 Quai de la Fosse	du 01/10/04 au 31/01/05	4
Capitainerie	du 16/11/04 au 31/01/05	2,5

Tableau 2 : périodes de mesure

LES RÉSULTATS

L'analyse suivante présente successivement :

- L'interprétation des niveaux de pollution dans la rue Crébillon en termes de situation par rapport la réglementation ;
- L'étude de l'influence de la configuration du site et du trafic sur les niveaux de pollution.

Situation de la pollution vis-à-vis de la réglementation

Rappel sur la réglementation

La réglementation française issue de la réglementation européenne définit 4 types de valeurs réglementaires.

- Les valeurs limites ;
- Les objectifs de qualité ;
- Le seuil d'information ;
- Le seuil d'alerte.

La définition de ces différentes valeurs est reportée en annexe 5.

Les objectifs de qualité et les valeurs limites sont basés sur des éléments statistiques calculés sur l'année civile (cf. annexe 5). Une comparaison stricte des niveaux enregistrés durant les périodes de mesure avec ces valeurs réglementaires n'est donc pas possible. Toutefois une étude de la situation des niveaux de pollution peut être effectuée dans la rue Crébillon, site pour lequel nous disposons d'une année de mesure (01/05/04 – 01/05/05).

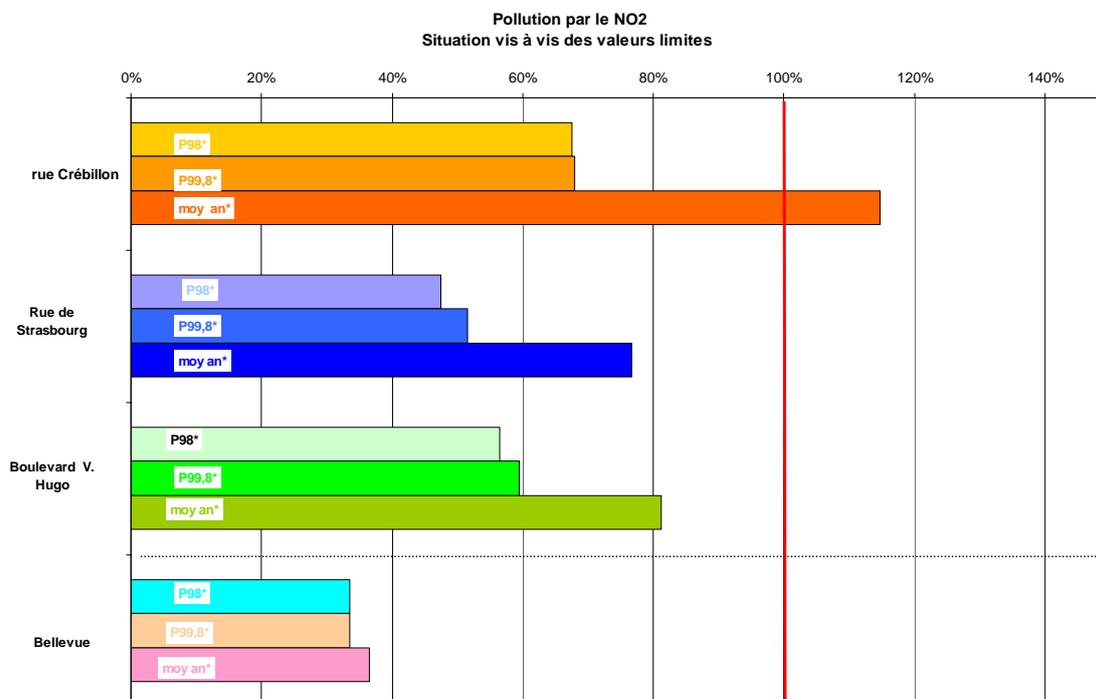
La situation de la pollution vis-à-vis de la réglementation est représentée par des taux d'atteinte (rapport entre la pollution enregistrée du 01/05/04 au 01/05/05 et les valeurs réglementaires).

Un taux d'atteinte supérieur à 100 % indique que le niveau de pollution enregistré sur la période considérée est supérieur à la valeur limite de référence.

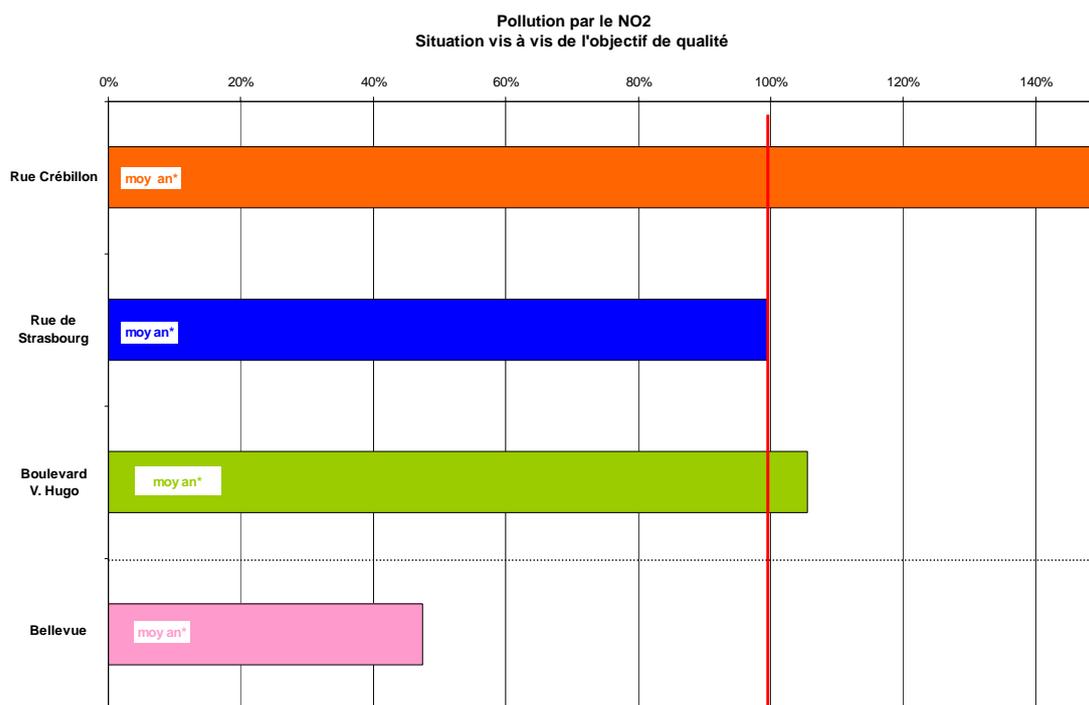
À titre indicatif, les taux d'atteinte calculés sur 2 sites de trafic permanents (rue de Strasbourg et boulevard V. Hugo) et sur le site urbain (Bellevue) sont également mentionnés. Rappelons ici que les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.

La pollution par le dioxyde d'azote

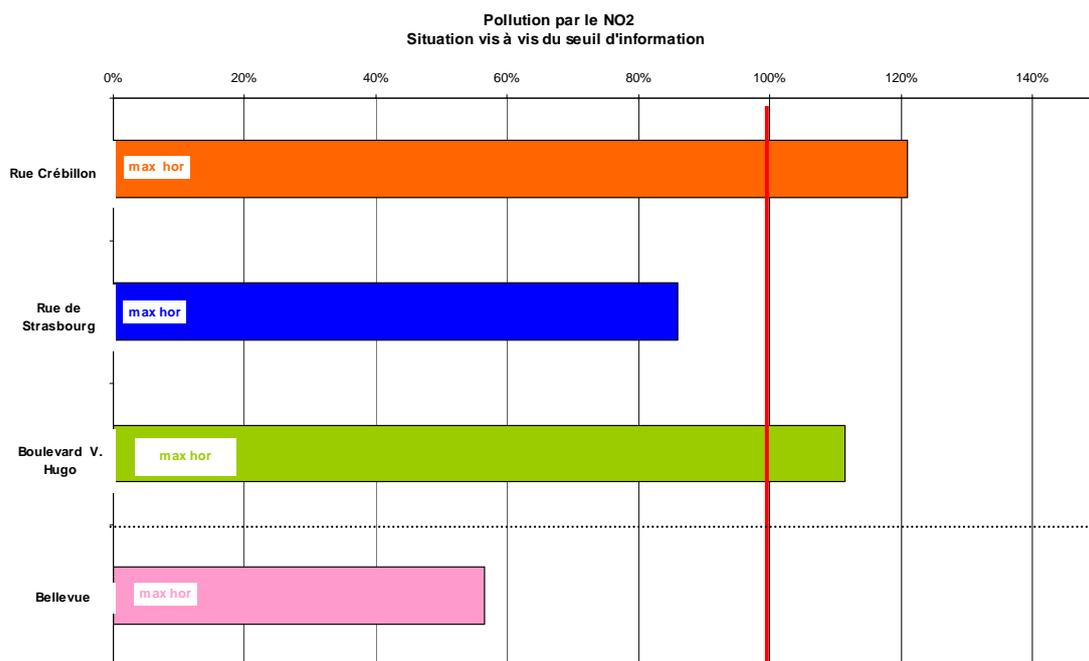
Les graphiques 1 à 4 représentent la situation des niveaux en NO₂ par rapports aux valeurs réglementaires (valeurs limites, objectif de qualité, seuils d'information et d'alerte).



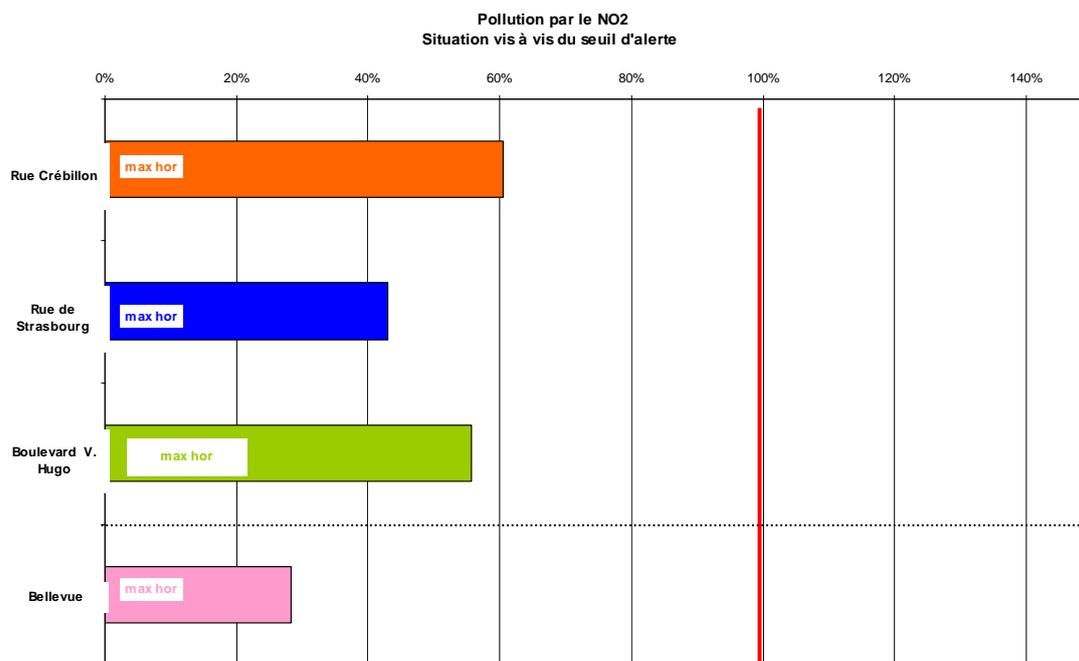
Graphique 1 : situation des niveaux en NO₂ par rapport aux valeurs limites



Graphique 2 : situation des niveaux en NO₂ par rapport à l'objectif de qualité



Graphique 3 : situation des niveaux en NO₂ par rapport au seuil d'information



Graphique 4 : situation des niveaux en NO₂ par rapport au seuil d'alerte

Ces graphiques appellent les commentaires suivants.

La pollution moyenne en NO₂ enregistrée sur la période observée du 01/05/04 au 01/05/05 dans la rue Crébillon a dépassé la valeur limite annuelle de référence applicable à l'année civile et a fortiori l'objectif de qualité.

Sur les autres sites, les valeurs limites ont été respectées tandis que l'objectif a été dépassé ou approché respectivement dans le boulevard V. Hugo et dans la rue de Strasbourg.

Le seuil horaire de 200 µg/m³ a été dépassé respectivement à 3 reprises dans la rue Crébillon les 05/10/04, 09/02/05 et 15/03/05 et au niveau du Boulevard V. Hugo (09/02/05, 01/03/05 ; 11/03/05).

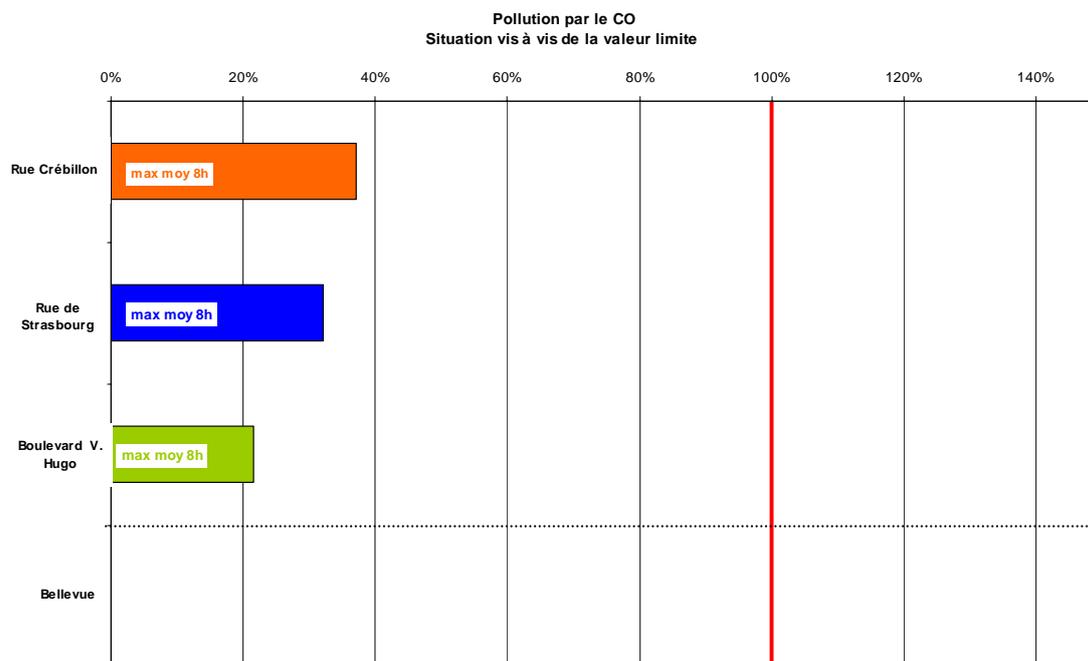
Rappelons ici que le déclenchement d'une procédure d'information de la population nécessite un dépassement du seuil d'information sur au moins 2 sites dont un site urbain. Les dépassements mesurés ont été spatialement isolés et de ce fait n'ont pas entraîné de procédure d'information de la population.

Le maximum horaire a atteint 242 µg/m³ le 9 février 2005.

Aucun dépassement n'a été enregistré dans la rue de Strasbourg (maximum horaire de 172 µg/m³).

La pollution par le monoxyde de carbone

Le graphique 5 représente la situation des niveaux en CO par rapport à la valeur limite (10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures).

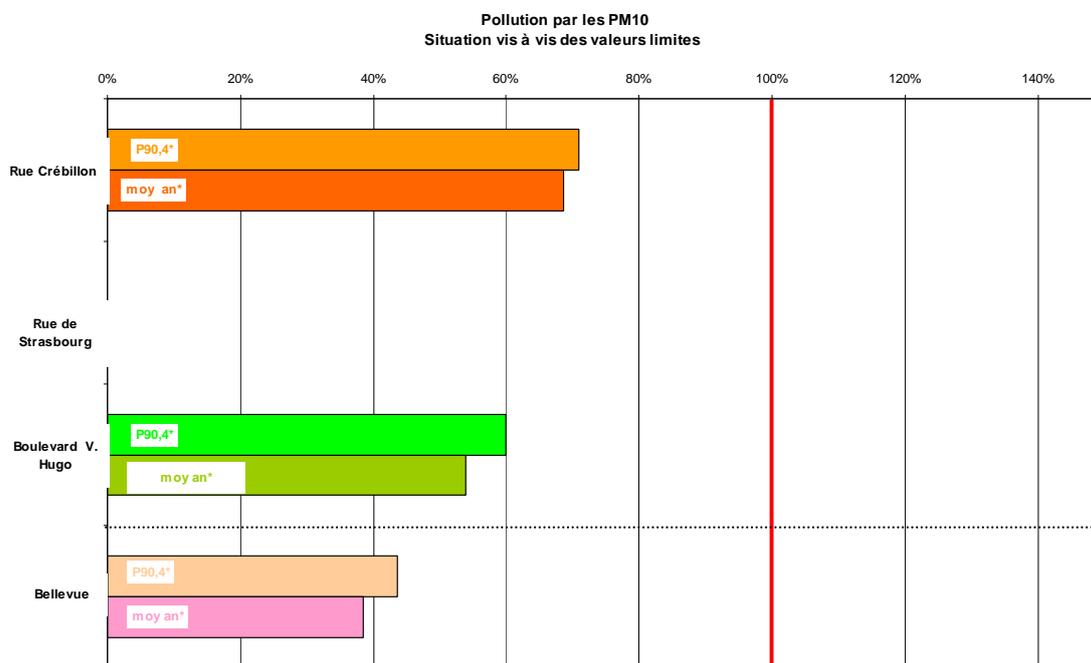


Graphique 5 : situation des niveaux en CO par rapport à la valeur limite

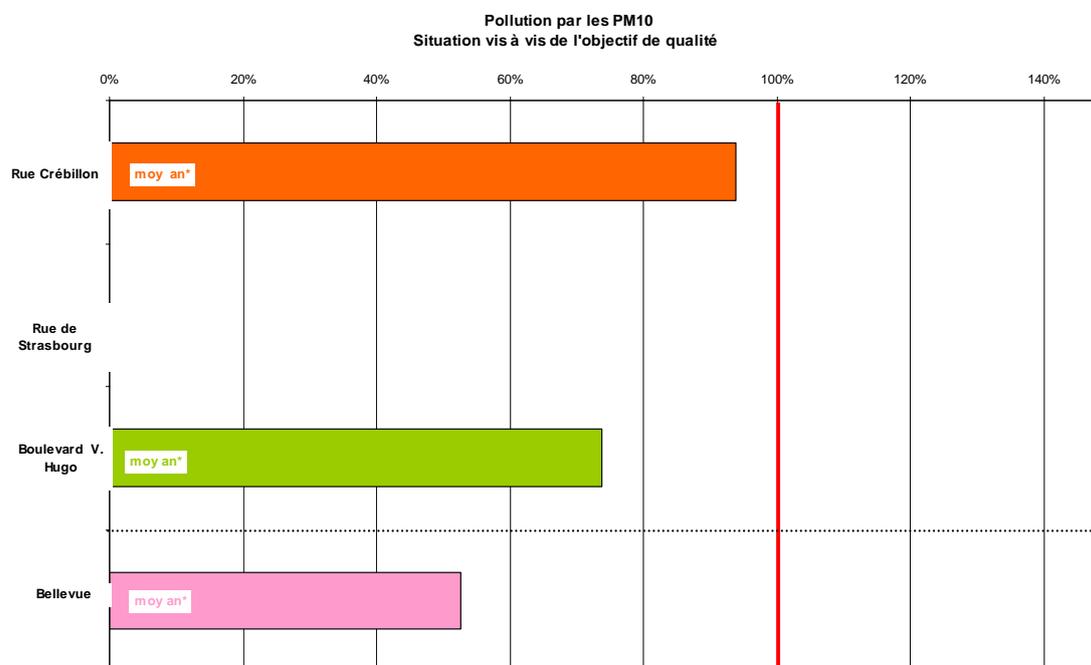
Les niveaux de monoxyde de carbone enregistrés du 01/05/04 au 01/05/05 restent très inférieurs à la valeur limite.

La pollution par les poussières fines (PM10)

Les deux graphiques suivants représentent la situation des niveaux en PM10 par rapport aux valeurs limites et à l'objectif de qualité.



Graphique 6 : situation des niveaux en PM10 par rapport à la valeur limite



Graphique 7 : situation des niveaux en PM10 par rapport à l'objectif de qualité

Les niveaux de poussières sont inférieurs à la valeur limite et à l'objectif de qualité pour les deux sites de mesure (rue Crébillon et boulevard V. Hugo). La pollution de pointe (percentile 90,4) mesurée dans la rue Crébillon est restée inférieure de 30 % à la valeur limite correspondante.

Influence de la configuration de la rue et du trafic automobile sur les niveaux de pollution

La rue Crébillon se caractérise par une configuration encaissée en U (rapport H/L de 2,3) avec un trafic modéré d'environ 11 000 véhicules/jour.

Le Quai de la Fosse présente un trafic 4 fois plus important avec une configuration en L soit au niveau des bâtiments, un rapport H/L de 0,5.

Les mesures réalisées du 16 décembre 2004 au 31 janvier 2005 simultanément dans la rue Crébillon du côté bâtiment du Quai de la Fosse (71 Quai de la Fosse) et du côté Loire (Capitainerie) permettent d'étudier l'importance des 2 paramètres (encaissement et trafic) sur les niveaux de pollution.

L'étude croisée des concentrations mesurées respectivement de part et d'autre du Quai de la Fosse (71 Quai de la Fosse – Capitainerie) permet d'appréhender l'influence du bâti sur les niveaux de pollution sachant que le trafic journalier moyen est sensiblement équivalent dans les 2 sens de circulation.

L'étude comparative des teneurs dans la rue Crébillon et du côté bâtiment du Quai de la Fosse permet d'étudier les rôles conjoints de l'encaissement de la rue du trafic automobile.

Le tableau suivant établit une comparaison relative (rapports) entre les différents paramètres (trafic, encaissement, pollution) au niveau du Quai de la Fosse et de la rue Crébillon.

	TMJA	Rapport H / L	Concentration moyenne en NO ₂	Concentration moyenne en CO	Concentration moyenne en PM ₁₀
71 Quai de la Fosse / Capitainerie	1	0,5 / -	1,32	-	1,47
71 Quai de la Fosse / Crébillon	4,1	0,22	0,95	1,1	1,04

Tableau 3 : rapport des différents paramètres

Ce tableau appelle les commentaires suivants.

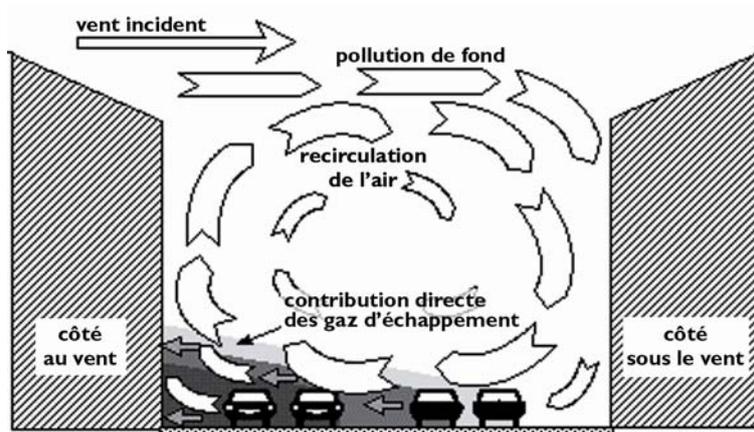
La comparaison des niveaux de pollution entre le côté bâtiment et le côté aéré du Quai de la Fosse indique des teneurs 20 à 32 % plus élevées selon les polluants du côté bâtiment. Cette supériorité de la pollution est essentiellement due à la présence de bâtiments ou le trafic automobile est identique dans les 2 sens de circulation.

La comparaison des niveaux moyens de pollution en NO₂, CO et PM₁₀ dans la rue Crébillon et au 71 Quai de la Fosse montre des concentrations sensiblement équivalentes (rapports de concentrations voisins de 1). Ceci suggère que le trafic automobile 4 fois plus important au niveau du Quai de la Fosse est compensé par une configuration "4 fois plus aérée" au niveau du Quai de la Fosse.

Cette observation confirme les résultats de l'étude de modélisation [7] menée dans les principales rues du centre ville de Nantes qui a montré l'existence d'une relation linéaire entre les concentrations et le paramètre (trafic x H/L).

L'influence des paramètres météorologiques tels que le vent en force et direction est étudiée dans le chapitre relatif à la modélisation.

MODÉLISATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR EN PROXIMITÉ AUTOMOBILE



LE MODÈLE OSPM ET LES PARAMÈTRES D'ENTRÉE

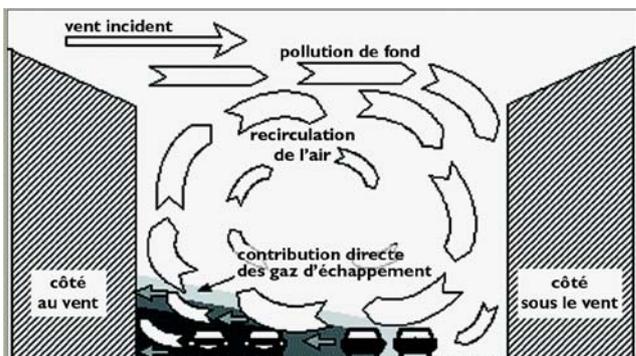
Le principe de fonctionnement du modèle OSPM, adapté à la modélisation des rues canyons, est tout d'abord présenté.

Puis sont abordés la description des paramètres d'entrée nécessaires au modèle, avec les dernières mises à jour disponibles, concernant le parc automobile notamment.

Enfin, une comparaison entre la modélisation du trafic routier sur une voie rapide avec les données de comptages horaires est proposée.

Principe du modèle OSPM

OSPM est un logiciel destiné à la modélisation des rues canyons, c'est à dire des rues de centre-urbain bordées de bâtiments. Il s'agit d'un modèle analytique parce qu'il repose sur l'analyse physique du problème de l'écoulement et des équations qui le décrivent (cf. figure 1).



La pollution totale modélisée s'exprime comme la somme de la pollution de fond et de la pollution émise par les véhicules en circulation (contribution directe issue des gaz d'échappement + contribution due à la recirculation de l'air).

La contribution directe et la recirculation sont respectivement calculées par un modèle gaussien et un modèle de boîte.

Figure 1 – Principe d'entraînement des polluants dans une rue canyon

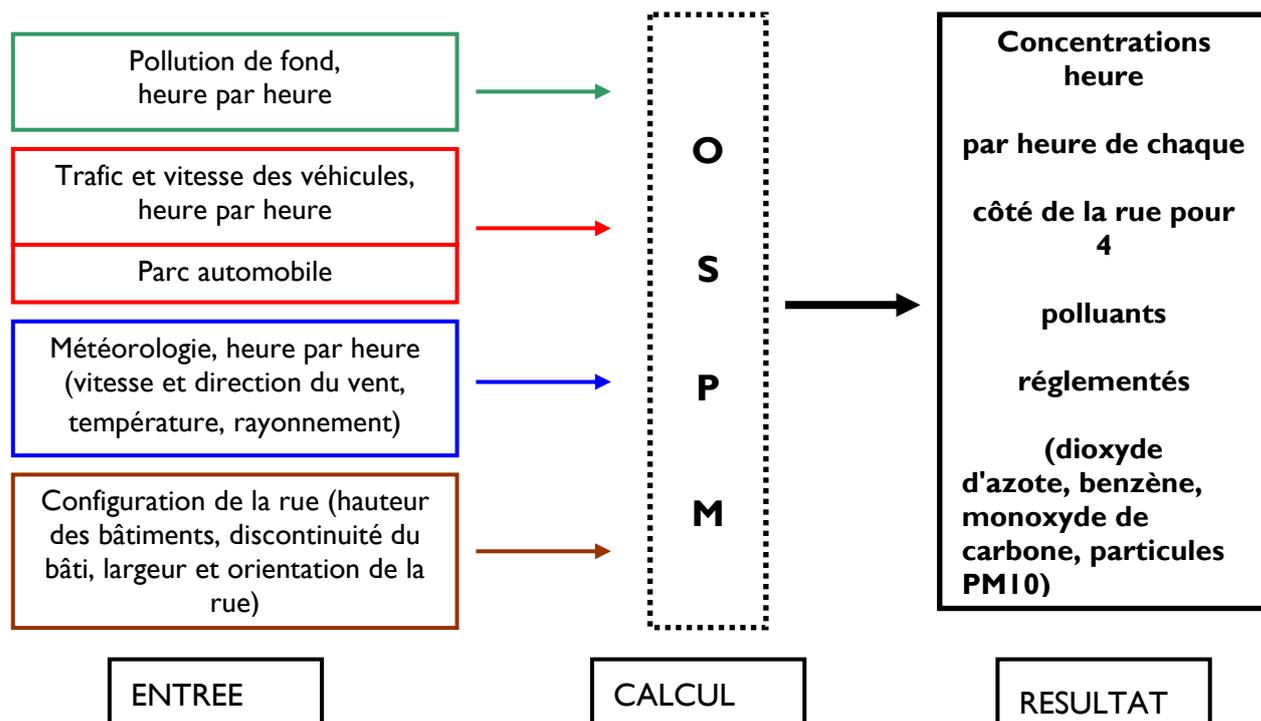
Ce graphique montre que le côté au vent dominant est exposé à de plus fortes concentrations que le côté sous le vent. Une étude de 2003 [1] sur Nantes indique ainsi que la différence de concentration peut ainsi atteindre entre 5 et 20 % suivant le polluant et l'orientation de la rue par rapport aux vents dominants.

OSPM a fait l'objet de nombreuses études en Europe qui ont montré les qualités scientifiques de ce modèle. Une publication récente en 2005 montre des bonnes performances sur des rues canyons de Nantes [2].

Les données d'entrée

Comme tout modèle, OSPM nécessite d'être alimenté en données d'entrée explicatives de la pollution (émissions, météorologie,...). La figure 2 ci-dessous résume ce principe :

Figure 2 – Principe de fonctionnement d'OSPM



Les données d'entrée ont été obtenues auprès des organismes suivants :

Donnée d'entrée	Organisme
Pollution de fond	Air Pays de la Loire
Trafic des véhicules pour chacune des rues	Direction de l'Espace Public de la Communauté urbaine de Nantes, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) de l'Ouest
Vitesse des véhicules	CETE de l'Ouest
Parc automobile	INRETS
Météorologie	Météo France (Station de Nantes Atlantique)
Configuration de la rue	Laboratoire CERMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes

Tableau 7 – Sources des données d'entrée d'OSPM

Deux améliorations dans la recherche des données d'entrée

Par rapport aux précédentes études réalisées avec OSPM sur les rues de Nantes [1], [2], [3], le parc automobile a été mis à jour avec les dernières données disponibles en provenance de l'INRETS [4]. Cette étude a permis de calculer l'évolution du parc automobile roulant français entre 1970 et 2025 à partir de l'estimation des projections des lois de survie des véhicules. Elle permet de rendre compte de la dieselisation du parc en portant la proportion de véhicules diesel à environ 57 % en 2004 alors qu'elle n'était que de 25 % dans les études antérieures de modélisation des rues réalisées par Air Pays de la Loire (utilisant le parc appelé MEET). Cette variation a une conséquence importante sur les émissions de particules PM10, sous estimées de 30 % environ dans nos précédents travaux.

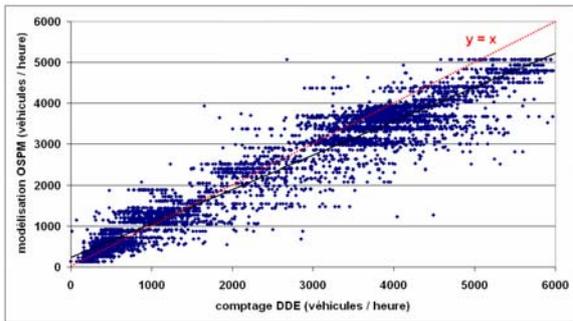
D'autre part, dans les précédentes études, le parc MEET de l'année 2000 était utilisé avec une proportion de véhicules non catalysés variant entre 25 et 45 % suivant la catégorie de véhicules. Maintenant, c'est le parc INRETS de l'année 2004 et 2005 qui est employé avec une proportion de ces véhicules variant entre 10 et 20 %. Cet écart conduit à une diminution sensible des émissions du parc automobile entre les deux horizons, les véhicules non catalysés étant prédominants par rapport la quantité de polluant rejeté.

Les performances de la modélisation du trafic

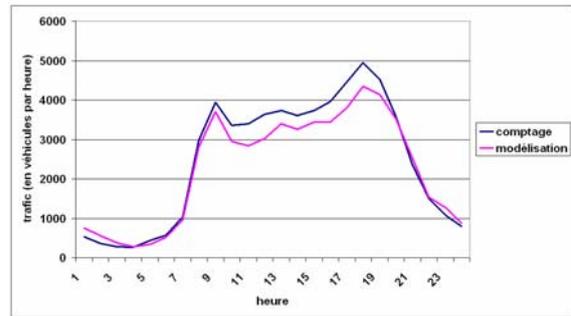
Sur l'ensemble des études réalisées avec OSPM, le trafic horaire utilisé en entrée du modèle résulte d'une modélisation basée sur la connaissance du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) et de sa décomposition horaire. Cette décomposition est basée sur des profils journaliers modélisés pour cinq types de jours (lundi à jeudi, vendredi, samedi, dimanche, jours fériés et vacances scolaires) à partir de comptages routiers obtenus sur la ville de Nantes [5]. Ces 5 profils sont adaptés suivant 3 catégories de voirie : rues urbaines encombrées (centre-ville), rues urbaines dégagées, voies rapides pour lesquelles les relations entre la vitesse des véhicules et la capacité de la voirie en terme de nombre de véhicules sont spécifiques.

Exemple sur les données horaires des voies des Berges à Angers

Une comparaison horaire entre cette modélisation et des comptages routiers sur les Voies des Berges à Angers (RN 23) a pu être réalisée à partir des données fournies par la Direction Départementale de l'Equipement (DDE) de Maine et Loire entre le 1 janvier et le 15 août 2005 au niveau de la station Félix Faure. Les Voies des Berges appartiennent à la catégorie des voies rapides.



Graphique 6 : Accord mesure modèle des données horaires de trafic sur les voies des Berges entre le 1 janvier et le 15 août 2005



Graphique 7 : Accord mesure modèle du profil moyen journalier de trafic sur les voies des Berges entre le 1 janvier et le 15 août 2005

D'après ces résultats, le modèle de reconstitution des données horaires du trafic routier permet d'approcher de façon très correcte les données réelles de comptage avec par exemple un coefficient de corrélation de 0.96 entre les mesures et le modèle. Le profil moyen journalier est également bien modélisé. On constate cependant une légère sous estimation des valeurs à reconstituer principalement entre 10 et 19 heures. En conclusion, on peut considérer que notre approche de simulation du trafic est valide, même sur d'autres agglomérations que Nantes, sur laquelle le modèle a été antérieurement calé. On peut constater également la robustesse de cette approche au fil des années, le calage étant réalisé pendant l'année 2000.

LES RÉSULTATS 2004 – 2005 À NANTES

Ce chapitre récapitule les comparaisons entre les concentrations moyennes observées et modélisées sur différentes périodes d'étude pour 5 axes de circulation : la rue Crébillon, le quai de la Fosse (côté bâtiments), le site de la Capitainerie (côté Loire), le boulevard Victor Hugo et la rue de Strasbourg. Quatre polluants font l'objet de cette comparaison : le dioxyde d'azote, les particules PM10, le benzène et le monoxyde de carbone.

Ensuite, différents paramètres influençant les concentrations sont étudiés : la vitesse du vent, la direction du vent et le trafic horaire. Une présentation d'un modèle mathématique simplifié basée sur la configuration des rues et le trafic routier est également réalisée.

L'accord mesure - modèle

Une comparaison mesure modèle a été réalisée pour quatre polluants en fonction des données de mesure disponibles sur 5 axes de circulation de la ville de Nantes : la rue Crébillon, le boulevard Victor Hugo, la rue de Strasbourg, le quai de la Fosse (côté bâtiments) et la Capitainerie (côté Loire).

Les périodes d'étude peuvent être différentes d'un axe de circulation à l'autre et varient de quelques mois (Quai de la Fosse ou Capitainerie) à une année complète (rue de Strasbourg). Il a été montré que les scores ne dépendent pas de la durée de la période d'étude : des performances comparables sont ainsi observées sur des périodes de quelques mois ou bien sur une année complète. Dans ces conditions, les comparaisons entre rues peuvent être directement réalisées, même si la durée d'étude est différente.

Voie	Période de comparaison	Nombre de mois
Rue Crébillon 2004	Avril à décembre	9
Rue Crébillon 2005	Janvier à mi-août	7.5
Bd V. Hugo 2004	Janvier à décembre	12
Bd V. Hugo 2005	Janvier à mi-août	7.5
Rue de Strasbourg 2004	Janvier à décembre	12
Rue de Strasbourg 2005	Janvier à juin	6
Quai de la Fosse	Octobre 2004 à janvier 2005	3
Capitainerie	Mi-décembre 2004 à janvier 2005	1.5

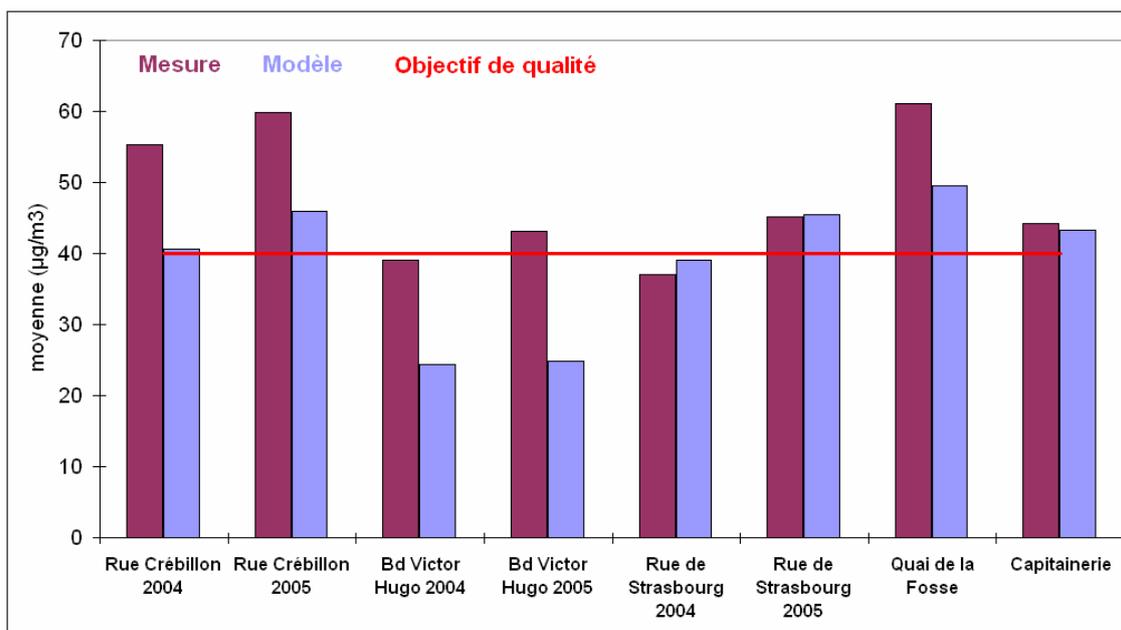
Tableau 4 : Périodes de l'étude de modélisation

Le tableau suivant récapitule la comparaison entre les concentrations moyennes ou bien le percentile 98 (niveaux de pointe) observés et modélisés sur la période d'étude. L'écart en % permet de juger rapidement de la différence entre les observations et le modèle. Le NMSE (Normaliser Mean Square Error) permet également de définir l'accord mesure modèle sur les moyennes horaires. Plus il est faible, meilleur est l'accord. Un NMSE inférieur à 20 correspond à une modélisation de bonne qualité. La corrélation sur les valeurs horaires est jugée correcte lorsqu'elle est supérieure à 0,70. Les calculs de NMSE et de corrélation n'ont pas été étendus au benzène et au monoxyde de carbone, les concentrations n'ayant pas pu être modélisés au niveau horaire en l'absence de données urbaines de fond à cette résolution. Pour ces 2 polluants, la comparaison mesure modèle a été limitée à la moyenne sur la période d'étude.

Polluant	Voie	Moyenne			Percentile 98			Moyennes horaires	
		Mesure	Modèle	Ecart (%)	Mesure	Modèle	Ecart (%)	NMSE	Corrélation
NO ₂	Rue Crébillon 2004	55	41	-26%	127	88	-31%	21,7	0,74
	Rue Crébillon 2005	60	46	-23%	138	103	-26%	17,6	0,78
	Bd Victor Hugo 2004	39	24	-38%	96	67	-30%	43,4	0,78
	Bd Victor Hugo 2005	43	25	-42%	122	74	-39%	47,1	0,76
	Rue de Strasbourg 2004	37	39	6%	82	89	8%	10,8	0,8
	Rue de Strasbourg 2005	45	46	1%	103	100	-3%	14,1	0,75
	Quai de la Fosse	61	50	-19%	142	93	-34%	10,8	0,81
	Capitainerie	44	43	-2%	87	90	3%	11,6	0,78
PM ₁₀	Rue Crébillon 2004	30	24	-19%	63	60	-5%	15,8	0,78
	Rue Crébillon 2005	27	24	-11%	60	60	0%	14,2	0,73
	Bd Victor Hugo 2004	22	18	-16%	57	45	-20%	19,5	0,7
	Bd Victor Hugo 2005	22	18	-17%	59	46	-22%	22,6	0,68
	Quai de la Fosse	30	27	-9%	72	76	6%	13,9	0,72
	Capitainerie	19	18	-5%	51	50	-2%	18,8	0,69
C ₆ H ₆	Rue Crébillon 2004	4	3,1	-23%					
	Bd Victor Hugo 2004	2,8	2,1	-25%					
CO	Rue Crébillon 2004	931	765	-18%					
	Rue Crébillon 2005	770	773	0%					
	Bd Victor Hugo 2004	579	530	-8%					
	Bd Victor Hugo 2005	346	504	46%					
	Rue de Strasbourg 2004	658	624	-5%					
	Rue de Strasbourg 2005	624	667	7%					
Quai de la Fosse	1246	967	-22%						

Tableau 5 : Bilan de l'accord mesure modèle

Le dioxyde d'azote

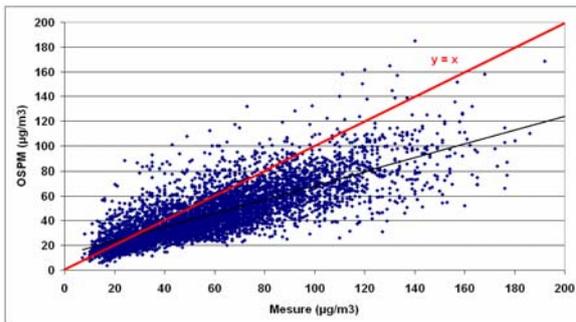


Graphique 8 : accord mesure modèle pour le dioxyde d'azote

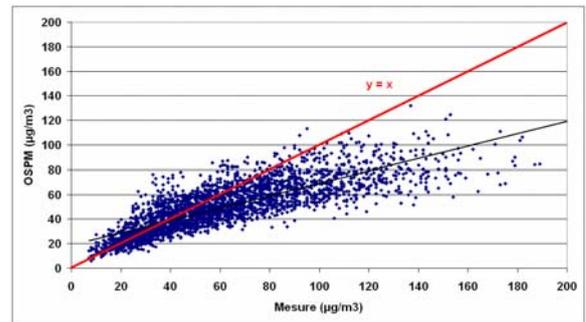
- La modélisation de la moyenne en dioxyde d'azote au niveau de la rue de Strasbourg et du site de la Capitainerie est très satisfaisante avec des écarts inférieurs à 10 %. La rue de Strasbourg est homogène en terme de configuration et correspond aux critères pour lesquels OSPM est adapté. La situation pour le site de la Capitainerie est particulièrement intéressante puisqu'elle prouve la possibilité pour OSPM de simuler correctement les concentrations lorsque la configuration de la rue est en L.
- Même si des écarts supérieurs à 20 % sont observés entre les niveaux mesurés et modélisés, les performances d'OSPM pour le dioxyde d'azote sont correctes si on excepte la situation du boulevard Victor Hugo. Le NMSE est en effet dans l'ensemble inférieur ou égal à 20 et les coefficients de corrélation sont compris entre 0.7 et 0.8 ce qui correspond à une modélisation de bonne qualité. Les performances pour les niveaux de pointe (percentile 98) sont proches de celles de la moyenne sur la période d'étude,
- Il est constaté une sous estimation des concentrations en dioxyde d'azote sur les axes suivants : rue Crébillon, boulevard Victor Hugo et dans une moindre mesure sur le Quai de la Fosse. Une étude de janvier 2003 [1] a également mis en évidence le phénomène de tendance à la sous-estimation des niveaux par le modèle OSPM. Le module d'émission de ce modèle est en effet basé sur la méthodologie COPERT III et ne prend pas en compte en particulier les sur-émissions dues à l'accélération des véhicules. Des écarts significatifs de l'ordre de 40 % sont par exemple calculés boulevard Victor Hugo. Cette situation a déjà été observée [1] et peut s'expliquer aussi par la configuration du boulevard, éloignée d'une géométrie « canyon » puisqu'elle est bordée de bâtiments de hauteurs très inégales (cf. tableau 1). Dans le cas de la rue Crébillon (sous-estimation de l'ordre de 25 %), on peut avancer deux hypothèses complémentaires : 1/ le développement vertical de plusieurs vortex dans la rue [6] ; dans ce cas, l'influence des tourbillons supérieurs peuvent agir tels que des couvercles en limitant l'évacuation des polluants accumulés dans la rue, situation qui n'est pas modélisée par OSPM. 2/ la pente de la rue Crébillon est significative et entraîne des sur-émissions non prises en compte par OSPM,
- Cette tendance à la sous-estimation devra être intégrée lors des prochaines études de cartographies des rues. Il est ainsi envisagé de classer les rues en fonction du degré de continuité du bâti afin d'identifier les rues présentant un faible degré « canyon ». Les résultats propres à ce type de rue devront alors être modérés, en indiquant la probable sous-estimation des concentrations. Il n'est pas envisageable à l'heure actuelle de majorer ces résultats d'un coefficient fixe, la base de données de calage d'OSPM devant être encore nourrie.

Des exemples graphiques de comparaison horaire mesure modèle sont donnés ci-dessous pour différents axes de circulation :

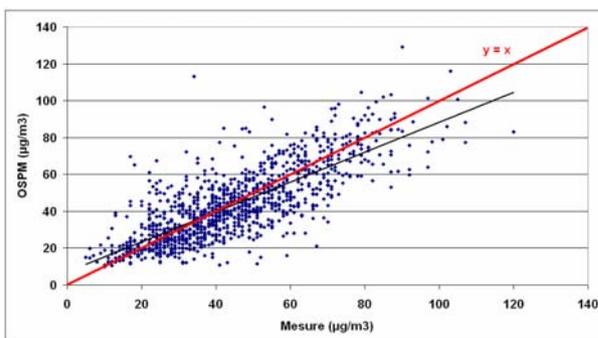
Accords mesure modèle sur les moyennes horaires en dioxyde d'azote pour 4 rues de Nantes



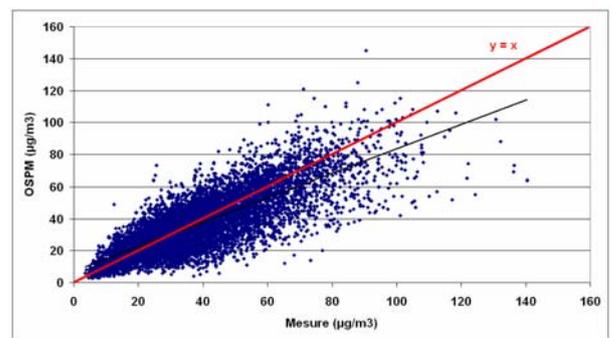
Graphique 9 : Rue Crébillon de janvier à août 2005



Graphique 10 : Quai de la Fosse entre octobre 2004 et janvier 2005

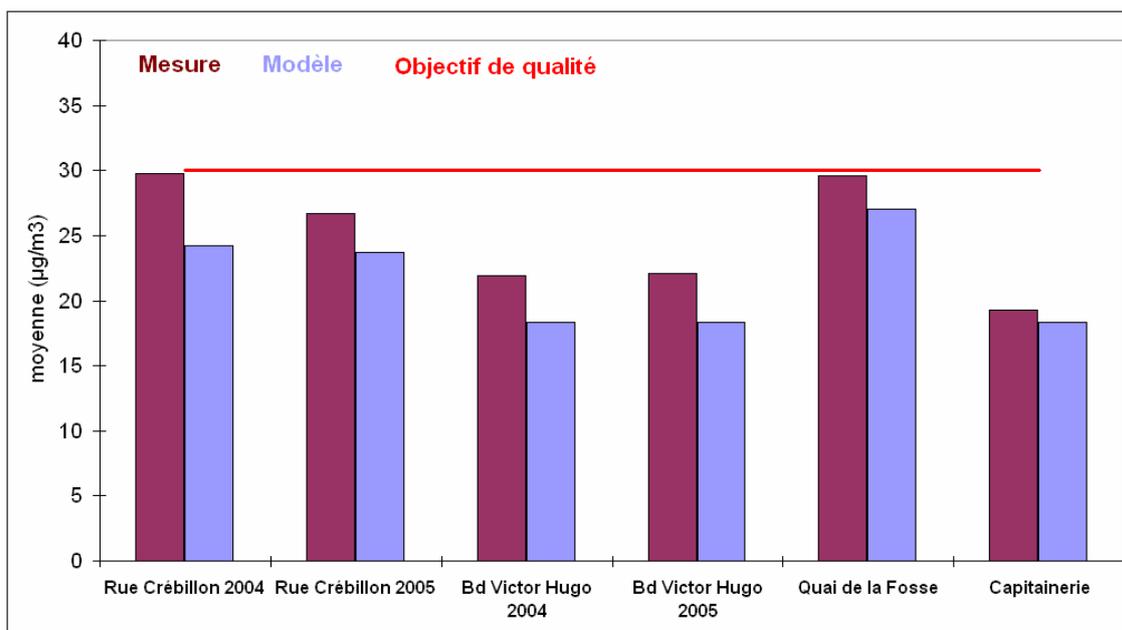


Graphique 11 : Site de la Capitainerie entre décembre 2004 et janvier 2005



Graphique 12 : Rue de Strasbourg entre janvier et décembre 2004

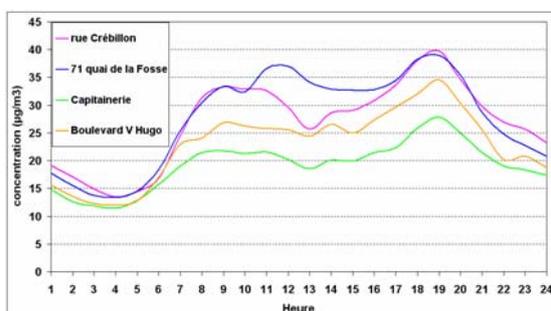
Les particules PM10



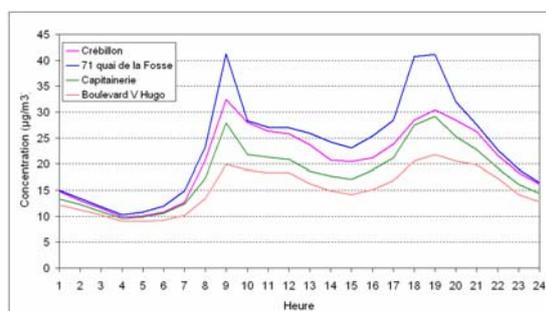
Graphique 13 : accord mesure modèle pour les particules PM10

Une tendance globale à la sous-estimation des concentrations moyennes en PM10 est observée mais l'écart est inférieur à 20 % sur l'ensemble des rues étudiées. Les critères NMSE et coefficients de corrélation sont également très corrects. Cette situation favorable pour ce polluant est liée aux améliorations apportées sur le parc automobile et particulièrement la bonne prise en compte, dans notre étude, du pourcentage de véhicules diesel (plus de 50 % actuellement) – cf. analyse dans le chapitre précédent.

Profils moyens journaliers en PM10 entre le 16 décembre 2004 et le 31 janvier 2005



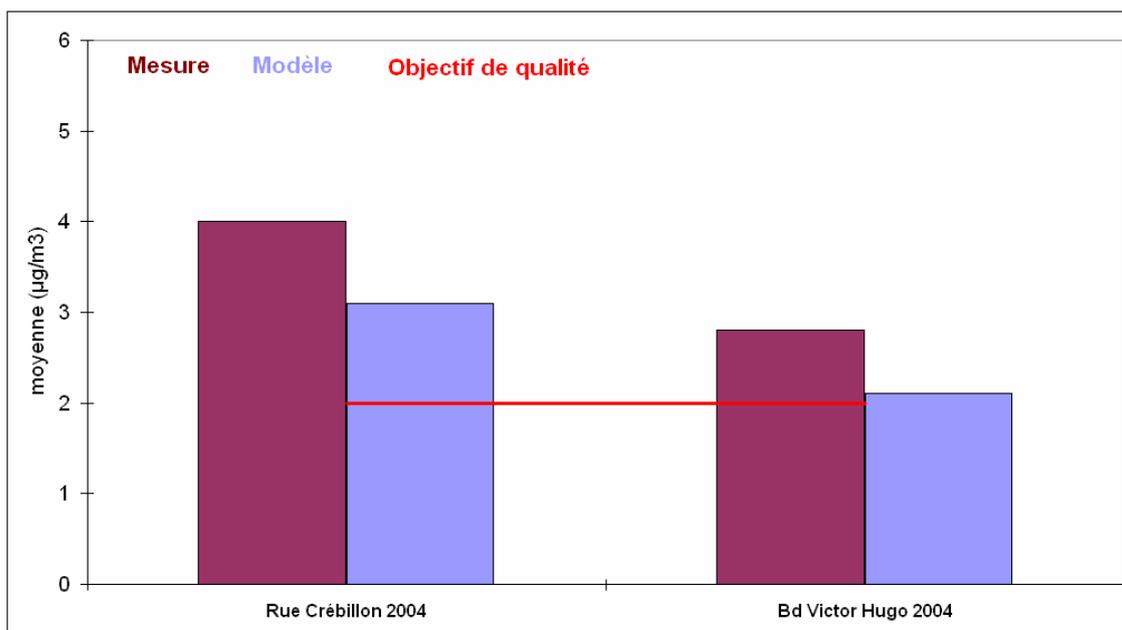
Graphique 14 : Résultats des mesures en sites fixes



Graphique 15 : Résultats du modèle OSPM

- Le côté bâtiment au Quai de la Fosse est exposé où une pollution particulaire significativement plus élevée que le côté Loire aérée (Capitainerie) avec un écart de 22 % évalué par le modèle OSPM contre 32 % pour les résultats issus des sites fixes de mesure.
- Les niveaux en particules modélisées sont 13 % plus faibles dans la rue Crébillon par comparaison à ceux modélisés dans le Quai de la Fosse côté bâtiment. Cette légère supériorité des niveaux Quai de la Fosse a été confirmée par les mesures mais à un degré moindre (4 % entre la pollution moyenne au 71 Quai de la Fosse et dans la rue Crébillon).

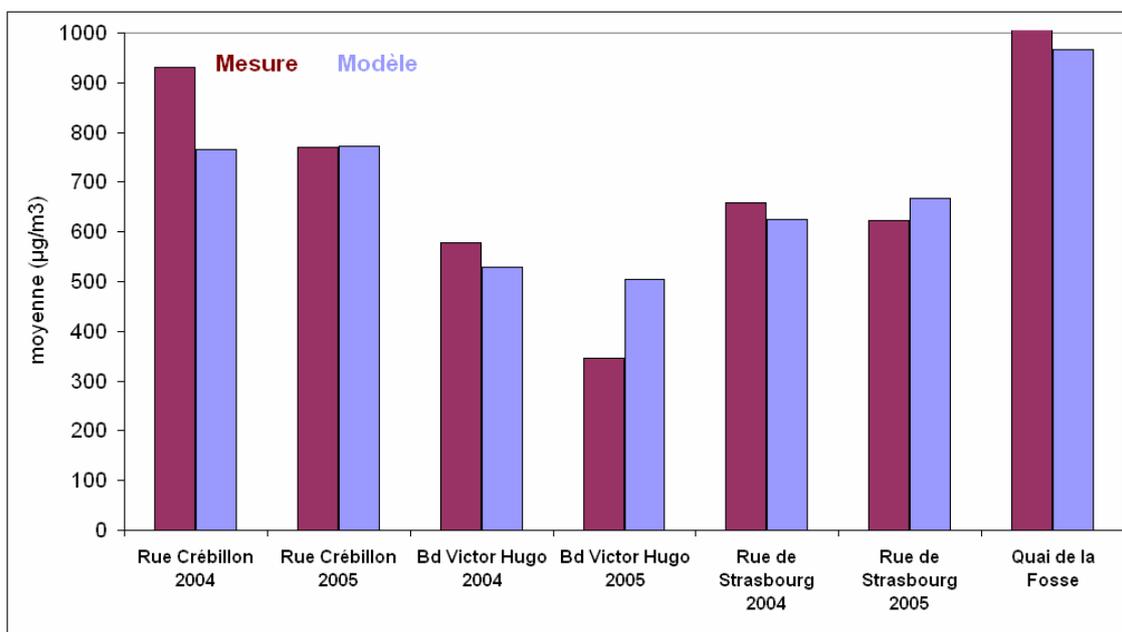
Le benzène



Graphique 16 : accord mesure modèle pour le benzène

Comme pour les autres polluants, il est constaté une sous estimation des concentrations moyennes en benzène par OSPM, d'environ 25 %. En revanche, le modèle reproduit correctement la hiérarchisation de la pollution entre les deux rues. OSPM prend également bien en compte la baisse régulière des niveaux en benzène depuis quelques années, liée à l'introduction de véhicules de moins en moins polluants.

Le monoxyde de carbone



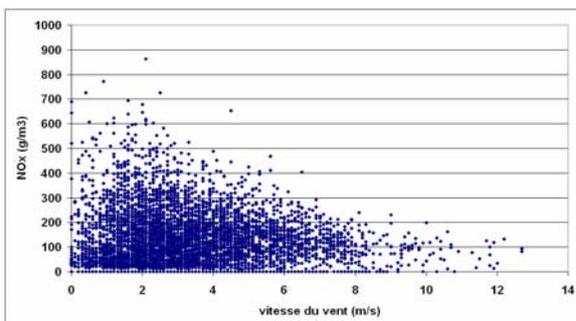
Graphique 17 : accord mesure modèle pour le monoxyde de carbone

Les performances du modèle pour le monoxyde de carbone en moyenne sur la période d'étude sont très satisfaisantes, avec un écart compris entre 5 et 20 %, si on excepte le boulevard Victor Hugo en 2005. OSPM rend compte de la hiérarchisation entre les rues : maximum pour le quai de la Fosse, minimum pour le boulevard Victor Hugo.

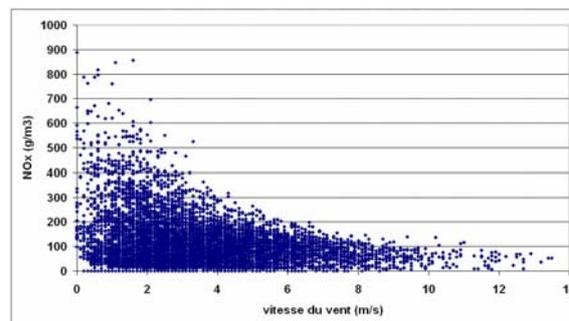
Influence de la vitesse du vent

Les graphiques ci-dessous représentent l'influence de la vitesse du vent sur les concentrations horaires en oxydes d'azote et en particules PM10 observées et modélisées sur la rue Crébillon en 2004. Des profils comparables ont été obtenus sur le Quai de la Fosse, côté bâtiment.

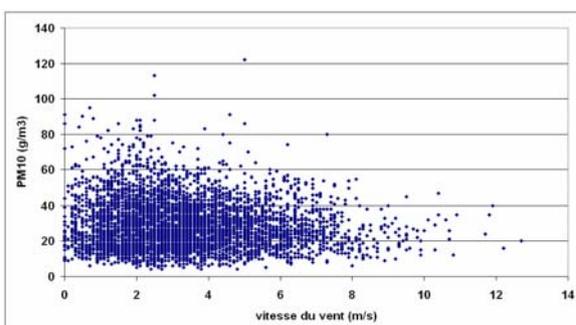
Influence de la vitesse du vent sur les concentrations de la rue Crébillon en 2004



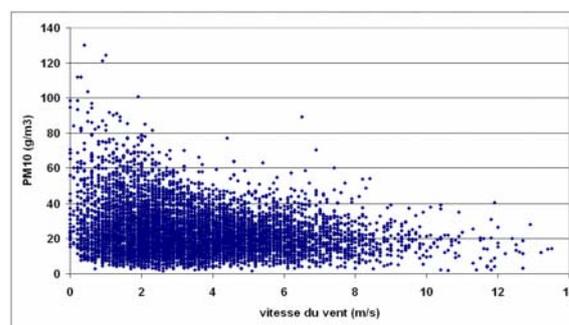
Graphique 18 : Influence sur les concentrations mesurées en oxydes d'azote



Graphique 19 : Influence sur les concentrations modélisées en oxydes d'azote



Graphique 20 : Influence sur les concentrations mesurées en particules PM10



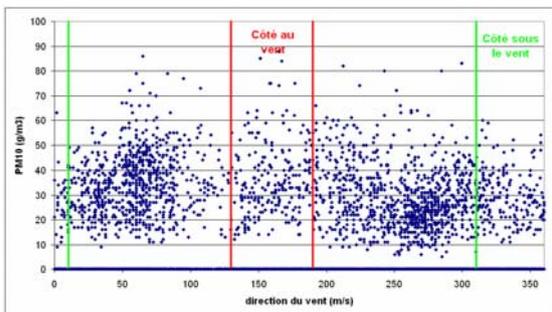
Graphique 21 : Influence sur les concentrations modélisées en particules PM10

- Pour les oxydes d'azote, il est constaté une décroissance des concentrations avec la vitesse du vent. Au-delà de 6m/s, les niveaux sont systématiquement inférieurs à 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La structure des résultats des mesures et du modèle est proche mais celle d'OSPM est plus régulière, ce qui est logique puisque dans les équations qui décrivent l'écoulement de l'air dans les rues « canyons », la concentration dans la rue est inversement proportionnelle à la vitesse du vent, notamment,
- Pour les particules PM10, on observe également une influence de l'augmentation de la vitesse du vent qui provoque une diminution des concentrations. Mais pour ce polluant, la relation est moins claire que pour les oxydes d'azote. Une étude [7] réalisée en 2003 a en effet montré que les concentrations en particules PM10 sont moins sensibles à la variation de la vitesse du vent. Par exemple, sur la rue de Strasbourg en 2002, il a été calculé qu'une augmentation de 40 % de la vitesse du vent conduisait à une diminution de 15% des niveaux en oxydes d'azote tandis que cette décroissance était limitée à 5 % pour les PM10.

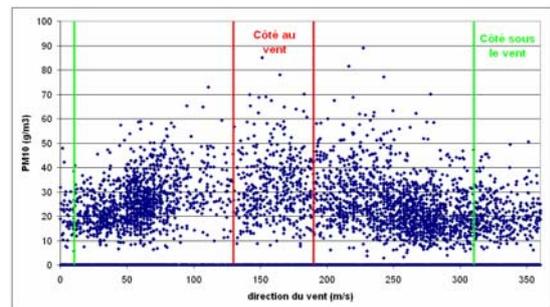
Influence de la direction du vent

Cette influence a été étudiée pour les particules PM10 sur la rue Crébillon en 2004. Ce polluant a été choisi en raison des performances d'OSPM. Afin de réduire la variation des concentrations en fonction des émissions, seules les heures diurnes comprises entre 7 heures et 19 heures ont été considérées. De plus, seules les heures pour lesquelles les vents étaient établis (vitesse du vent supérieure à 2 m/s) ont été sélectionnées.

Influence de la direction du vent sur les concentrations horaires sur particules PM10 dans la rue Crébillon en 2004

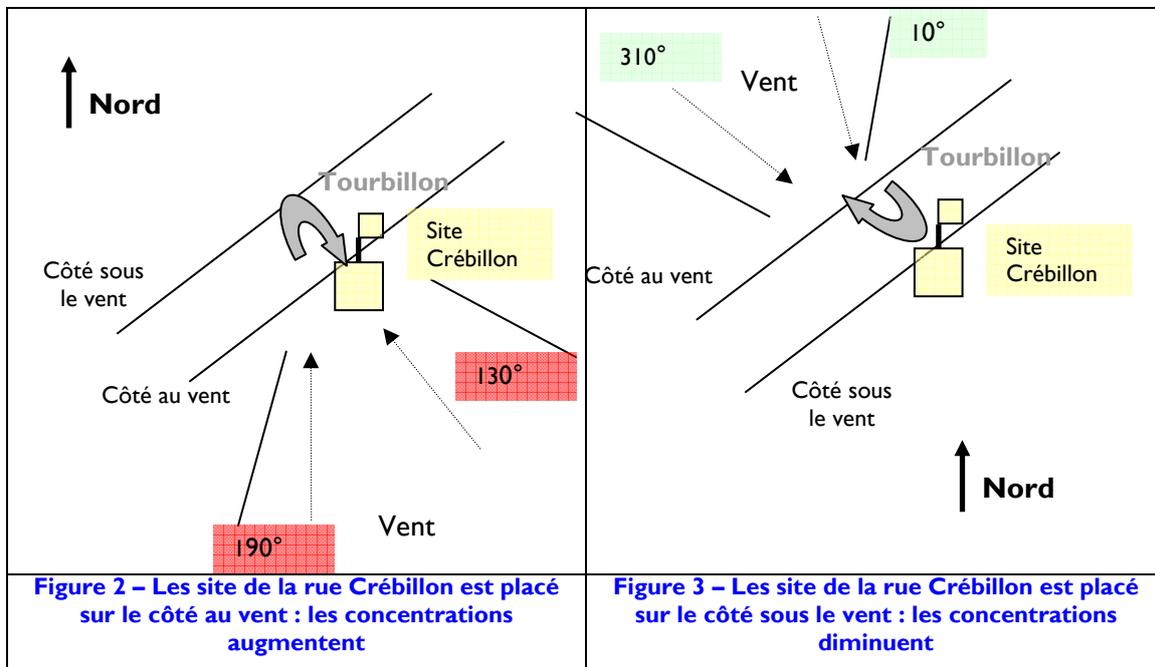


Graphique 22 : Influence sur les concentrations observées



Graphique 23 : Influence sur les concentrations modélisées

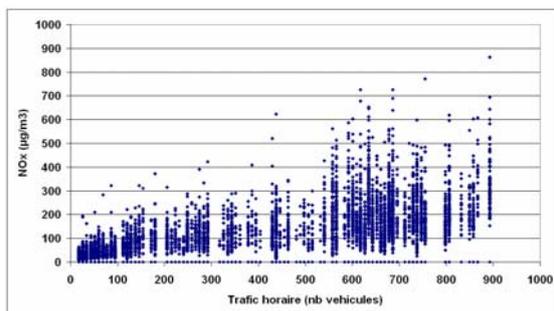
Ces graphiques montrent une relation entre les concentrations et la direction du vent. Lorsque le site de la rue Crébillon est sur le côté au vent (DV = 130 à 190 °), les concentrations ont tendance à augmenter par rapport à la situation où le site est placé sur le côté sous le vent - DV = 310 – 10 ° (cf. figures 2 et 3). En effet, dans le premier cas, le tourbillon créé dans la rue canyon a tendance à concentrer la pollution vers le site.



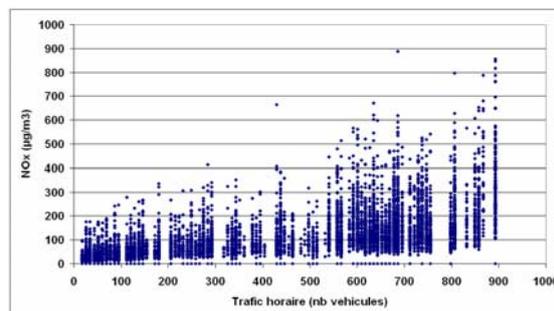
Comme rappelé précédemment, une étude de 2003 [1] sur Nantes a indiqué que la différence de concentration peut ainsi atteindre entre 5 et 20 % suivant le polluant et l'orientation de la rue par rapport aux vents dominants. Notons qu'une telle relation n'a pas été constatée sur le quai de la Fosse avec une influence de la direction du vent quasi-nulle. Sur cet axe, c'est principalement la configuration de la rue qui prédomine avec des concentrations plus élevées côté bâtiments.

Influence du trafic routier

Influence du trafic horaire sur les concentrations en NO_x mesurées et modélisées dans la rue Crébillon en 2004



Graphique 24 – Influence sur les concentrations observées



Graphique 25 – Influence sur les concentrations modélisées

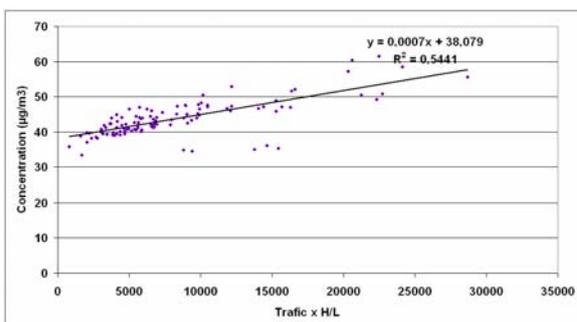
Ces graphiques montrent que logiquement, les niveaux de pollution augmentent avec le trafic horaire. La structure des deux figures est très proche et montre un bon accord mesure modèle. Rappelons que le trafic présenté ici est un trafic modélisé (cf. un exemple de comparaison avec les observations dans les graphiques 1 et 2).

La relation trafic – concentrations n'est pas linéaire puisque pour un même trafic, il peut être constaté une variation d'autres paramètres ayant une influence sur les concentrations dans la rue : citons par exemple, la vitesse du vent et la direction du vent.

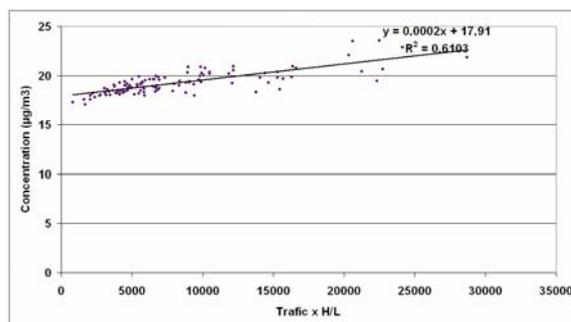
Conclusions sur les paramètres d'entrée du modèle

Trois paramètres ont été étudiés dans cette étude : la vitesse et la direction du vent, et le niveau de trafic. L'influence de la configuration des rues (hauteur des bâtiments et largeur de la rue) n'a pas été testé en raison du faible nombre d'axes de circulation pris en compte. On constate toutefois globalement, que des niveaux nettement supérieurs de pollution ont été mesurés ou modélisés rue Crébillon avec un rapport hauteur / largeur de 2.3 par rapport au boulevard Victor Hugo présentant une structure éloignée d'une configuration canyon.

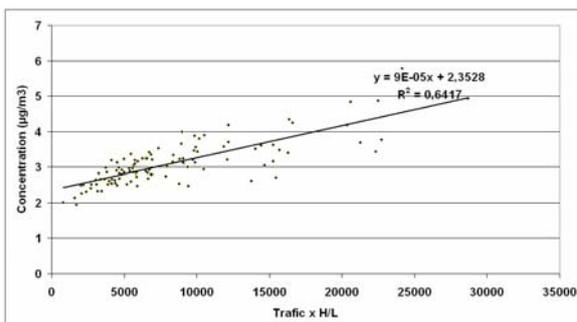
C'est en réalité la combinaison de deux types principaux de paramètres propres à la rue qui conditionnent les niveaux de pollution : le rapport entre la hauteur des bâtiments et largeur de la rue, d'une part et le trafic sur l'axe de circulation, d'autre part. Une étude d'août 2003 [7] a ainsi montré qu'il est possible de construire un modèle simple de prévision de la pollution dans 80 rues canyons de Nantes basée sur la connaissance de ces paramètres. Ces modèles sont présentés dans les graphiques suivants :



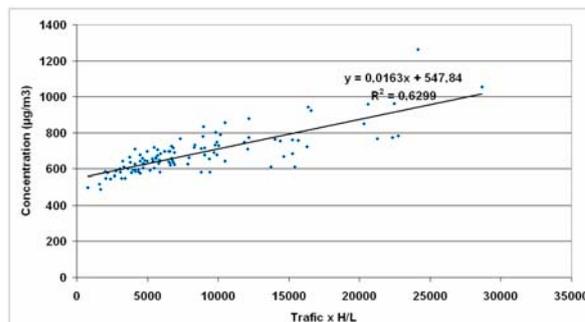
Graphique 26 : Concentrations annuelles 2001 en NO2 en fonction du produit trafic x H/L



Graphique 27 : Concentrations annuelles 2001 en PM10 en fonction du produit trafic x H/L



Graphique 28 : Concentrations annuelles 2001 en C6H6 en fonction du produit trafic x H/L



Graphique 29 : Concentrations annuelles 2001 en CO en fonction du produit trafic x H/L

Ces modèles simplifiés peuvent permettre une rapide approximation de la concentration d'un polluant, à condition de disposer du trafic journalier moyen de la rue et de son rapport H/L. Cette approche ne remplace pas le calcul rigoureux effectué par le modèle OSPM, puisqu'il peut être constaté ponctuellement sur ces graphiques des écarts jusqu'à 40 % entre le modèle simplifié et OSPM. D'autre part, ce modèle n'est valable que pour l'année considérée, les paramètres d'entrée variant d'une année sur l'autre (parc automobile et météorologie, par exemple).

Il est intéressant de noter que l'étude comparative des mesures réalisées conjointement dans la rue Crébillon et au niveau du Quai de la Fosse confirme ces résultats.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude portant sur l'évaluation de la qualité de l'air en situation de proximité automobile et basée sur 2 approches complémentaires (Mesures et Modélisation) a permis de dégager les conclusions suivantes :

Approche Mesures

Les niveaux en NO₂ dans la rue Crébillon sont supérieurs à la valeur limite annuelle et à fortiori à l'objectif de qualité.

Trois dépassements du seuil d'information pour NO₂ ont été mesurés les 05/10/04, 09/02/05 et 15/03/05.

Les niveaux de poussières et de CO demeurent inférieurs aux valeurs réglementaires.

Les niveaux de pollution dans la rue Crébillon et sur le Quai de la fosse du côté bâtiment sont sensiblement équivalents tandis qu'une baisse de la pollution évaluée entre -20% et -30% selon les polluants est enregistrée sur le Quai de la Fosse en bordure de Loire par comparaison au côté bâtiment.

Le suivi de la pollution dans la rue Crébillon sera poursuivie jusqu'en fin 2005 afin de déterminer de façon stricte les dépassements des valeurs réglementaires.

Dans le cadre du Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air, il est prévu la réalisation de campagnes annuelles sur d'autres sites de trafic de la région ; citons par exemple les mesures effectuées Voies des Berges à Angers en 2005, dans la rue Maréchal Joffre à Nantes et rue Nationale à Cholet en 2006.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Approche par Modélisation

La modélisation de 5 axes de circulation de la ville de Nantes de janvier 2004 à août 2005 permet de tirer les enseignements suivants :

- La modélisation des données horaires du trafic routier permet d'approcher de façon très correcte les données réelles de comptage
- Les écarts mesure – modèle observés sur les concentrations sont acceptables, de l'ordre de 20 %, en particulier pour les particules PM10 et le monoxyde de carbone. Les résultats sur le côté aéré du Quai de la Fosse montrent la bonne capacité du modèle à appréhender les niveaux de pollution dans les rues en L,
 - Il est constaté une sous estimation quasi systématique de la pollution par le modèle, de 5 à 20 %, ponctuellement supérieure ; Les résultats obtenus doivent donc être nuancés, en particulier pour les rues non homogènes en terme de bâtiments. Il pourrait être ainsi envisagé de classer les rues en fonction du pourcentage de continuité du bâti. Les résultats propres aux rues faiblement « canyons » rue devront indiquer la probable sous-estimation des concentrations,
- L'étude de différents paramètres d'entrée du modèle permet de conclure que l'augmentation de la vitesse du vent et du trafic routier ont une influence respectivement à la diminution et à la hausse de la pollution. Il est également montré que des directions de vent privilégiées, perpendiculaires à l'axe de la rue, conduisent à l'augmentation des concentrations en polluants,
- Les paramètres prédominants sur les niveaux de pollution de la rue sont la structure de la rue et le trafic routier. La rue Crébillon et le Quai de la Fosse présentent des niveaux de pollution élevés en raison respectivement d'une configuration étroite et encaissée et d'un trafic routier élevé.

Jusqu'en 2009, il est prévu la réalisation de cartographies dans les rues des principales agglomérations des Pays de Loire, comme le prévoit le projet de Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air dans les Pays de la Loire. En particulier, en 2006, il est envisagé une étude dans l'agglomération angevine.

Enfin, d'autres essais de comparaison mesure modèle sont à réaliser pour mieux qualifier les performances d'OSPM dans différentes configurations de rues.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Air Pays de la Loire

ANNEXE 2 : techniques d'évaluation

ANNEXE 3 : type des sites de mesure

ANNEXE 4 : polluants

ANNEXE 5 : seuils de qualité de l'air

annexe I : Air Pays de la Loire

Doté d'une solide expertise riche de vingt-cinq ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréé par le ministère de l'Écologie et du développement durable pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

surveiller pour savoir et comprendre



L'air de la région sous haute surveillance

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une cinquantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

Mesurer où et quand c'est nécessaire

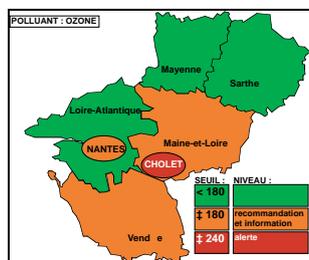
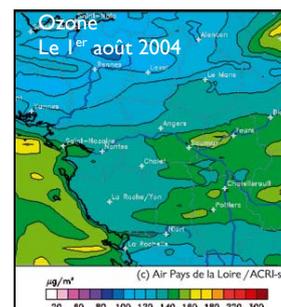
Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

La fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le COFRAC et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

Simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.



Prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à ses logiciels Sib'Air.

informer pour prévenir

Pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...).

Sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées plusieurs fois par jour. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices ATMO, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

Des publications largement diffusées

Chaque mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin Au fil de l'air. Un rapport annuel dresse par ailleurs un état très complet de la qualité de l'air.



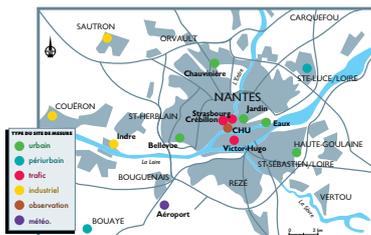
annexe 2 : techniques d'évaluation

Mesures



Les sites fixes permanents :

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une cinquantaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse - Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM10 ou PM2,5, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où les données sont traitées et servent le cas échéant à activer les procédures d'information et d'alerte.

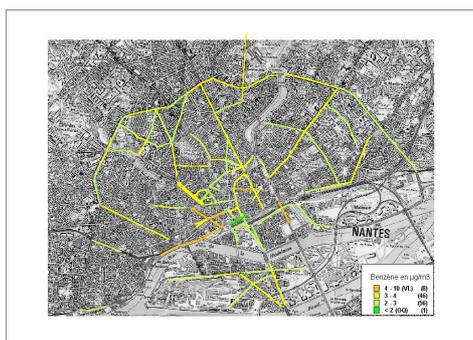


Les laboratoires mobiles :

La région des Pays de la Loire est dotée de deux laboratoires mobiles de surveillance de la qualité de l'air. Ces systèmes, équipés d'analyseurs spécifiques (NO_x , SO_2 , O_3 , PM_{10} , CO) comme les sites fixes, permettent d'établir un diagnostic de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Les applications sont diverses : impact industriel ou urbain, validation de futurs sites permanents, communication,...



Modélisation



Modélisation à l'échelle de la rue : OSPM

OSPM est un modèle destiné à la modélisation des rues « canyons », c'est-à-dire des voies bordées de bâtiments. Il prend en compte la pollution ambiante de l'agglomération, la météorologie, la configuration de la rue et le trafic automobile pour calculer les concentrations de 4 polluants : dioxyde d'azote, benzène, monoxyde de carbone et particules PM_{10} . OSPM est utile pour évaluer, plus rapidement qu'avec des outils de mesure, les risques de dépassement des seuils réglementaires à proximité des voies de circulation.

annexe 3 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



Sites de trafic

Les sites de trafic sont localisés près d'axes de circulation importants, souvent fréquentés par les piétons ; ils caractérisent la pollution maximale liée au trafic automobile.

annexe 4 : polluants

Les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (59 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Les particules (ou poussières)

Les particules ou poussières constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM10), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. On peut citer également les poussières issues des carrières et des cimenteries ainsi que les poussières issues de l'usure des revêtements des routes et des pneus, et, enfin, de l'érosion.

Le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (59 %) par le trafic routier. Le chauffage urbain, collectif ou individuel, vient en deuxième position avec 21 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO₂). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2004

POLLUANT									
TYPE DE SEUIL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	DONNÉE DE BASE	ozone	dioxyde d'azote	oxydes d'azote	poussières (PM10)	plomb	benzène	monoxyde de carbone	dioxyde de soufre
valeurs limites	moy. annuelle	-	52	30 ⁽¹⁾	41	0,5	10	-	20 ⁽²⁾
	moy. hivernale	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽²⁾
	moy. journalière	-	-	-	55 ⁽³⁾	-	-	-	125 ⁽⁴⁾
	moy. 8-horaire	-	-	-	-	-	-	10 000	-
	moy. horaire	-	200 ⁽⁵⁾ 260 ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	380 ⁽⁷⁾
seuils d'alerte	moy. horaire	1 ^{er} seuil : 240 ⁽⁸⁾ 2 ^e seuil : 300 ⁽⁸⁾ 3 ^e seuil : 360	400 200 ⁽⁹⁾	-	-	-	-	-	500 ⁽⁸⁾
seuils de recommandation et d'information	moy. horaire	180	200	-	-	-	-	-	300
objectifs de qualité	moy. annuelle	-	40	-	30	0,25	2	-	50
	moy. journalière	65 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-
	moy. 8-horaire	110	-	-	-	-	-	-	-
	moy. horaire	200 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-

- (1) pour la protection de la végétation
 (2) pour la protection des écosystèmes
 (3) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel)
 (4) à ne pas dépasser plus de 3j par an (percentile 99,2 annuel)
 (5) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel)
 (6) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,8 annuel)

- (7) à ne pas dépasser plus de 24h par an (percentile 99,7 annuel)
 (8) à ne pas dépasser plus de 3h consécutives
 (9) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement

seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises

seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée

objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mise en œuvre et validation de WinOSPM (Operational Street Pollution Model) sur trois rues de Nantes – Air Pays de la Loire – Janvier 2003
- [2] Gokhale, S., Rebours, A. and Pavageau, M. - The performance evaluation of WinOSPM model for urban street canyons of Nantes in France, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 100, 153-176 , 2005
- [3] Caractérisation et cartographie de la qualité de l'air dans les principales rues du centre-ville de Nantes – Air Pays de la Loire – Octobre 2003
- [4] C. Hugrel et al., Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025 – Rapport de convention ADEME-INRETS/LTE – N° 01 03 035
- [5] Optimisation des sorties de modèle de trafic – Nantes – Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest – Janvier 2000
- [6] Laurence Rouil – Evaluation et contraintes d'application des modèles de rue – LCSQA/INERIS – Convention 04000087 – Novembre 2004
- [7] Romain Pierre – Cartographie de la pollution dans les principales rues du centre-ville de Nantes – Stage Ecole Centrale de Nantes/Air Pays de la Loire – août 2003

GLOSSAIRE

abréviations

CO	monoxyde de carbone
NO	monoxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
NO _x	oxydes d'azote (= dioxyde d'azote + monoxyde d'azote)
PM10	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
TU	temps universel
µg microgramme	(= 1 millionième de gramme)

définitions

année civile	période allant du 1er janvier au 31 décembre
heure TU	heure exprimée en Temps Universel (= heure solaire)
hiver	période allant du 1er octobre au 31 mars
moyenne 8-horaire	moyenne sur 8 heures
percentile x	niveau de pollution respecté par x % des données de la série statistique considérée
taux de représentativité	pourcentage de données valides sur une période considérée
valeur cible	niveau de pollution fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée