



## Caractérisation et cartographie de la qualité de l'air dans les principales rues du centre-ville de Nantes

Rapport de synthèse - octobre 2003

# SOMMAIRE

---

Résumé .....	1
1. Introduction .....	4
2. Présentation du modèle OSPM .....	6
3. L'accord mesure modèle .....	9
4. La zone d'étude .....	12
5. Cartographie de la pollution – année 2001 .....	15
6. Cartographie de la pollution – année 2010 .....	25
7. Conclusions et prolongements .....	36
■ Bibliographie .....	39

---

Responsable du projet:  
Réalisation de l'étude :  
Mise en page :  
Validation du document :

Arnaud REBOURS  
Romain PIERRE (Ecole Centrale de Nantes)  
Bérangère POUSSIN  
Luc LAVRILLEUX

# RÉSUMÉ

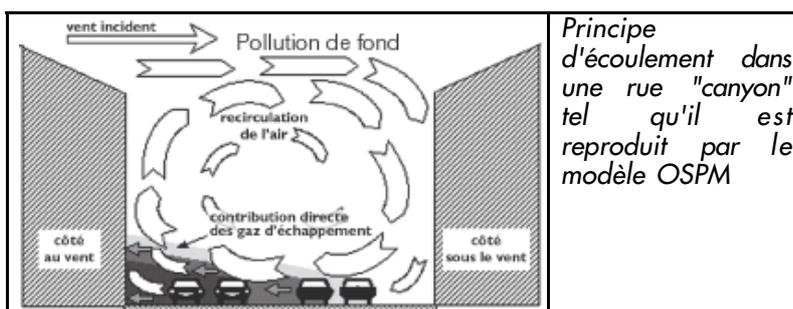
## Un modèle pour estimer la pollution dans les rues

En agglomération, où la pollution provient principalement du trafic routier, la dégradation de la qualité de l'air est principalement observée à proximité immédiate des voies de circulation. L'implantation de systèmes de surveillance de la pollution sur l'ensemble des principales rues des villes n'étant pas envisageable pour des raisons économiques, Air Pays de la Loire s'est doté du logiciel de modélisation OSPM (Operational Street Pollution Model).



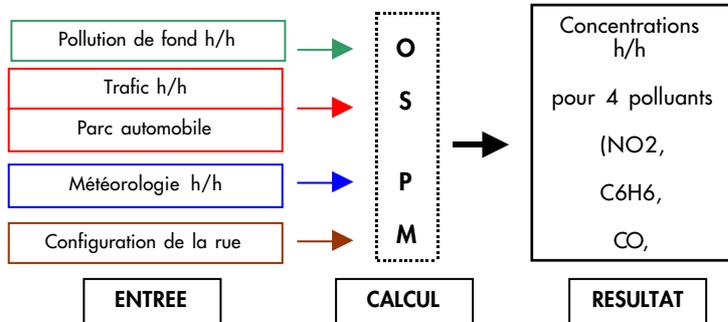
## Cartographier la pollution atmosphérique

Les principaux objectifs de l'étude étaient de caractériser et de cartographier la qualité de l'air sur 80 rues du centre-ville de Nantes et à deux horizons : 2001 et 2010. Il s'agissait d'identifier les rues les plus exposées à la pollution, d'estimer les risques de dépassement des seuils réglementaires et d'évaluer l'amélioration induite par l'application des normes européennes à l'émission des véhicules, de plus en plus sévères. Dans cette étude, le choix a été fait de ne pas traiter les hypothèses d'évolution de la part modale des transports collectifs issues du Plan de Déplacement Urbain de l'agglomération nantaise. L'impact a priori positif de cette évolution pourra être testé ultérieurement à partir des données préliminaires disponibles à Air Pays de la Loire et des informations complémentaires qui pourront être transmises par la Communauté Urbaine de Nantes.



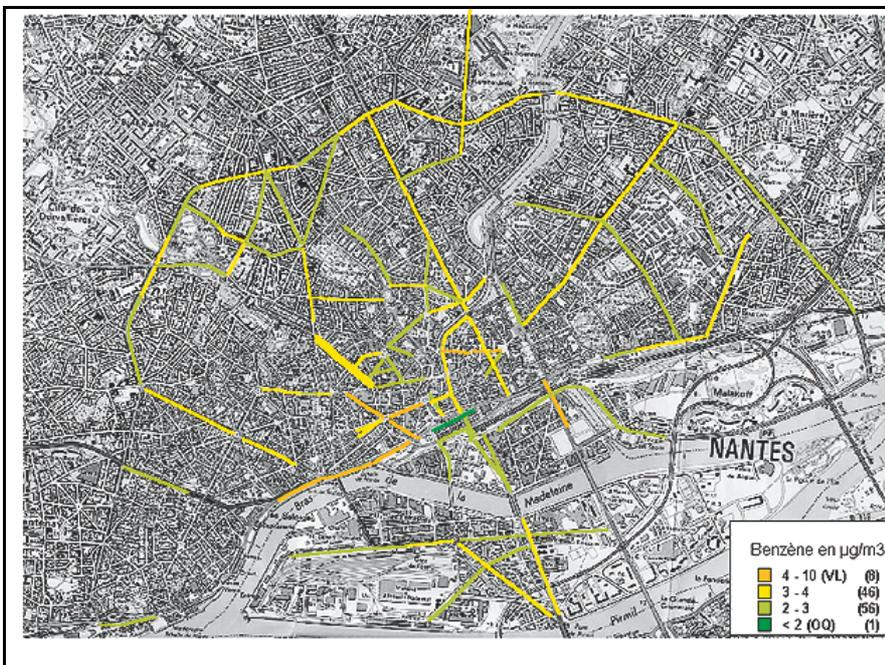
## Le modèle OSPM

OSPM est un modèle destiné à la modélisation des rues "canyons", c'est à dire des voies bordées de bâtiments. 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. Ses performances ont été validées sur 3 rues de Nantes pour lesquelles des données de mesure de pollution étaient disponibles. Il a été montré que le modèle est capable de prédire les moyennes annuelles avec une précision de l'ordre de 15 %. Il s'agit d'une bonne performance puisque l'approche par modélisation reste altérée d'incertitudes dans le domaine de la physico-chimie de l'atmosphère qui fait l'objet de recherches et en raison de la qualité des données d'entrée nécessaire au fonctionnement du modèle.



## Dépassement fréquent des objectifs de qualité en 2001 et amélioration sensible pour 2010

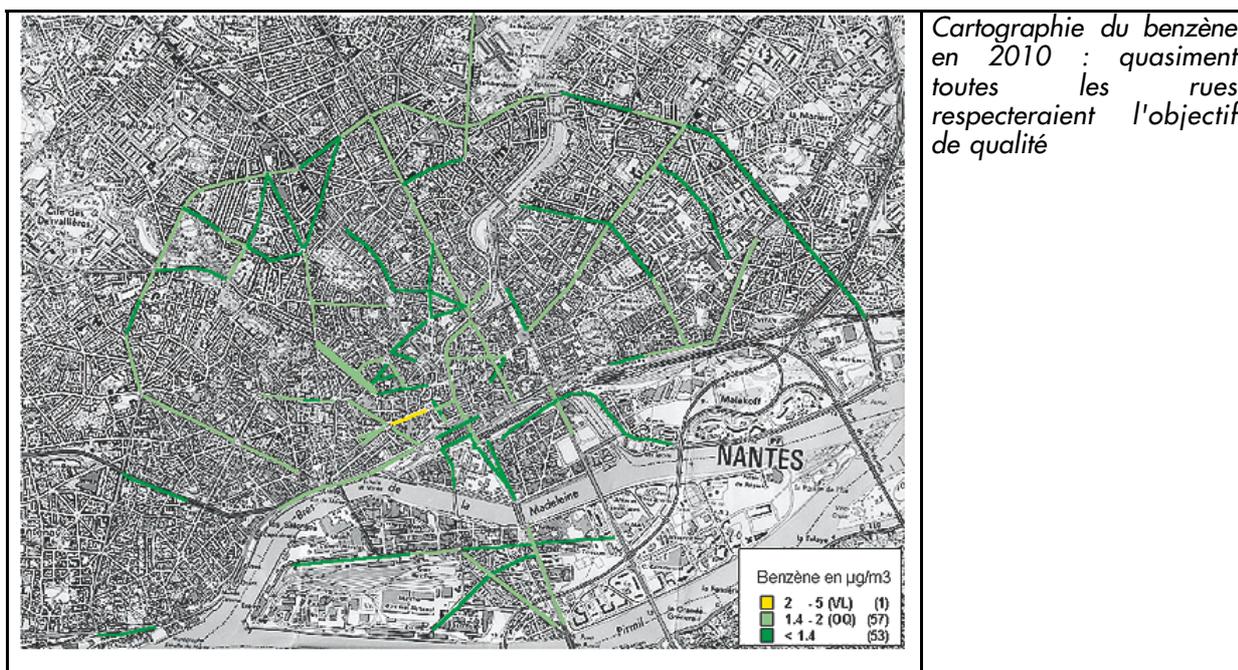
En 2001, les valeurs limites sont respectées pour l'ensemble des polluants considérés. Toutefois, quelques rues approchent ce seuil réglementaire pour le dioxyde d'azote. L'objectif de qualité, à atteindre à long terme, est atteint dans moins d'une rue sur deux pour le polluant dioxyde d'azote, et sur quasiment aucune voie de circulation pour le benzène. En revanche, ce seuil est respecté pour les particules PM10. En l'absence de données de fond pour le monoxyde de carbone, il n'a pas été possible d'évaluer le risque de dépassement des valeurs réglementaires pour ce polluant. Toutefois, sur la base des données générales disponibles, la valeur limite devrait être respectée.



Cartographie du benzène en 2001 : quasiment toutes les rues dépassent l'objectif de qualité

De manière générale, les rues les plus exposées à la pollution sont les voies "canyons" de centre-ville avec une configuration très défavorable à la dispersion de la pollution. Citons, à titre d'exemple et de façon non exhaustive, la rue Crébillon, la rue Racine, la rue Jean Jacques Rousseau, la rue de l'Hôtel de Ville,... Les voies de circulation très fréquentées mais qui ne présentent pas obligatoirement une configuration "canyon" très prononcée sont également exposées aux polluants urbains à l'exemple du quai de la Fosse.

En **2010**, malgré l'augmentation du trafic (de 25 à 40 % selon les zones par rapport à 2001), le modèle OSPM prévoit grâce à la mise en circulation progressive de véhicules de moins en moins polluants, une diminution sensible de la pollution par rapport à 2001 : sur la ville de Nantes, les concentrations seraient ainsi en baisse de 36 % pour le dioxyde d'azote, de 54 % pour le benzène et de 36 % pour le monoxyde de carbone entre les deux horizons. Malgré également la sévérisation des valeurs réglementaires de la qualité de l'air, les objectifs de qualité et a fortiori les valeurs limites seraient respectées en 2010 sur la quasi totalité des rues du centre-ville de Nantes. Ces résultats, issus de techniques de modélisation et basés sur des hypothèses de croissance du trafic et de renouvellement du parc devront être confirmés ultérieurement, notamment par des mesures sur site. En particulier, les projections utilisées dans cette étude prévoient que la proportion de véhicules non-catalysés passeraient de 24 % en 2001 à quasiment 0 % en 2010 alors que d'autres études estiment que le renouvellement serait moins rapide avec une proportion résiduelle de véhicules non-catalysés de 2 à 8 % selon le type de véhicule en 2010. Ces hypothèses pourront être testées ultérieurement. Néanmoins, cette étude le montre, une amélioration très sensible sera avérée à moyen terme.



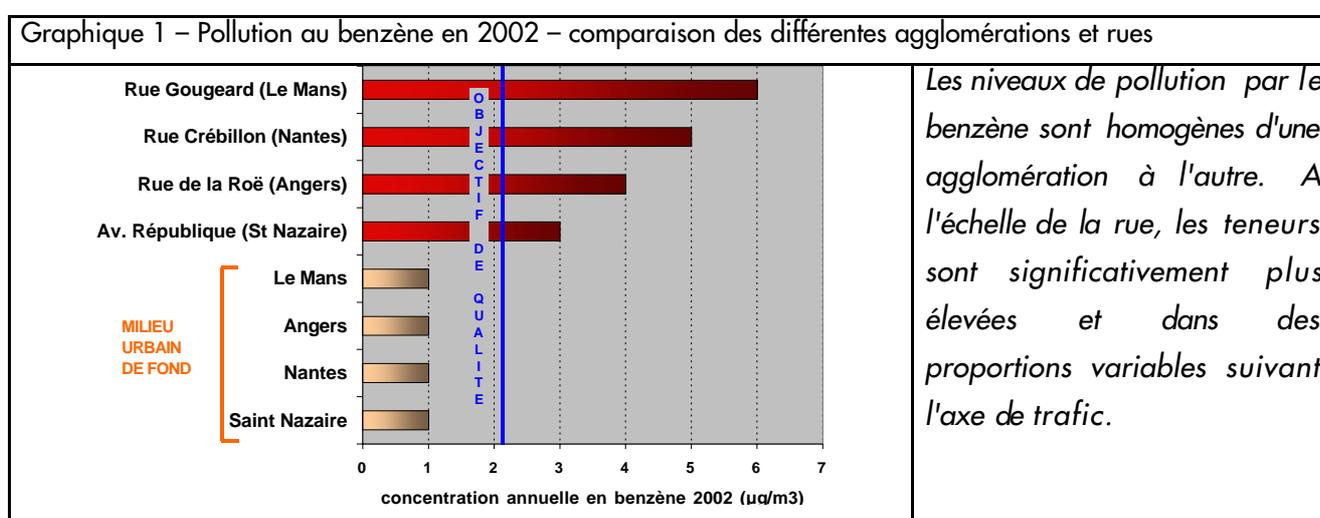
## Prolongements : mesures, cartographie et aide à la décision

Cette étude, riche d'enseignements, est une première étape dans l'amélioration de la connaissance des niveaux de pollution en centre-ville. Elle pourra être prolongée selon les axes suivants : mesure, cartographie et aide à la décision.

- ❑ Air Pays de la Loire procédera dès 2004 à la constitution d'un programme permanent de suivi de la pollution par voie de mesure sur les rues de Nantes identifiées par le modèle comme étant les plus exposées, afin de confirmer les informations fournies par OSPM.
- ❑ En raison des bonnes performances d'OSPM, le modèle, intégré à part entière dans la stratégie de surveillance d'Air Pays de la Loire, pourra être appliqué dans d'autres agglomérations des Pays de la Loire (Le Mans, Angers, Saint Nazaire,...). A l'exemple de cette étude, des cartographies seront établies de manière à présenter aux autorités publiques et au grand public une information locale, prospective, fiable et lisible.
- ❑ Ces éléments constitueront une information de base pour l'aide à la décision en matière de gestion de la qualité de l'air en centre ville. OSPM pourrait aussi être appliqué aux Plans de Déplacement Urbain, notamment dans l'agglomération nantaise, en complément des autres systèmes de modélisation utilisés à Air Pays de la Loire, de manière à quantifier l'anticipation que ces Plans pourraient apporter en matière de retour à une qualité de l'air favorable dans les centres urbains.

# 1 - INTRODUCTION

En agglomération, la pollution atmosphérique provient principalement du trafic routier. La surveillance de cette pollution est réalisée sur les sites urbains de fond, c'est à dire en des lieux éloignés de sources directes de pollution, et sur les sites de trafic implantés en bordure immédiate des voies de circulation et exposés à des pointes locales de pollution. Le milieu urbain de fond est bien caractérisé par le réseau fixe d'Air Pays de la Loire. En revanche, seules 8 rues dans les Pays de la Loire en 2003, choisies en fonction du niveau de trafic ou de leur configuration, sont équipées d'un système permanent de contrôle de la qualité de l'air alors que les niveaux de pollution varient rapidement d'une voie de circulation à l'autre (cf. graphique 1).



Dans ces conditions, il n'est ni possible ni envisagé, pour des raisons économiques, d'instrumenter en système de surveillance l'ensemble des rues des agglomérations. Or, le développement récent de méthodes de calculs mathématiques rend maintenant possible l'évaluation systématique, à condition de disposer de données suffisantes, de la pollution à l'échelle de la rue. Pour évaluer cette pollution dans des secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire s'est doté d'un système de modélisation de la qualité de l'air adapté à cette échelle, le logiciel OSPM.

Un premier travail [1], [2] a été réalisé en 2002 pour confronter les sorties de ce modèle aux données issues des systèmes de mesure d'Air Pays de la Loire installés en bordure de la rue Crébillon, de la rue de Strasbourg et du boulevard Victor Hugo à Nantes. Les résultats ayant été concluants, l'accord mesure modèle étant vérifié pour différents polluants et différentes échelles temporelles, il a été décidé d'appliquer ce modèle validé pour évaluer la qualité de l'air sur les principales rues du centre-ville de Nantes.

L'étude présentée dans ce rapport a pour objectifs de :

- Cartographier la pollution sur 80 rues du centre-ville de Nantes sur l'année 2001,
- Apporter des éléments d'appréciation sur la qualité de l'air à l'horizon 2010,
- Hiérarchiser les rues en terme d'exposition à la pollution aux deux horizons
- Evaluer les risques de dépassement des seuils réglementaires en 2001 et 2010,
- Présenter les dernières améliorations de l'accord mesure-modèle.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un stage mené durant l'été 2003 par un étudiant en 1<sup>er</sup> année de cycle-ingénieur à l'Ecole Centrale de Nantes, encadré par le pôle de modélisation numérique d'Air Pays de la Loire. Dans cette étude, le choix a été fait de ne pas traiter les hypothèses d'évolution de la part modale des transports collectifs issues du Plan de Déplacement Urbain de l'agglomération nantaise. L'impact à priori positif de cette évolution pourra être testé ultérieurement à partir des données préliminaires disponibles à Air Pays de la Loire et des informations complémentaires qui pourront être transmises par la Communauté Urbaine de Nantes.

Photo 1 – La rue Crébillon à Nantes

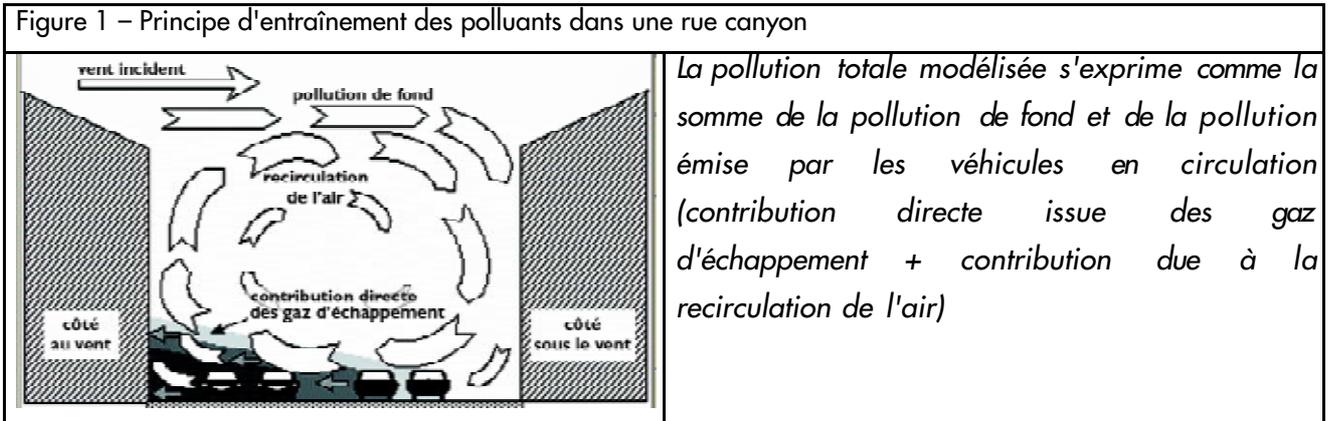


*La rue Crébillon est une des trois rues à avoir servi de base à la validation du modèle OSPM. Cette rue est particulièrement adapté au modèle en raison de son caractère "canyon", caractéristique d'une rue étroite et encaissée. Une rue "canyon" est considérée comme favorable à l'accumulation de la pollution dès que le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur de la rue est supérieure à la valeur de 0,7.*

## *2. PRESENTATION DU MODELE OSPM*

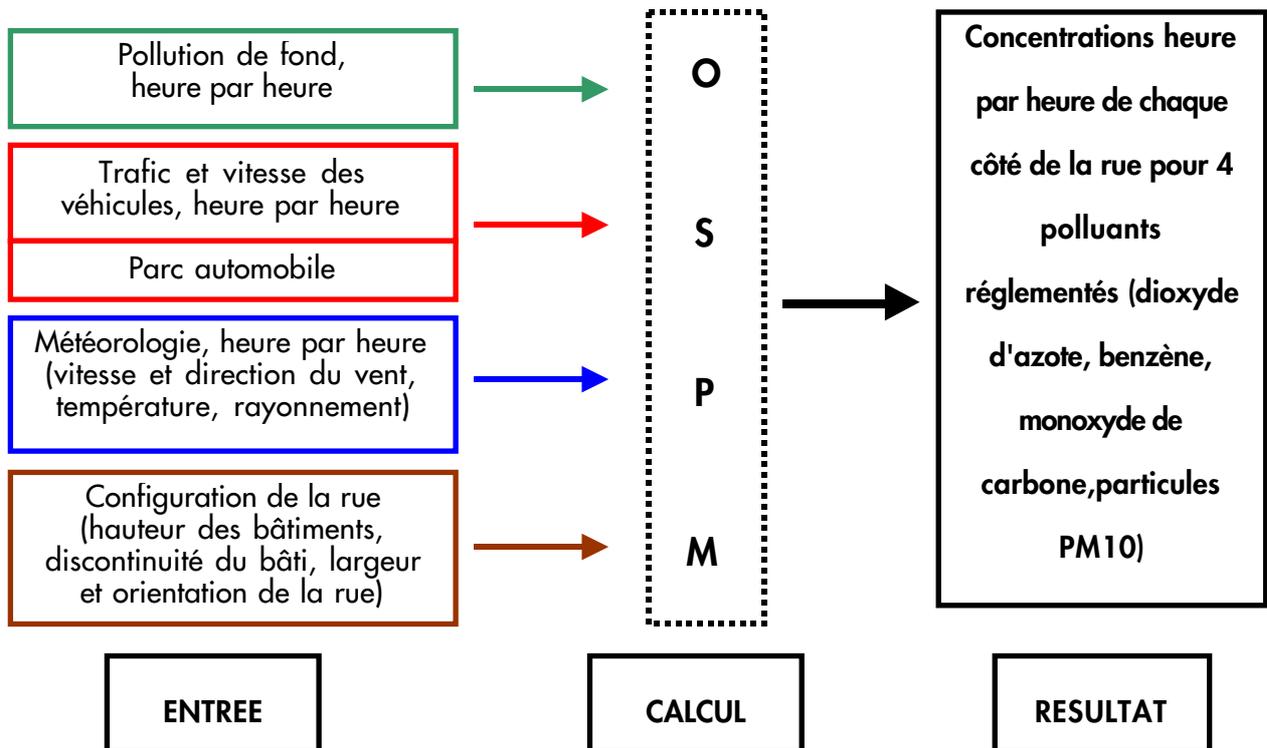
---

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).



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



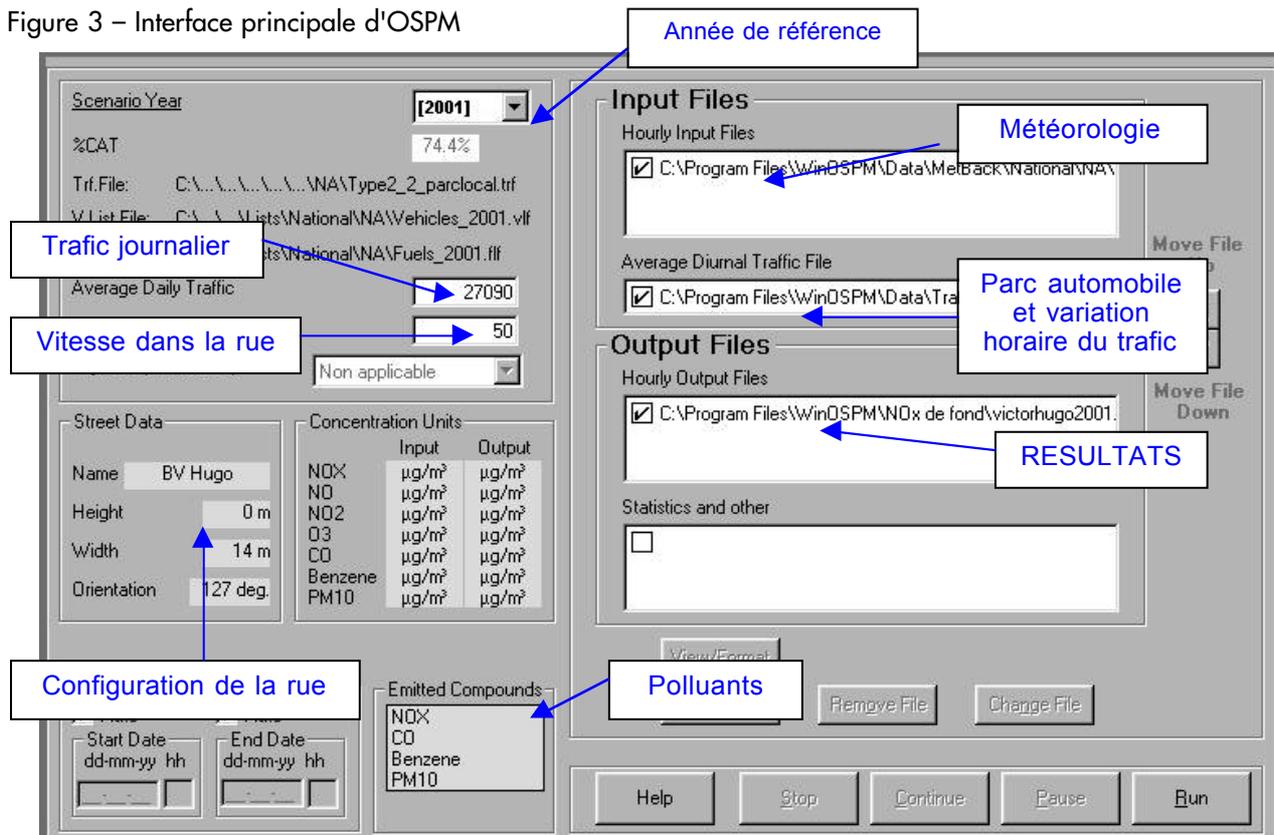
Les données d'entrée ont été obtenues auprès des organismes suivants :

Tableau 1 – Sources des données d'entrée d'OSPM

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	Méthodologie européenne MEET (Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport), CETE de l'Ouest
Météorologie	Météo France
Configuration de la rue	Laboratoire CERMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes

Le modèle OSPM est caractérisé dans sa version Windows par une interface paramétrable et ergonomique :

Figure 3 – Interface principale d'OSPM



### *3. L'ACCORD MESURE MODELE*

---

Le travail principal de test du modèle OSPM a été réalisé en 2002 [1], [2] en évaluant ses performances sur 3 rues "canyons" de Nantes pour lesquelles des données de mesure de pollution étaient disponibles sur les stations fixes d'Air Pays de la Loire : la rue de Strasbourg, le boulevard Victor Hugo et la rue Crébillon. Ces trois axes de circulation ainsi que la position des stations permanentes de mesure de la qualité de l'air sont présentées dans la carte ci-dessous :

**Carte 1 – Localisation des rues de test et des stations de mesure correspondantes**

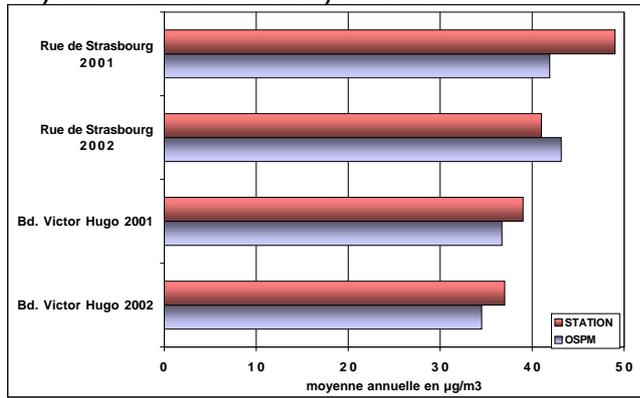


En 2003, des améliorations importantes ont été apportées par rapport aux travaux de l'année 2002 : intégration d'un parc de véhicules plus proche de la situation réelle à partir d'un pourcentage local, par type de rue, de poids lourds tiré d'une étude du CETE de l'Ouest [4] et utilisation de nouveaux facteurs d'émissions<sup>(1)</sup> pour les oxydes d'azote mis récemment à disposition par le NERI (National Environmental Research Institute – Institut danois à l'origine de la conception d'OSPM) pour compenser la sous estimation des émissions par les poids lourds. Des essais ont également été menés pour évaluer l'influence du vieillissement des véhicules (usure du pot catalytique) sur les émissions des véhicules.

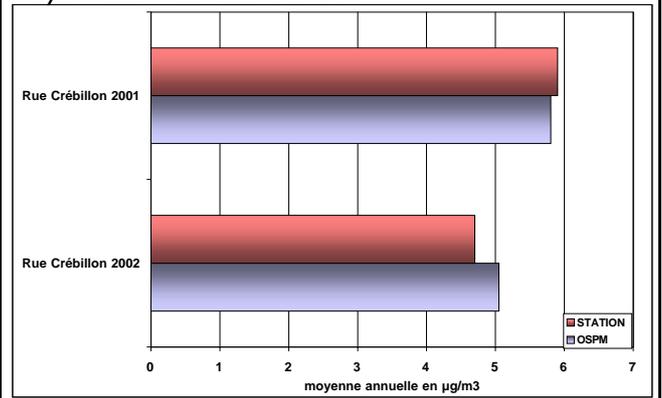
<sup>(1)</sup> Un facteur d'émission est une formule qui donne, pour un polluant donné et par type de véhicule, la masse de polluant rejeté à l'atmosphère en fonction du kilométrage parcouru.

Les graphiques 2 à 5 ci-dessous illustrent les résultats de comparaisons entre les sorties d'OSPM et les données des stations de mesure.

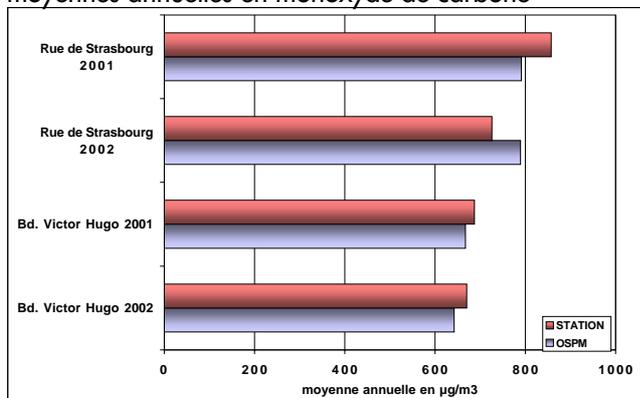
Graphique 2 – accord mesure modèle pour les moyennes annuelles en dioxyde d'azote



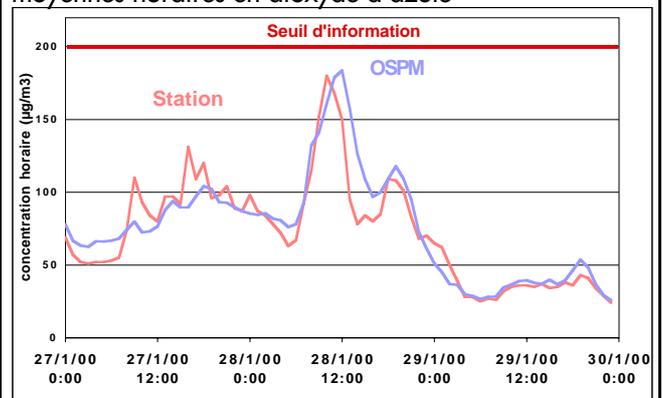
Graphique 3 – accord mesure modèle pour les moyennes annuelles en benzène



Graphique 4 – accord mesure modèle pour les moyennes annuelles en monoxyde de carbone



Graphique 5 – accord mesure modèle pour les moyennes horaires en dioxyde d'azote



Ces graphiques montrent que l'écart mesure – modèle pour les moyennes annuelles est limité à 15 %. Le graphique 5 démontre également, sur un test mené sur la rue de Strasbourg pendant un épisode de pollution de janvier 2000, la bonne capacité du modèle OSPM à reproduire des moyennes horaires. L'ensemble des tests réalisés sur les rues nantaises confirme les résultats des études d'évaluation menées au niveau européen qui ont montré les qualités scientifiques de ce modèle [5], [6], [7].

Considérant, à partir de ces tests, qu'OSPM est applicable sur des axes de circulation où des mesures de pollution ne sont pas disponibles, le modèle a été utilisé pour caractériser et cartographier la qualité de l'air sur les rues du centre-ville de Nantes. Cette étude fait l'objet des chapitres suivants.

Ultérieurement, dans le cadre de la mise en place du programme de mesure des particules PM10 (le boulevard Victor Hugo a été équipé en avril 2003), l'accord mesure-modèle en site "canyon" pourra être évalué pour ce polluant. A ce stade, il a été montré que les valeurs produites par OSPM sont cohérentes avec celles de la Porte de Carquefou.

## 4. LA ZONE D'ETUDE

---

Les 80 rues de Nantes choisies pour l'étude de modélisation sont celles pour lesquelles les comptages routiers moyens annuels (en véhicules/jour) fournis par la Communauté Urbaine de Nantes sont disponibles et celles qui se rapprochent le plus du type "canyon" (rues bordées de bâtiments). Elles sont généralement contenues dans la ceinture des grands boulevards, du Boulevard de la Liberté au Boulevard de Seattle, en incluant l'île de Nantes.

Le laboratoire CERMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes a été sollicité [8] pour évaluer la configuration de ces 80 rues (hauteur des bâtiments, largeur et orientation des rues, continuité du bâti). Il a été décidé de séparer en plusieurs sections certaines rues qui présentaient des discontinuités en terme de configuration. Ce sont au total 111 sections homogènes en terme de bâti qui ont été prises en compte dans l'étude. Cette approche d'évaluation des caractéristiques de la rue a été réalisée de façon précise, bâtiment par bâtiment, à partir de modèles informatiques en 3 dimensions du CERMA ou à partir du relevé du nombre d'étages.

Parmi les sections modélisées, on peut distinguer les rues "canyons" de l'hyper-centre, les boulevards de contournement et les pénétrantes vers le centre-ville avec des trafics variables selon la capacité de l'axe de circulation. L'étude donne donc une bonne représentativité des différentes situations de pollution dans les rues du cœur de Nantes selon la configuration et la fréquentation automobile.

La localisation géographique des rues ou sections modélisées est proposée page suivante.

Photo 2 – Le boulevard Victor Hugo



*Le boulevard Victor Hugo a été instrumenté en avril 2003 d'un appareil de mesure des particules PM10 (poussières de dimension inférieure à 10  $\mu\text{m}$ ). Ces données viendront alimenter la base de données afin de valider le comportement du modèle OSPM pour ce polluant.*

Il est à noter que cette étude s'est limitée à ces 80 rues pour des raisons de disponibilité des données mais la méthode pourrait tout aussi bien s'appliquer à d'autres rues à condition de disposer des comptages routiers et des caractéristiques physiques de la rue. Toutefois, cette méthode convient plus particulièrement aux rues "canyon".

## Carte 2 – Description géographique du réseau routier modélisé

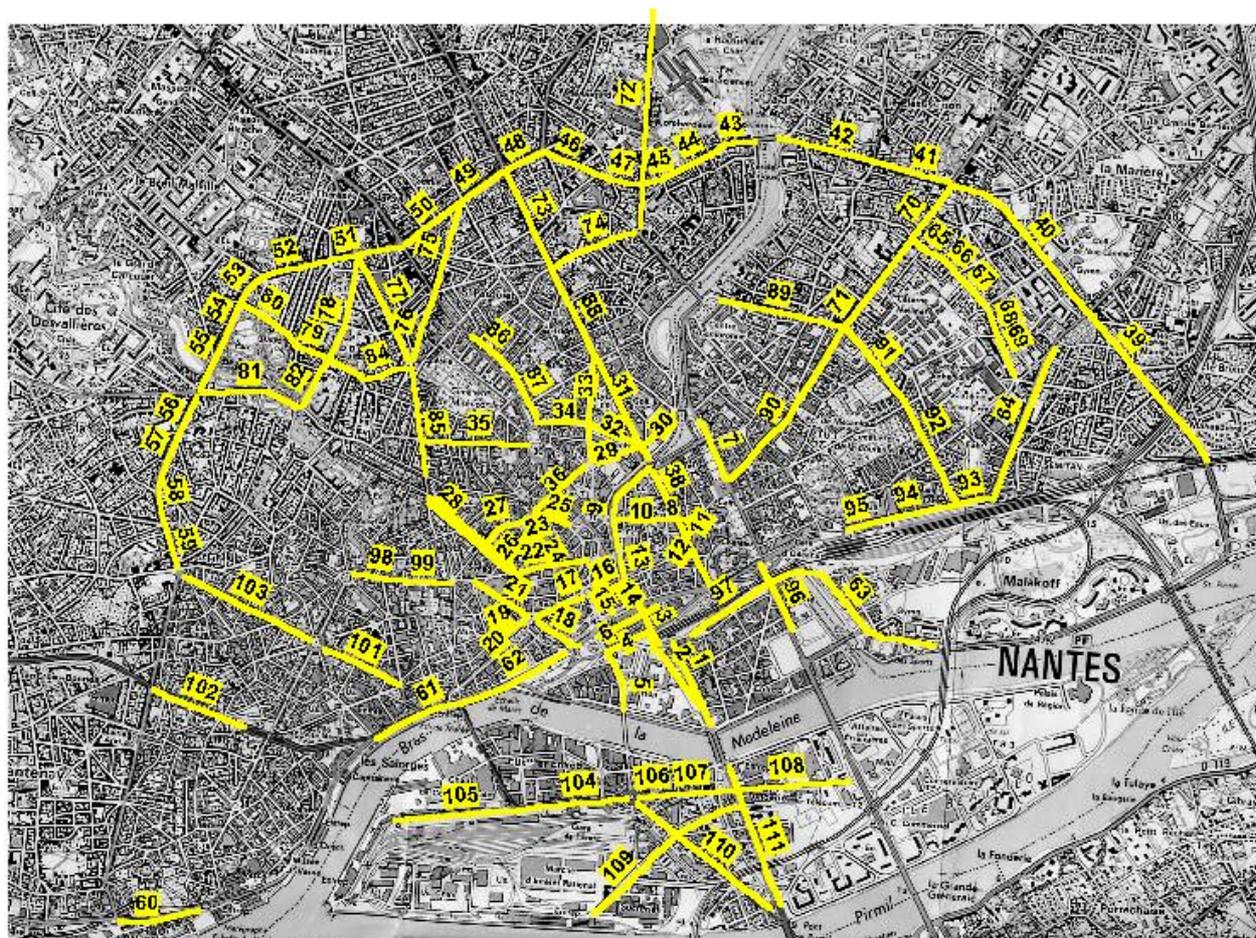


Tableau 2 – Index des rues de la zone d'étude

No	Rue ou section	No	Rue ou section	No	Rue ou section	No	Rue ou section
1	Chaussee de la Madeleine	31	Rue Paul Bellamy	61	Quai de la Fosse1	91	Rue de Coulmiers1
2	Boulevard J. Monnet	32	Rue Talensac	62	Quai de la Fosse2	92	Rue de Coulmiers2
3	Cours O. de Clisson	33	Rue de Bel Air	63	Quai Malakoff	93	Boulevard de Stalingrad1
4	Allée Turenne	34	Rue Yves Bodiguel	64	Boulevard Ernest Dalby	94	Boulevard de Stalingrad2
5	Rue Gaston Veil	35	Rue Felibien	65	Rue des Chalatres1	95	Boulevard de Stalingrad3
6	Rue Duquay-Trouin	36	Rue Jean Jaures1	66	Rue des Chalatres2	96	Avenue Carnot
7	Rue Sully	37	Rue Jean Jaures2	67	Rue des Chalatres3	97	Allée Baco
8	Rue du M. Leclerc	38	Rue de Strasbourg	68	Rue des Chalatres4	98	Rue de Gigant1
9	Cours des 50 Otages1	39	Boulevard de Doulon	69	Rue des Chalatres5	99	Rue de Gigant2
10	Rue de l'Hotel de V.	40	Boulevard des Poilus	70	Rue du General Buat1	100	Rue de Gigant3
11	Rue de Verdun1	41	Boulevard des Belges1	71	Rue du General Buat2	101	Boulevard de Launay
12	Rue de Verdun2	42	Boulevard des Belges2	72	Boulevard Michelet	102	Boulevard du President Rene Coty
13	Cours des 50 Otages2	43	Boulevard Eugene Orioux1	73	Rue Paul Bellamy1	103	Boulevard Pasteur
14	Rue Le Couedic1	44	Boulevard Eugene Orioux2	74	Rue Francois Bruneau	104	Boulevard de la Prairie au Duc1
15	Rue Le Couedic2	45	Boulevard Eugene Orioux3	75	Rue Felix Faure	105	Boulevard de la Prairie au Duc2
16	Rue d'Orleans	46	Boulevard Henry Orrion1	76	Rue Paul Painleve	106	Boulevard Babin Chevaye1
17	Rue Crebillon	47	Boulevard Henry Orrion2	77	Boulevard Meusnier de Querlon	107	Boulevard Babin Chevaye2
18	Rue J.J. Rousseau	48	Boulevard des Freres Goncourt	78	Boulevard Gaston Serpette	108	Boulevard Vincent Gache
19	Rue Voltaire	49	Boulevard Lelasseur1	79	Rue Clovis Constant1	109	Boulevard Gustave Roch
20	Rue Gresset	50	Boulevard Lelasseur2	80	Rue Clovis Constant2	110	Boulevard Victor Hugo
21	Rue Racine	51	Boulevard des Anglais1	81	Rue des Dervallieres	111	Boulevard des Martyrs Nantais de la Resistance
22	Rue du Calvaire	52	Boulevard des Anglais2	82	Boulevard Albert Thomas		
23	Rue Dugommier	53	Boulevard des Anglais3	83	Boulevard Auguste Pageot		
24	Rue du General Lafayette	54	Boulevard des Anglais4	84	Boulevard Luc O. Merson		
25	Rue Mercoeur	55	Boulevard des Anglais5	85	Rue Charles Monselet		
26	Rue Marceau	56	Boulevard de la Fraternite1	86	Rue des Hauts-Paves1		
27	Rue Descartes	57	Boulevard de la Fraternite2	87	Rue des Hauts-Paves2		
28	Boulevard Ghuis't'hau	58	Boulevard de la Fraternite3	88	Rue Paul Bellamy2		
29	Rue Jeanne d'Arc	59	Boulevard de la Fraternite4	89	Rue Desaix		
30	Rue Chateaubriand	60	Boulevard de Cardiff	90	Rue Marechal Joffre		

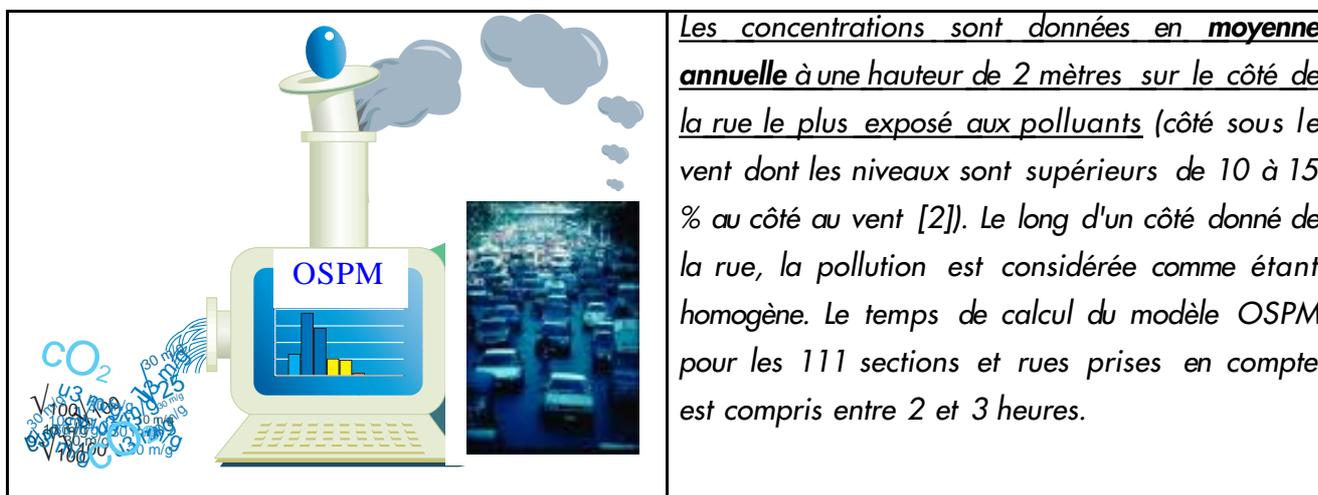
## *5. CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION – ANNEE 2001*

---

Ce chapitre décrit les résultats de l'évaluation et de la cartographie de la qualité de l'air sur les principales rues du centre-ville de Nantes pour l'année 2001, année pour laquelle les données de comptage routier étaient disponibles au moment du lancement du projet (juin 2003).

Les principales caractéristiques des concentrations calculées sont données ci-dessous.

Figure 4 – format de restitution des données de pollution



Les seuils de qualité de l'air considérés pour l'année 2001 sont les suivants :

Tableau 3 – Seuils réglementaires – année 2001

Polluant	Seuil	Valeur
<b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b>	Objectif de qualité	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
	Valeur limite	58 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2001)
<b>Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	Objectif de qualité	2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
	Valeur limite	10 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2001)
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Valeur limite	10 000 µg/m <sup>3</sup> (moyenne 8-horaire maximale de l'année)
<b>Particules PM10</b>	Objectif de qualité	30 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
	Valeur limite	46 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2001)

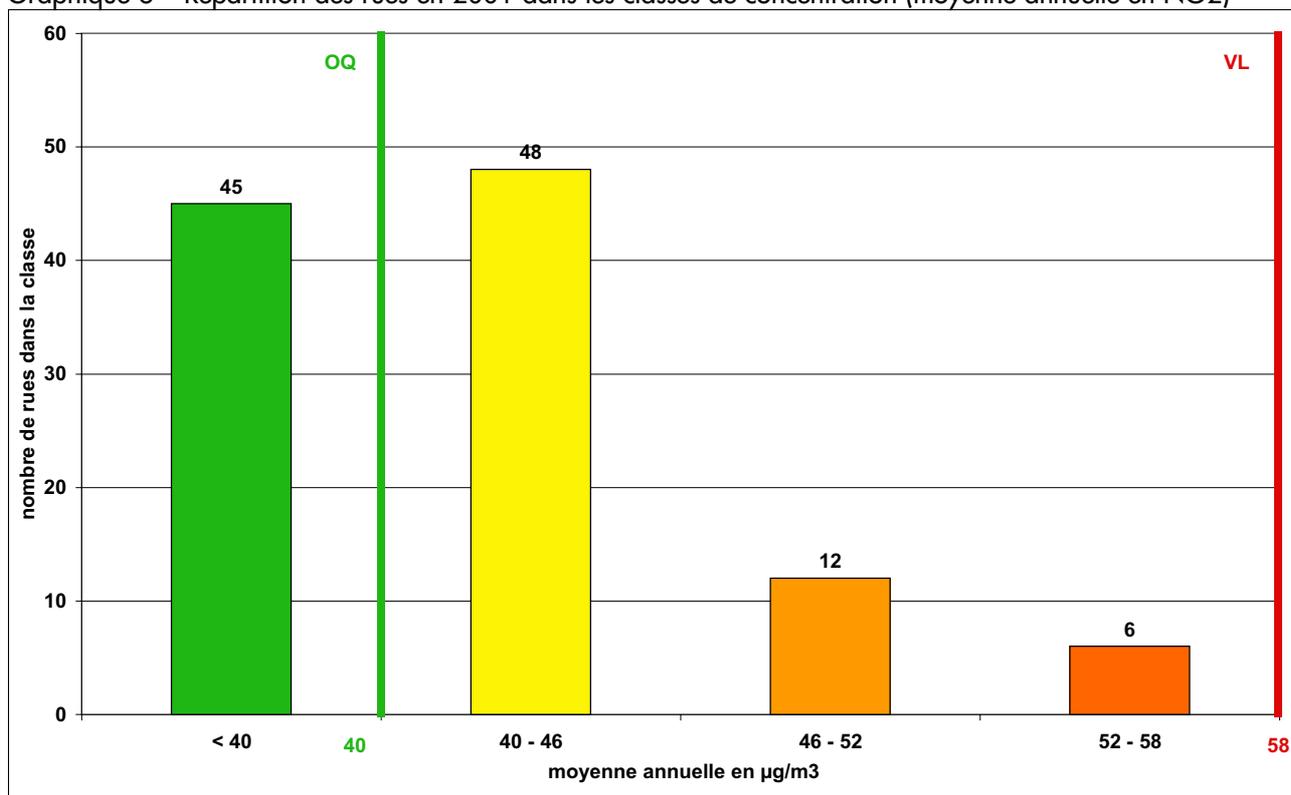
Objectif de qualité (OQ) : niveau de pollution atmosphérique en dessous duquel des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement sont peu probables, à atteindre à long terme.

Valeur limite (VL) : 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

# 1 – Le dioxyde d'azote

La carte du dioxyde d'azote dans les rues de Nantes en 2001 est présentée page suivante.

Graphique 6 – Répartition des rues en 2001 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>)



Aucune rue ne dépasse le seuil limite en 2001 (58 µg/m<sup>3</sup> sur l'année) mais deux rues s'en approchent : la rue Crébillon et la rue de l'Hôtel de Ville avec 56 µg/m<sup>3</sup>. 45 sections (soit moins de la moitié des rues étudiées) respectent l'objectif de qualité fixé à 40 µg/m<sup>3</sup>. Ce sont pour l'essentiel des rues périphériques, orthogonales aux pénétrantes, avec des trafics relativement faibles.

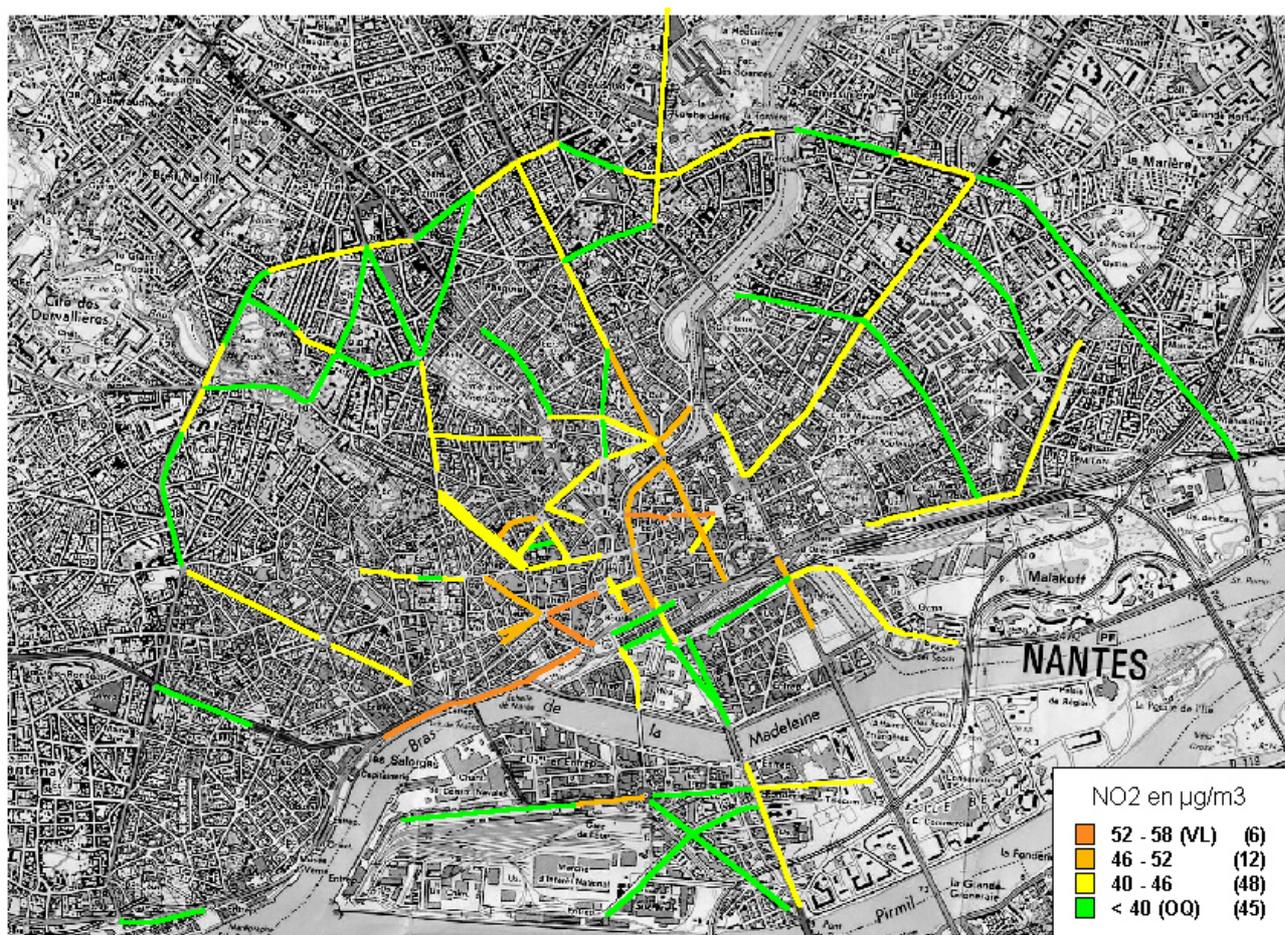
Les rues les plus polluées sont les rues fortement "canyons" et/ou très fréquentées du centre-ville.

Tableau 4 – Les dix rues les plus exposées au dioxyde d'azote en 2001

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
	<b>Valeur limite</b>			<b>58</b>
1	Rue Crébillon	10650	2.27	56
2	Rue de l'Hôtel de V.	14500	1.98	56
3	Quai de la Fosse2	42460	x	53
4	Rue J.J. Rousseau	10600	1.15	53
5	Quai de la Fosse1	43950	x	52
6	Rue du M. Leclerc	16300	1.02	52
7	Rue Racine	9900	1.65	52
8	Rue de Strasbourg	16550	1.37	51
9	Rue Paul Bellamy1	21020	0.46	50
10	Avenue Carnot	39930	0.51	50
	<b>Objectif de qualité</b>			<b>40</b>

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m<sup>3</sup>

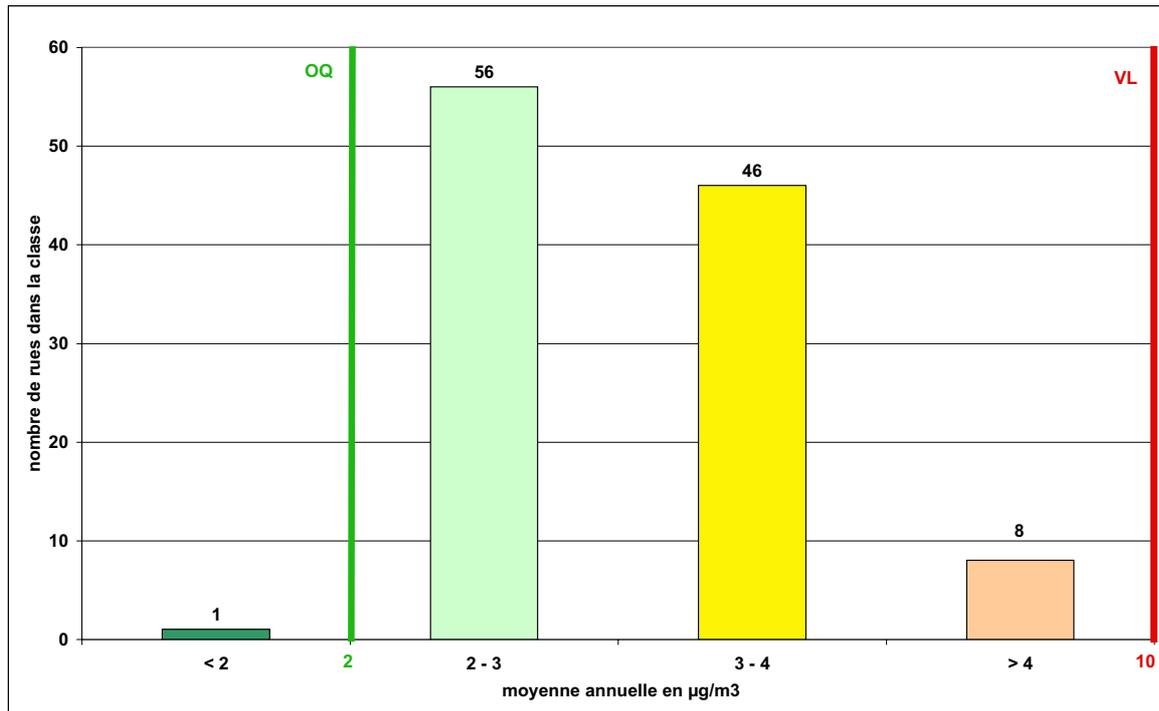
Carte 3 – Cartographie des moyennes annuelles en dioxyde d'azote en 2001



## 2 – Le benzène

La carte du benzène dans les rues de Nantes en 2001 est présentée page suivante.

Graphique 7 – Répartition des rues en 2001 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en benzène)



Comme pour le dioxyde d'azote, aucune rue ne dépasse la valeur limite en 2001 ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Selon le modèle OSPM, les moyennes annuelles modélisées sont très éloignées de ce seuil réglementaire : la rue Crébillon est la plus exposée au benzène avec  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur un an en 2001.

En revanche, seule la rue Duguay Trouin atteint l'objectif de qualité fixé à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur un an. Bien que située en centre ville (station "Commerce" des bus et tramways), cette rue est la moins polluée en benzène car le trafic routier y est faible (3000 véhicules par jour).

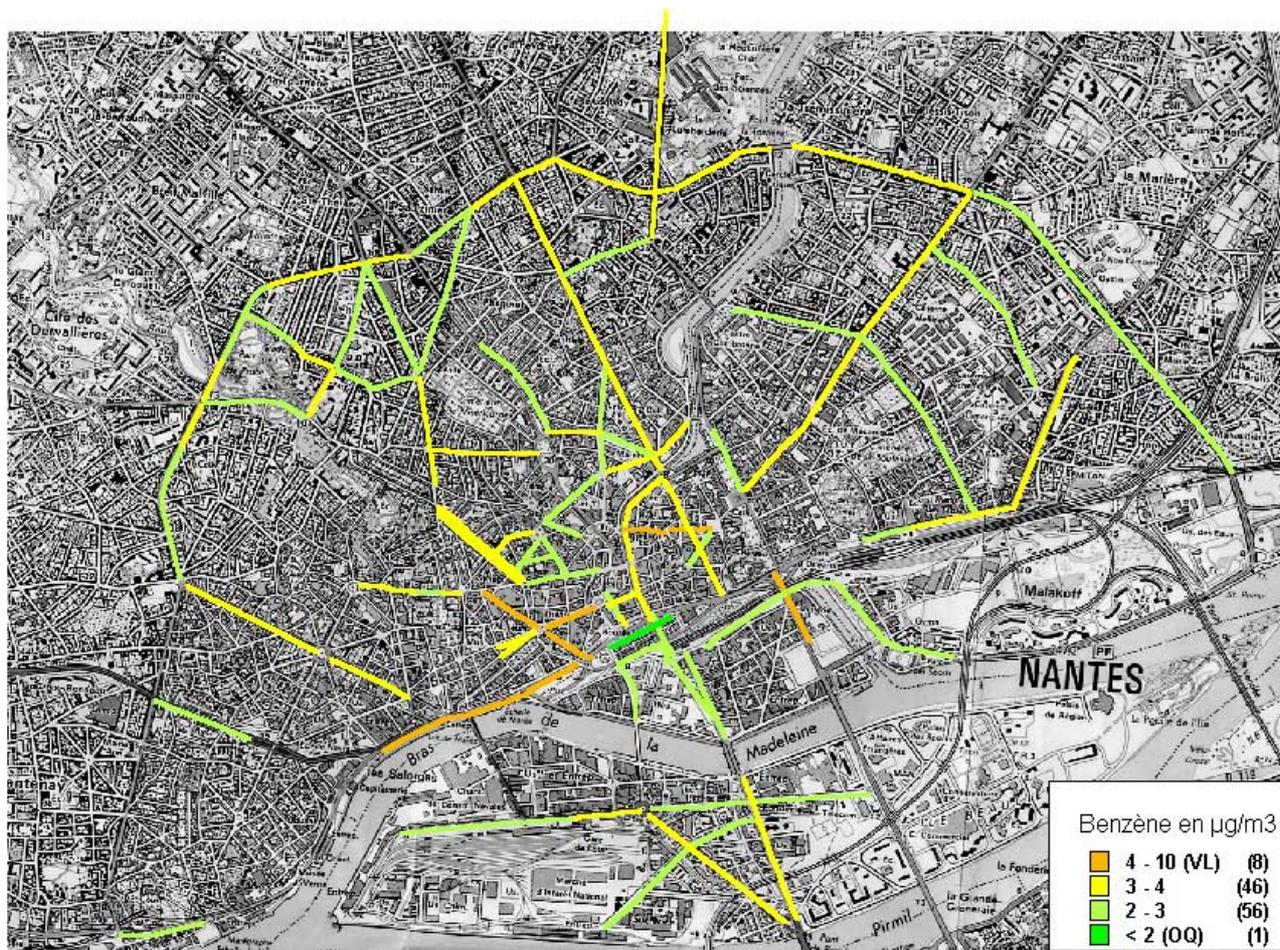
Les rues les plus exposées sont la rue Crébillon, la rue de l'Hôtel de Ville et la rue Racine. Ce sont des rues "canyons" de centre ville. Malgré une configuration semi-ouverte, le quai de la Fosse est proche de la situation observée sur ces rues en raison d'un trafic journalier élevé (43000 véhicules par jour en 2001).

Tableau 4 – Les dix rues les plus exposées au benzène en 2001

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
	<b>Valeur limite</b>			<b>10.0</b>
1	Rue Crébillon	10650	2.27	5.8
2	Rue de l'Hôtel de V.	14500	1.98	4.9
3	Quai de la Fosse2	42460	x	4.9
4	Quai de la Fosse1	43950	x	4.8
5	Rue Racine	9900	1.65	4.3
6	Rue du M. Leclerc	16300	1.02	4.2
7	Avenue Carnot	39930	0.51	4.2
8	Rue J.J. Rousseau	10600	1.15	4.2
9	Boulevard des Frères Goncourt	27850	0.32	4.0
10	Rue Chateaubriand	9100	1.15	3.9
	<b>Objectif de qualité</b>			<b>2.0</b>

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

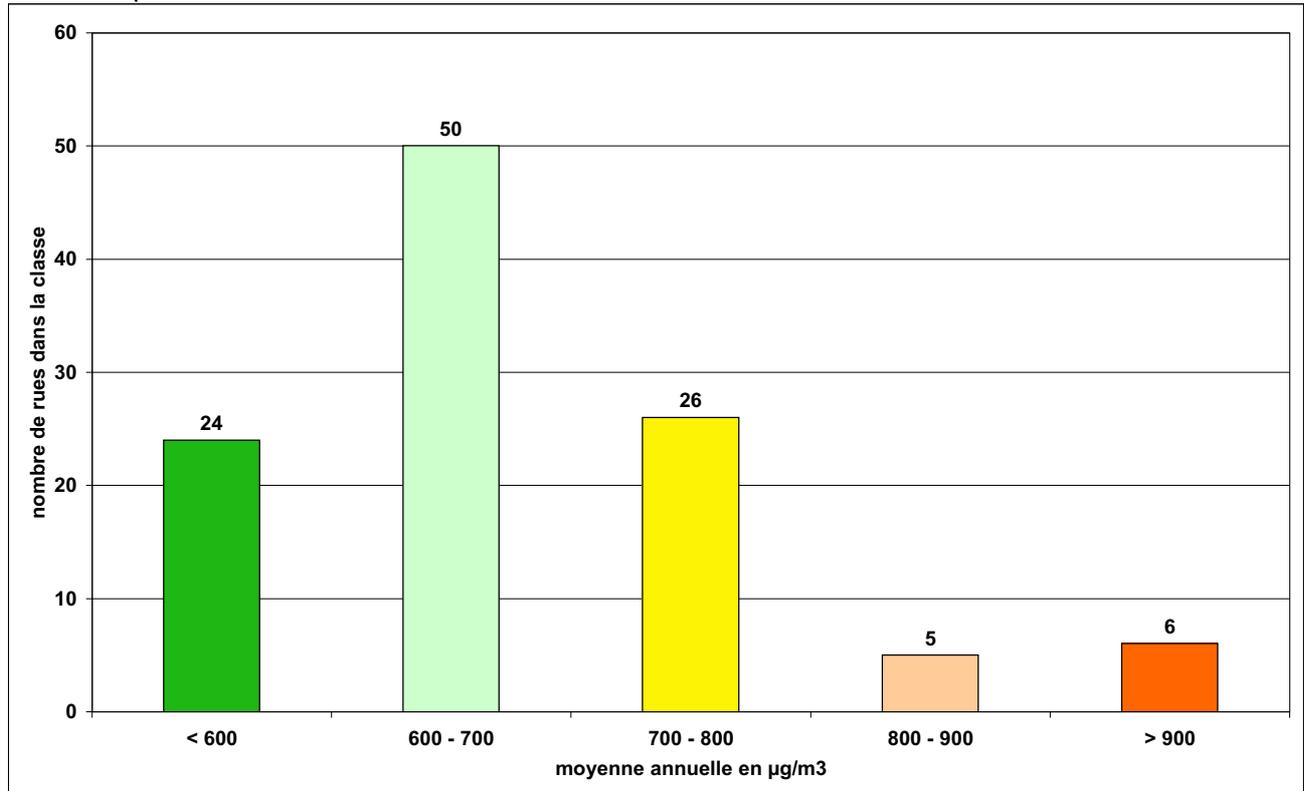
## Carte 4 – Cartographie des moyennes annuelles en benzène en 2001



### 3 – Le monoxyde de carbone

La carte du monoxyde de carbone dans les rues de Nantes en 2001 est présentée page suivante.

Graphique 8 – Répartition des rues en 2001 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en monoxyde de carbone)



La rue Crébillon et la rue de l'Hôtel de Ville sont les seules à dépasser, en moyenne annuelle, 1000 µg/m³ en 2001 avec respectivement 1261 et 1055 µg/m³. Viennent ensuite le Quai de la Fosse (très fréquenté avec 43 000 véhicules par jour) et la rue Racine.

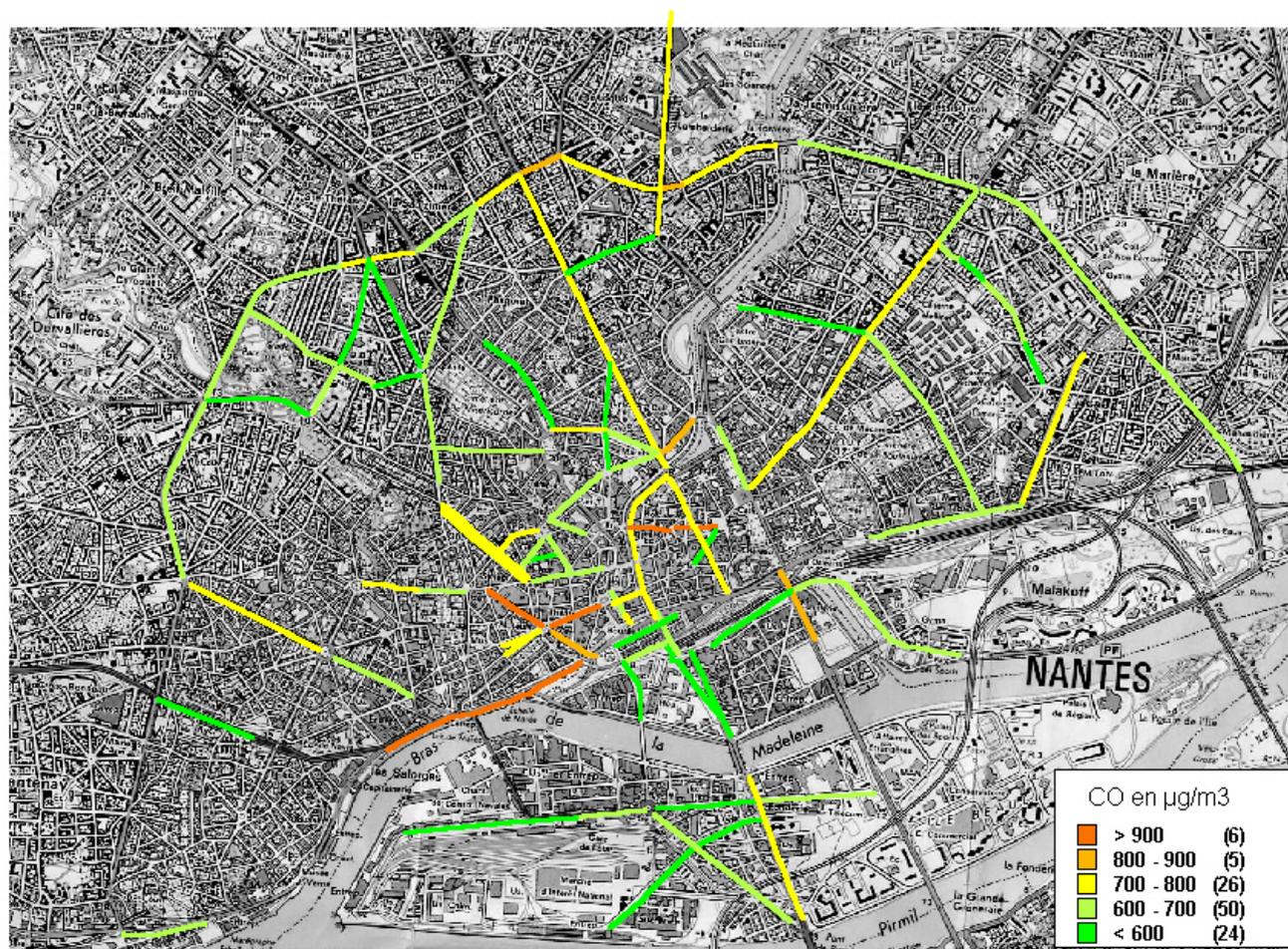
Aucun diagnostic de la situation du monoxyde de carbone vis à vis de la valeur limite de 10 000 µg/m³ sur 8 heures n'a pu être réalisé en raison de l'impossibilité, en l'absence de données de fond en 2001 pour ce polluant, de modéliser des moyennes horaires. Pour référence, la rue de Strasbourg, le boulevard Victor Hugo et la Porte de Carquefou ont largement respecté ce seuil en 2001.

Tableau 4 – Les dix rues les plus exposées au monoxyde de carbone en 2001

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
1	Rue de l'Hôtel de V.	14500	1.98	1055
2	Rue Crébillon	10650	2.27	1053
3	Quai de la Fosse2	42460	x	963
4	Quai de la Fosse1	43950	x	959
5	Rue Racine	9900	1.65	942
6	Rue du M. Leclerc	16300	1.02	924
7	Rue J.J. Rousseau	10600	1.15	880
8	Rue Chateaubriand	9100	1.15	858
9	Avenue Carnot	39930	0.51	851
10	Boulevard des Frères Goncourt	27850	0.32	835

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m³

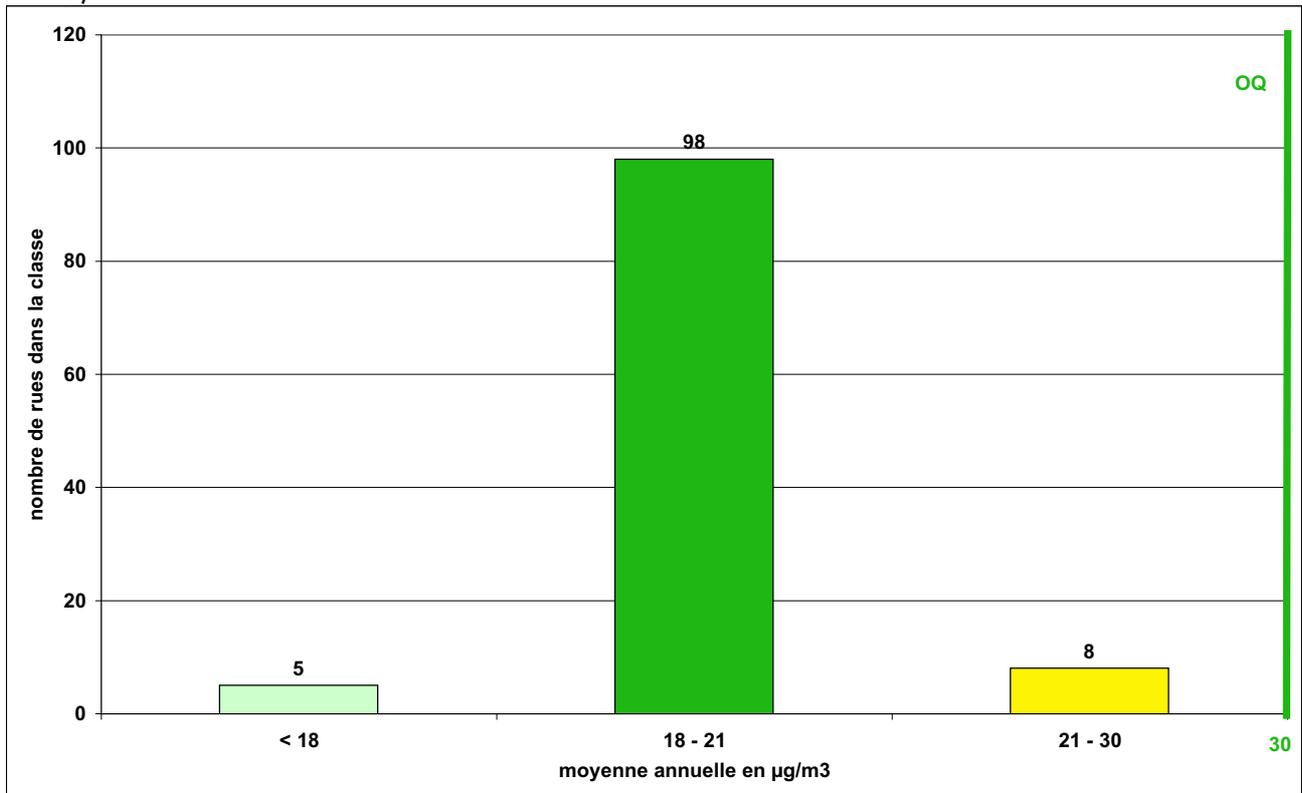
Carte 5 – Cartographie des moyennes annuelles en monoxyde de carbone en 2001



## 4 – Les particules PM10

La carte des particules dans les rues de Nantes en 2001 est présentée page suivante.

Graphique 9 – Répartition des rues en 2001 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en particules PM10)



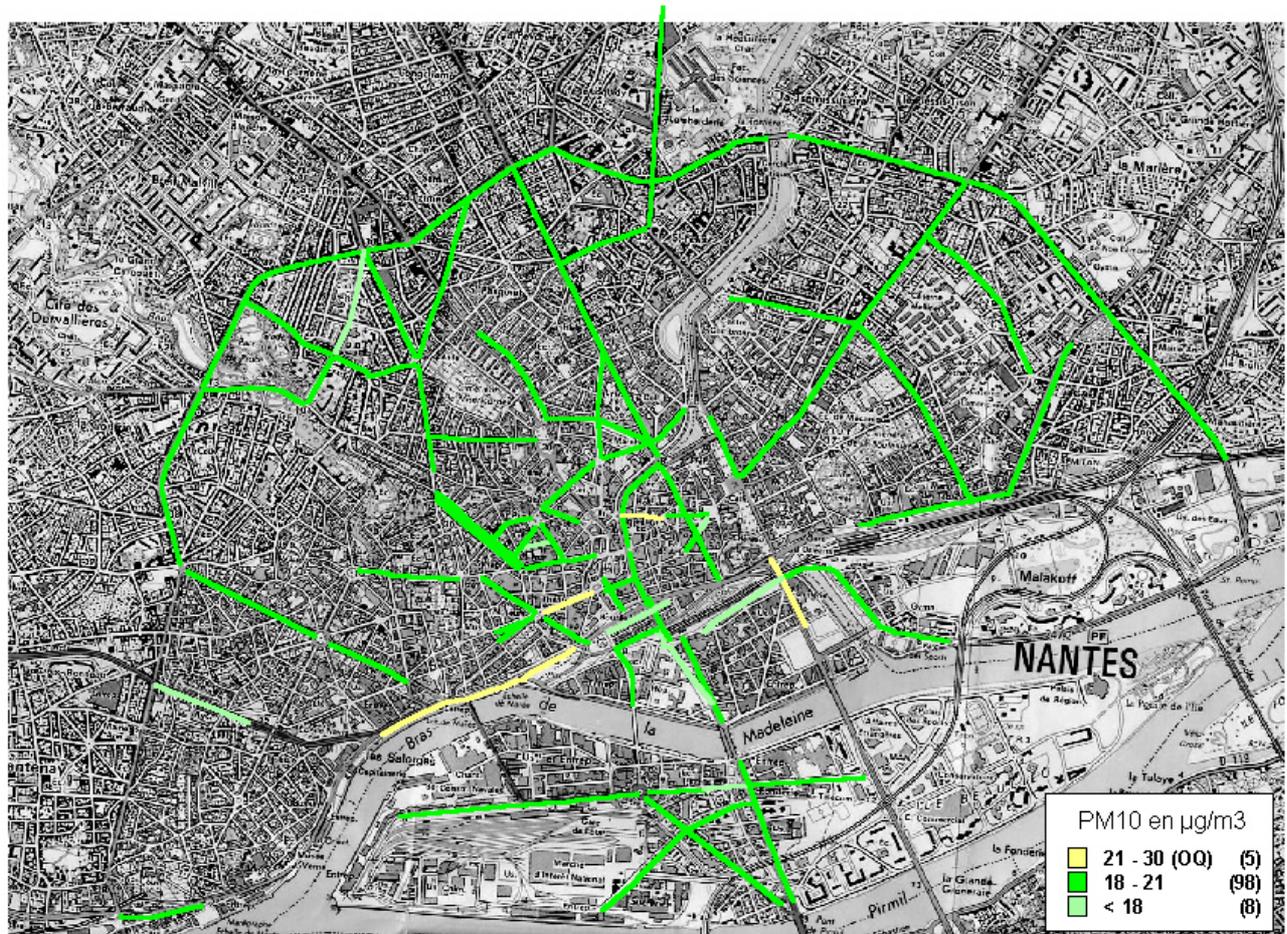
Aucune rue n'atteint la valeur limite fixée à 46 µg/m<sup>3</sup> en 2001; mieux encore, toutes respectent le seuil de qualité de 30 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum est atteint sur le quai de la Fosse avec 24 µg/m<sup>3</sup>. Les variations entre les rues sont relativement faibles (entre 17 et 24 µg/m<sup>3</sup>). Cette situation s'explique par le fait que, pour ce polluant, la pollution dans la rue est attribuée à 80 % à la pollution ambiante de fond [2].

Tableau 5 – Les dix rues les plus exposées aux particules PM10 en 2001

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
	<b>Valeur limite</b>			<b>46</b>
	<b>Objectif de qualité</b>			<b>30</b>
1	Quai de la Fosse <sup>2</sup>	42460	x	24
2	Quai de la Fosse <sup>1</sup>	43950	x	24
3	Avenue Carnot	39930	0.51	22
4	Rue de l'Hôtel de V.	14500	1.98	22
5	Rue Crébillon	10650	2.27	22
6	Rue J.J. Rousseau	10600	1.15	21
7	Rue Racine	9900	1.65	21
8	Boulevard Eugène Orieux <sup>3</sup>	26480	0.37	21
9	Boulevard des Frères Goncourt	27850	0.32	21
10	Rue du M. Leclerc	16300	1.02	21

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m<sup>3</sup>

## Carte 6 – Cartographie des moyennes annuelles en particules PM10 en 2001



## 6. CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION – ANNEE 2010

---

Ce chapitre décrit les résultats de l'évaluation et de la cartographie de la qualité de l'air sur les principales rues du centre-ville de Nantes pour l'année 2010. Le format de restitution des données de pollution est identique à l'année 2001 : les concentrations sont données en moyenne annuelle à une hauteur de 2 mètres sur le côté de la rue le plus exposé aux polluants (côté sous le vent dont les niveaux sont supérieurs de 10 à 15 % au côté au vent).

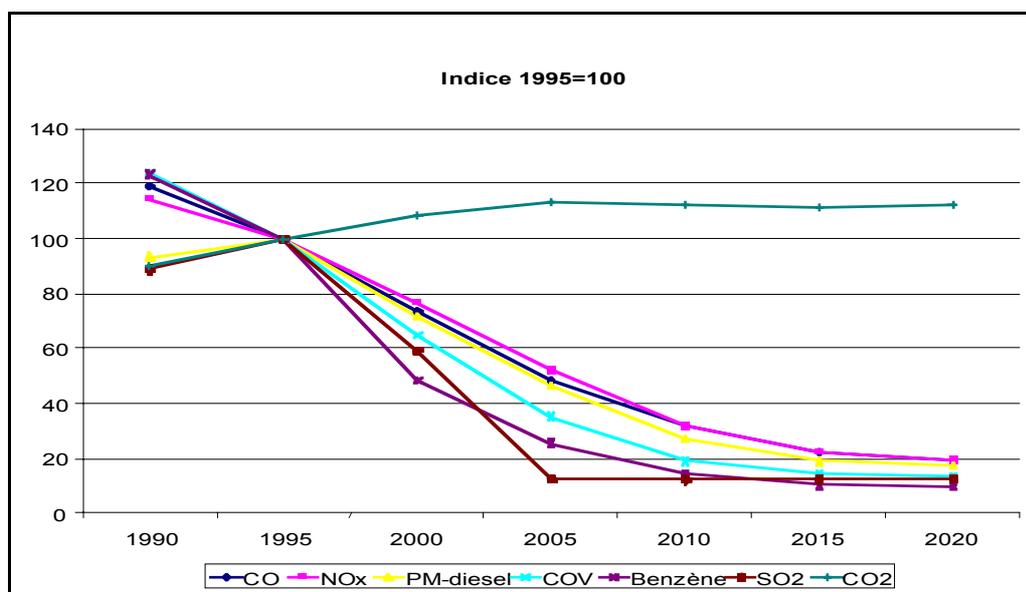
### Méthodologie

La pollution dans la rue est la somme de la pollution due aux véhicules circulant dans la rue et de la pollution de fond. L'évolution des ces deux composantes a donc été estimée à l'horizon 2010.

1/ La pollution due aux véhicules en circulation a été évaluée en tenant d'abord compte de l'augmentation du trafic, mis à jour pour chacune des rues considérées à partir des données de modélisation du trafic du CETE de l'Ouest [4]. En moyenne, le trafic augmenterait ainsi entre 2001 et 2010 de 25 à 40 % selon les zones.

De plus, la composition du parc automobile devrait largement évoluer sous l'influence des récentes Directives Européennes relatives à la mise en place progressive de normes d'émission de plus en plus strictes (directive 98/69/CE pour les véhicules utilitaires légers, directive 99/96/CE pour les poids lourds, directive 97/24/CE pour les véhicules à deux ou trois roues). Citons en complément la directive 98/70/CE sur la qualité des carburants essence ou diesel qui vise également à réduire les émissions en provenance du trafic routier. Au cours du programme Auto Oil II (1), des projections ont été établies sur l'évolution des émissions en provenance de la circulation automobile entre 1990 et 2020 dans l'Union Européenne[9]. Le graphique 10 ci-dessous en reprend les principaux résultats;

Graphique 10 – Evolution des émissions du transport routier en Europe entre 1990 et 2020



(1) Auto Oil II est un programme de travail technique européen d'évaluation des options stratégiques pour atteindre les objectifs en matière de qualité de l'air en liaison avec la réduction des émissions provenant des transports routiers.

D'après le graphique de la page précédente, il apparaît que d'ici à 2010, à l'exception du CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone), les émissions devraient tomber entre 10 et 30 % de leur niveau de 1995. Ensuite, la diminution devrait être plus lente.

Ces projections ont été intégrées dans l'étude sous la forme d'évolution du parc automobile français fourni par des experts européens au cours du programme MEET (Methodologies for Estimating Emissions from Transport). Ainsi, selon ces experts, la proportion de véhicules non-catalysés devraient passer en France de 24 % en 2001 à presque 0 % à l'horizon 2010. Il est important de noter que ces estimations, réalisées à la fin des années 1990, sont plus optimistes que certains scénarii récents testés par le CITEPA ( Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique – organisme de référence français sur les inventaires d'émission) qui attribuent plutôt une proportion de véhicules non catalysés en 2010 à hauteur de 2 à 8 % selon le type de véhicule. En ce sens, la projection utilisée dans cette étude se rapproche certainement d'un scénario volontariste à l'exemple de celui proposé par le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement au CITEPA en 2002 [10].

2/ A défaut de données nationales, l'évolution de la pollution de fond entre 2001 et 2010 a été évaluée en appliquant des coefficients calés sur la ville de Copenhague (Danemark). Ces coefficients ont été calculés par le NERI (National Environmental Research Institute) à partir d'une modélisation de la pollution de fond sur la ville [11]. Cette modélisation a été réalisée sur la base de méthodologies européennes à l'exemple de celle utilisée dans la présente étude.

Tableau 6 - Evolution de la pollution de fond entre 2001 et 2010 à Copenhague (2001 en base 100)

Année	Benzène	Monoxyde de carbone	Dioxyde d'azote
2001	100	100	100
2010	62	72	59

Il n'a pas été possible d'obtenir de tels coefficients pour les particules PM10. Aussi, l'évaluation des niveaux de qualité de l'air à l'horizon 2010 pour ce polluant a été abandonnée.

Cette approche reste altérée d'incertitudes liées à la qualité des données d'entrée; aussi, les résultats obtenus pour l'année 2010 doivent être considérés comme perfectibles, par exemple, dès que des calculs prospectifs réalisés sur des villes françaises seront disponibles. En effet, l'évolution de la concentration de fond est basée sur des résultats obtenus au Danemark, où le parc automobile peut varier sensiblement par rapport à la France.

3/ Les résultats de la modélisation par OSPM pour l'année 2010 ont été comparés aux seuils qui seront en vigueur pour cet horizon. En effet, les Directives Européennes relatives à l'air ambiant prévoient pour le benzène, le dioxyde d'azote et les particules PM10, une diminution progressive des valeurs-seuils entre 2001 et 2010. A titre d'exemple, la valeur limite annuelle pour le benzène passe de 10 µg/m<sup>3</sup> en 2001 à seulement 5 µg/m<sup>3</sup> en 2010.

Les seuils de qualité de l'air considérés pour l'année 2010 sont les suivants :

Tableau 7 – Seuils réglementaires – année 2010

Polluant	Seuil	Valeur
<b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b>	Valeur limite	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2010) (1)
<b>Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	Objectif de qualité	2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
	Valeur limite	5 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2010)
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Valeur limite	10 000 µg/m <sup>3</sup> (moyenne 8-horaire maximale de l'année)
<b>Particules PM10</b>	Valeur limite	20 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle (2010) (2)

(1) en 2010, la valeur limite est égale à l'objectif de qualité (2) valeur limite indicative à réexaminer par la Commission Européenne à la lumière d'informations complémentaires sur les effets sur la santé et l'environnement, la faisabilité technique et l'expérience acquise concernant l'application des valeurs limites adoptées avant 2006.

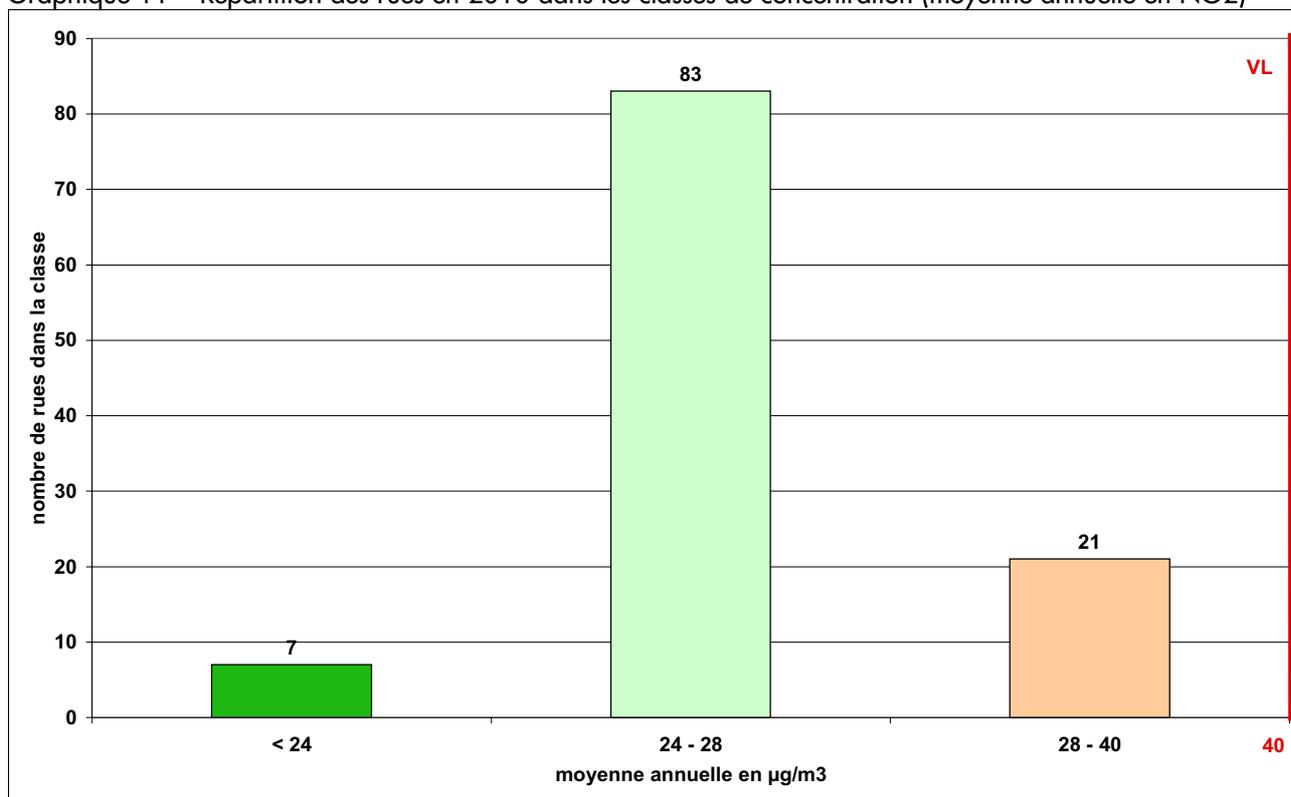
Objectif de qualité (OQ) : niveau de pollution atmosphérique en dessous duquel des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement sont peu probables, à atteindre à long terme.

Valeur limite (VL) : 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

# 1 – Le dioxyde d'azote

La carte du dioxyde d'azote dans les rues de Nantes en 2010 est présentée page suivante.

Graphique 11 – Répartition des rues en 2010 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>)



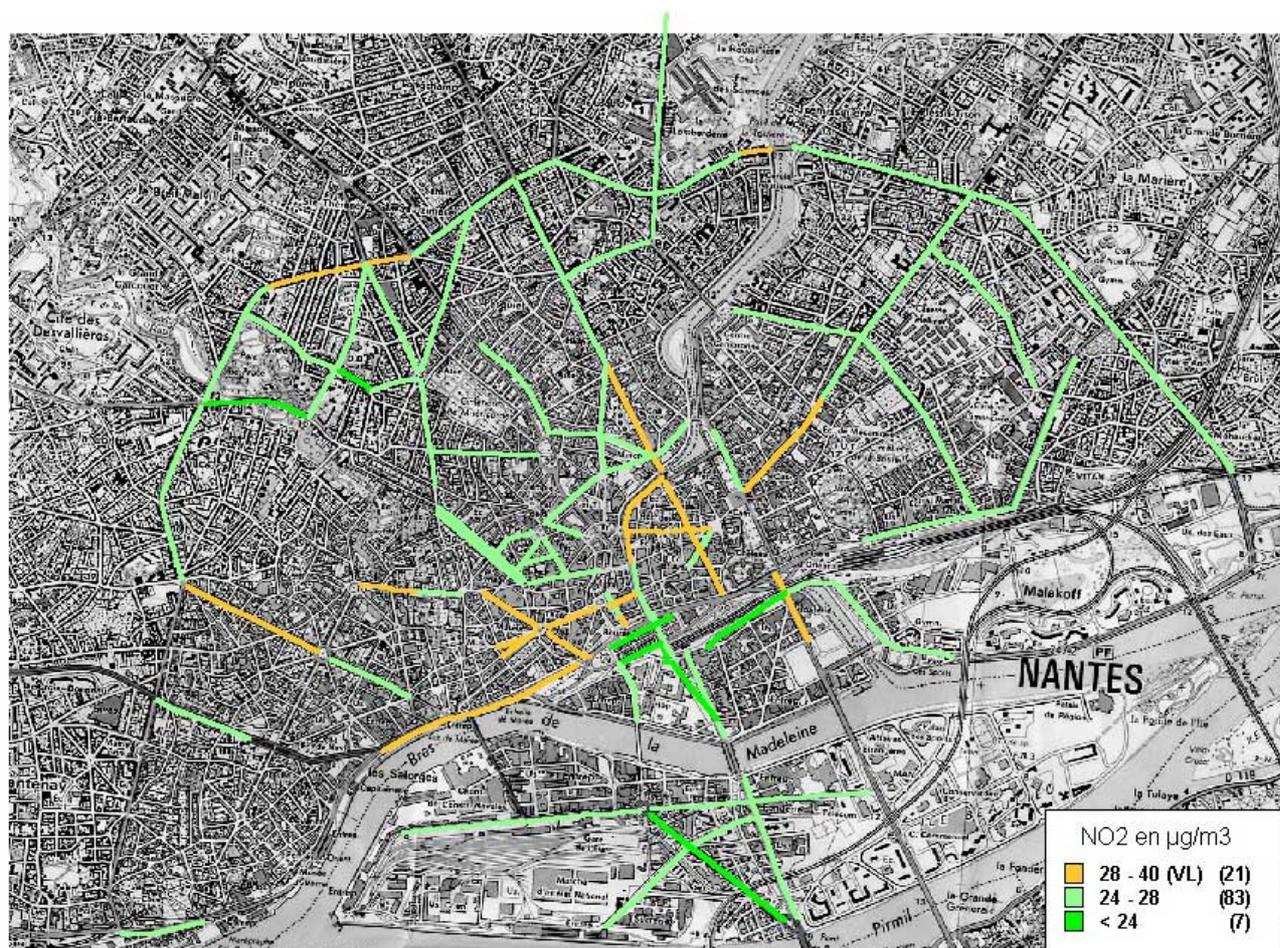
Aucune rue ne dépasserait le seuil limite fixé à 40 µg/m<sup>3</sup> en 2010 bien qu'il soit en diminution par rapport à 2001. Seule la rue Crébillon s'en approcherait avec un taux modélisé très légèrement inférieur à 40 µg/m<sup>3</sup>. Neuf rues devraient atteindre des concentrations comprises entre 30 et 40 µg/m<sup>3</sup>.

Tableau 8 – Les dix rues les plus exposées au dioxyde d'azote en 2010

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
	<b>Valeur limite</b>			<b>40</b>
1	Rue Crébillon	24809	2.27	40
2	Quai de la Fosse1	49695	x	33
3	Quai de la Fosse2	39378	x	33
4	Rue de l'Hôtel de Ville	17637	1.98	32
5	Rue Le Couedic1	11336	3.46	32
6	Avenue Carnot	43181	0.51	32
7	Rue J.J. Rousseau	14069	1.15	31
8	Rue de Strasbourg	29550	1.37	31
9	Rue du Maréchal Leclerc	15965	1.02	30
10	Boulevard des Analais1	26083	0.58	29

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m<sup>3</sup>

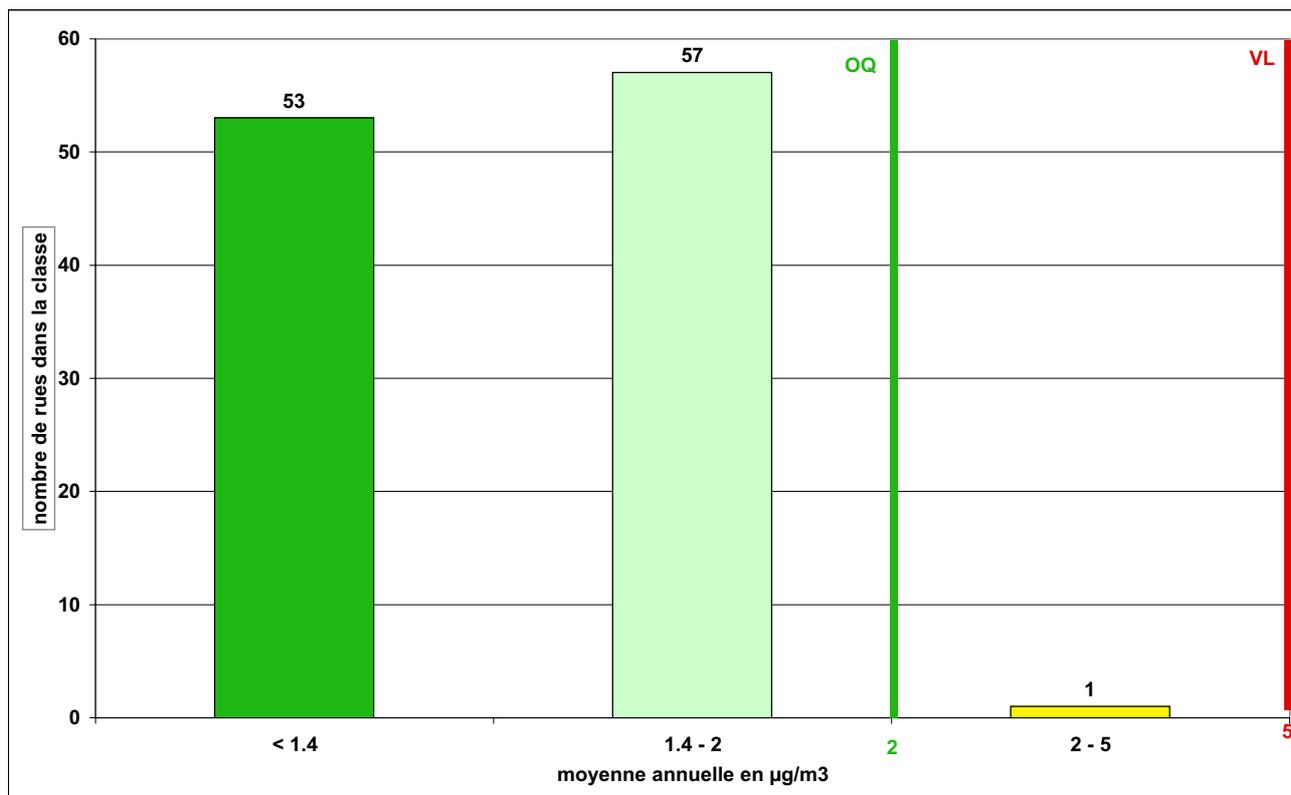
## Carte 7 – Cartographie des moyennes annuelles en dioxyde d'azote en 2010



## 2 – Le benzène

La carte du benzène dans les rues de Nantes en 2010 est présentée page suivante.

Graphique 12 – Répartition des rues en 2010 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en benzène)



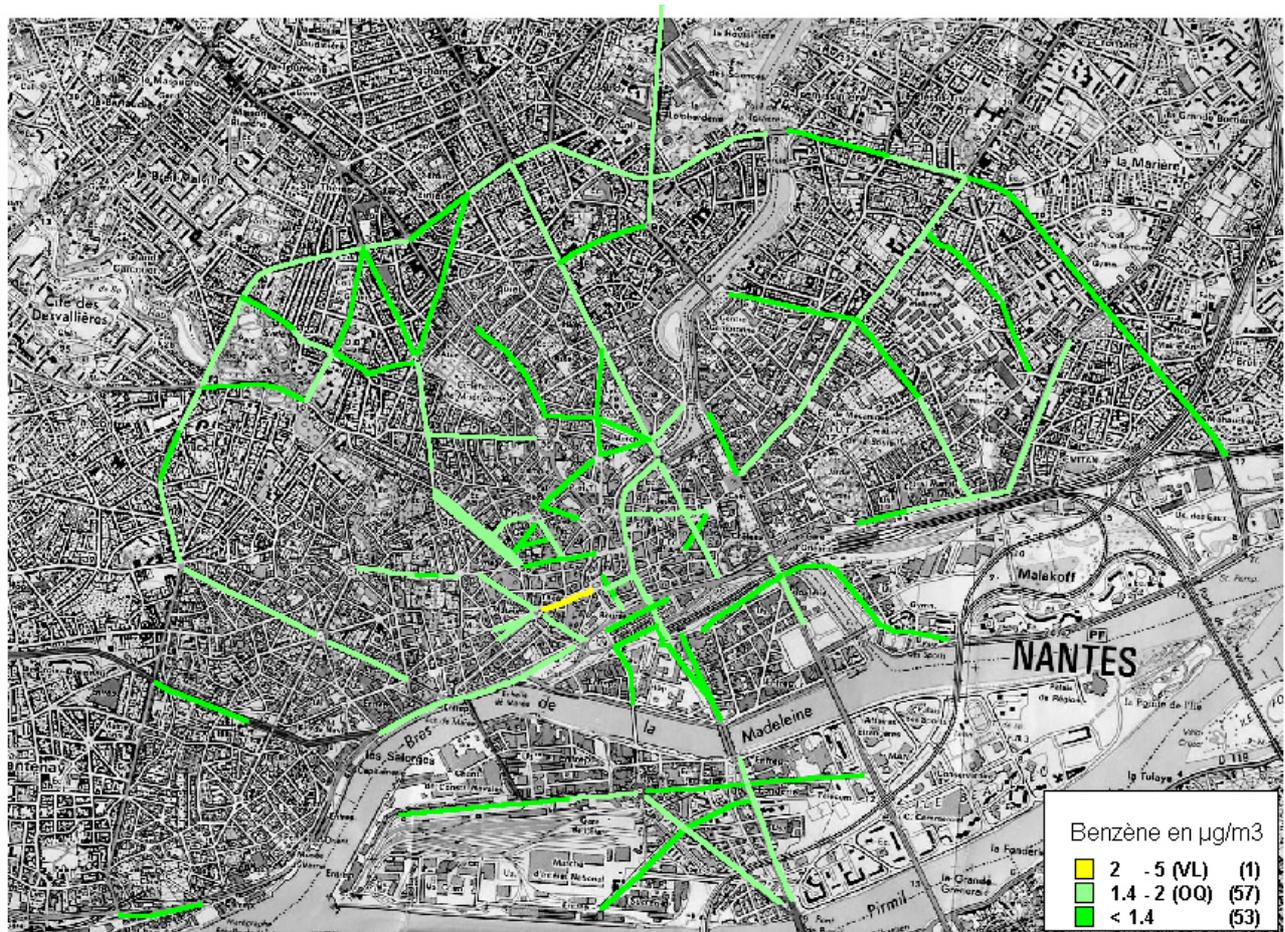
Bien que la valeur limite pour le benzène soit diminuée à 5 µg/m<sup>3</sup> en 2010 contre 10 µg/m<sup>3</sup> en 2001, ce seuil réglementaire ne serait atteint sur aucune des rues. Mieux encore, la quasi totalité des rues respecteraient l'objectif de qualité de 2 µg/m<sup>3</sup>. Seule la rue Crébillon serait exposée à une pollution légèrement supérieure à cet objectif.

Tableau 9 – Les dix rues les plus exposées au benzène en 2010

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
	<b>Valeur limite</b>			<b>5.0</b>
1	Rue Crébillon	24809	2.27	2.6
	<b>Objectif de qualité</b>			<b>2.0</b>
2	Rue de l'Hôtel de Ville	17637	1.98	1.8
3	Quai de la Fosse1	49695	x	1.8
4	Rue J.J. Rousseau	14069	1.15	1.7
5	Rue de Strasbourg	29550	1.37	1.7
6	Quai de la Fosse2	39378	x	1.7
7	Rue Le Couedic1	11336	3.46	1.6
8	Boulevard Pasteur	37090	0.47	1.6
9	Avenue Carnot	43181	0.51	1.6
10	Boulevard Eugène Orieux3	33540	0.37	1.6

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m<sup>3</sup>

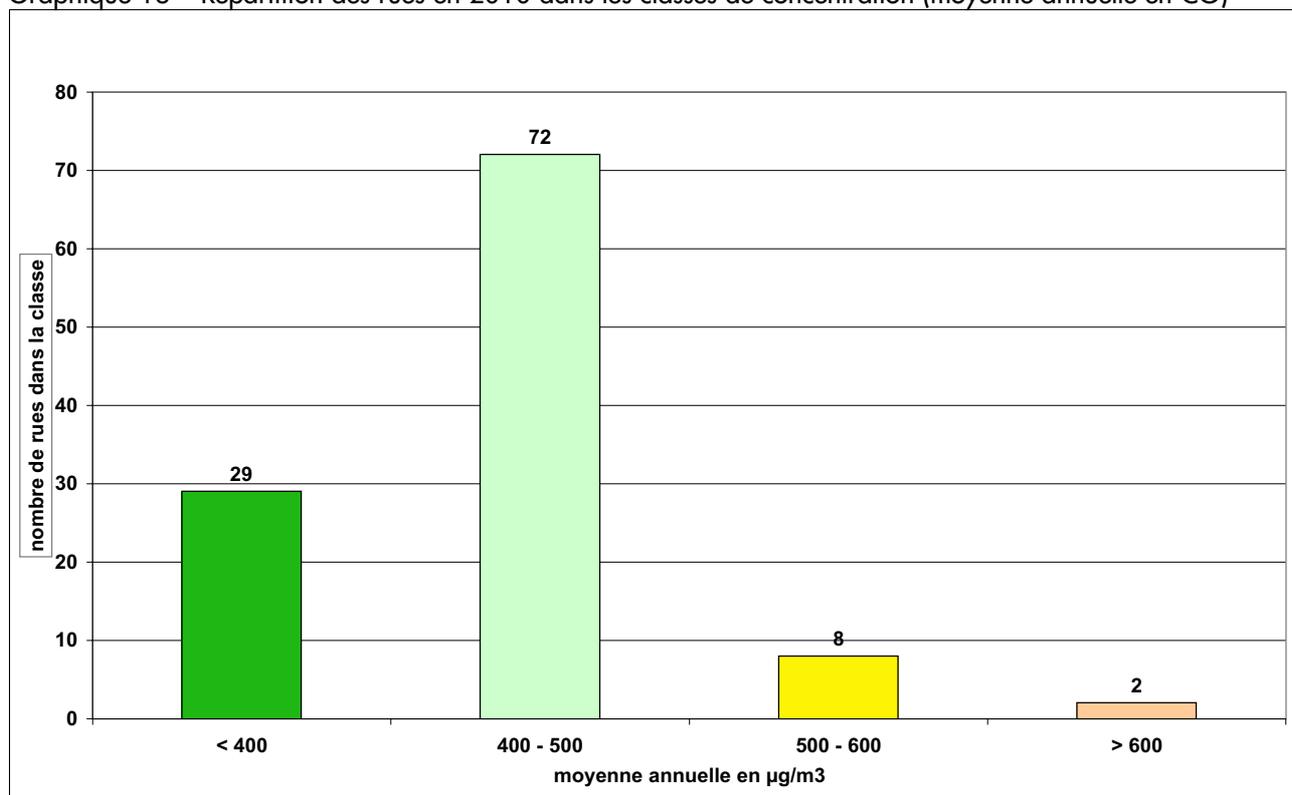
## Carte 8 – Cartographie des moyennes annuelles en benzène en 2010



### 3 – Le monoxyde de carbone

La carte du monoxyde de carbone dans les rues de Nantes en 2010 est présentée page suivante.

Graphique 13 – Répartition des rues en 2010 dans les classes de concentration (moyenne annuelle en CO)



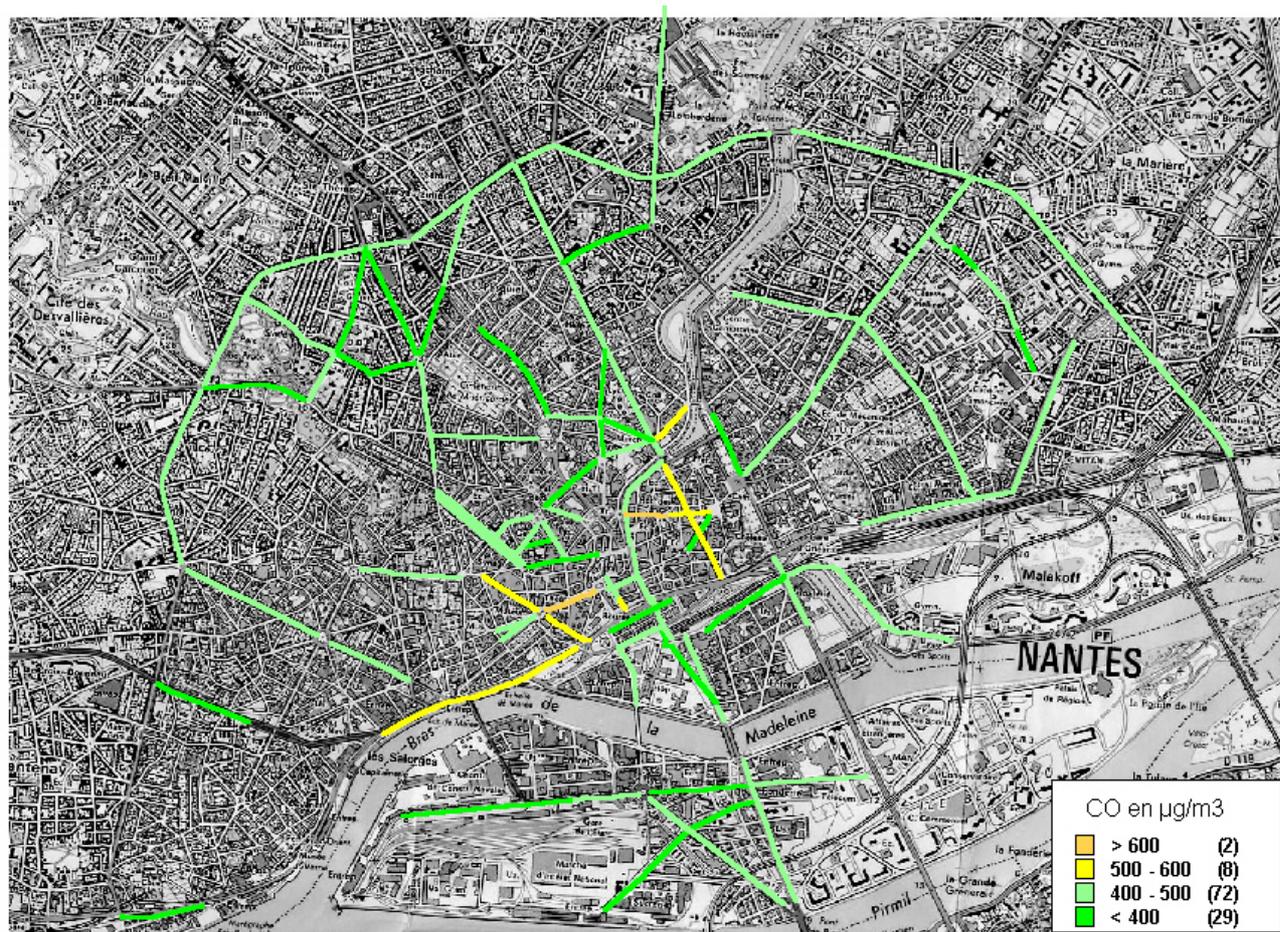
Malgré l'augmentation du trafic, les concentrations moyennes annuelles en monoxyde de carbone devraient diminuer en moyenne de 36 % environ en raison de la sévérisation de la réglementation à l'émission des véhicules. Dans ces conditions, aucune rue ne dépasserait 1000 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle.

Tableau 10 – Les dix rues les plus exposées au monoxyde de carbone en 2010

No	Rue	Trafic	Rapport H/L	Concentration
1	Rue Crébillon	24809	2.27	965
2	Rue de l'Hôtel de Ville	17637	1.98	606
3	Rue J.J. Rousseau	14069	1.15	536
4	Quai de la Fosse1	49695	x	532
5	Rue Le Couedic1	11336	3.46	529
6	Rue Chateaubriand	10662	1.15	510
7	Rue du Maréchal Leclerc	15965	1.02	510
8	Rue de Strasbourg	29550	1.37	506
9	Rue Racine	9024	1.65	506
10	Quai de la Fosse2	39378	x	505

Trafic en véhicules/jour; H : hauteur des bâtiments; L : largeur de la rue; Concentration en µg/m<sup>3</sup>

## Carte 9 – Cartographie des moyennes annuelles en monoxyde de carbone en 2010



## 4 – Les particules PM10

En l'absence de données sur la projection à l'horizon 2010 des concentrations de fond en particules PM10, la caractérisation de la qualité de l'air dans les rues de Nantes pour ce polluant et cette année n'a pas été réalisable. La connaissance de cette pollution de fond est primordiale puisqu'à l'échelle de la rue, la pollution ambiante de l'agglomération contribue à 80 % de la pollution totale de la rue pour les particules [2]. La situation de la qualité de l'air à l'horizon 2010 vis à vis des seuils réglementaires est de plus difficile à estimer dans la mesure où la valeur limite évoluera à hauteur de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle, soit une valeur proche des concentrations actuellement observées.

## *7. CONCLUSIONS ET PROLONGEMENTS*

---

Une étude de modélisation a été réalisée pour caractériser la qualité de l'air dans les principales rues du centre ville de Nantes à deux horizons : 2001 et 2010.

Pour l'année 2001, il n'est pas observé de dépassement des valeurs limites pour les polluants modélisés même si quelques rues (rue Crébillon et rue de l'Hôtel de Ville) s'en approchent pour le dioxyde d'azote.

En revanche, les résultats de la simulation montrent un dépassement de l'objectif de qualité dans plus d'une rue sur deux pour le dioxyde d'azote et dans la quasi totalité des rues pour le benzène. Concernant les particules PM10, les niveaux sont relativement homogènes d'une rue à l'autre et éloignés des seuils réglementaires. De manière générale, les concentrations en polluants sont plus importantes dans les rues "canyons" de l'extrême centre ou bien sur les voies très circulées comme le Quai de la Fosse.

A l'horizon 2010, malgré l'augmentation du trafic et en raison de la mise en œuvre de normes d'émissions plus strictes sur les véhicules, la situation devrait sensiblement s'améliorer comme le montre le tableau suivant :

Tableau 11 - Comparaison des concentrations moyennes toutes rues confondues entre 2001 et 2010

Ecarts (%)	Dioxyde d'azote	Benzène	Monoxyde de carbone
2010 par rapport à 2001	- 36	- 54	- 36

Cette amélioration devrait se traduire par un respect quasi-systématique des seuils réglementaires (objectifs de qualité ou valeurs limites plus sévères en 2010 par rapport à 2001). Cette situation est à considérer avec précaution en raison des incertitudes sur les données d'entrée du modèle (hypothèses de croissance du trafic, renouvellement du parc automobile) et l'évolution de la qualité de l'air devra être confirmée par des mesures sur site. En particulier, la projection utilisée dans cette étude prévoit un remplacement rapide des véhicules non-catalysés alors que d'autres scénarii, qui pourront être ultérieurement testés, sont moins favorables. En revanche, l'amélioration de la qualité de l'air est inéluctable.

Cette étude, riche d'enseignements, est une première étape dans l'amélioration de la connaissance des niveaux de pollution en centre-ville. Elle pourra être prolongée selon les axes suivants : mesure, cartographie et aide à la décision.

- Air Pays de la Loire procédera dès 2004 à la constitution d'un programme permanent de suivi de la pollution par voie de mesure sur les rues de Nantes identifiées par le modèle comme étant les plus exposées, afin de confirmer les informations fournies par OSPM.
- En raison des bonnes performances d'OSPM, le modèle, intégré à part entière dans la stratégie de surveillance d'Air Pays de la Loire, pourra être appliqué dans d'autres agglomérations des

Pays de la Loire (Le Mans, Angers, Saint Nazaire,...). A l'exemple de cette étude, des cartographies seront établies de manière à présenter aux autorités publiques et au grand public une information locale, prospective, fiable et attractive.

Photo 3 – La rue de la Roë à Angers



*Le rue de la Roë à Angers, équipée de d'appareils de contrôle de la pollution, pourrait permettre d'initier une étude systématique de la qualité de l'air dans les rues du centre-ville d'Angers en fournissant des informations utiles à la validation du modèle OSPM sur l'agglomération. D'autres stations, comme celles installées sur la rue Gougéard au Mans ou bien sur l'Avenue de la République à Saint-Nazaire pourraient également servir de base à des études sur ces agglomérations. La faisabilité de réalisation de ces approches est liée à la disponibilité des données d'entrée (concentration de fond, météorologie, trafic routier et configuration de la rue) et à l'expertise dans la mise en œuvre du modèle OSPM.*

- Ces éléments constitueront une information de base pour l'aide à la décision en matière de gestion de la qualité de l'air en centre ville. OSPM pourrait aussi être appliqué aux Plans de Déplacement Urbain, notamment dans l'agglomération nantaise, en complément des autres systèmes de modélisation utilisés à Air Pays de la Loire, de manière à quantifier l'anticipation que ces Plans pourraient apporter en matière de retour à une qualité de l'air favorable dans les centres urbains.

## ANNEXE 1: BIBLIOGRAPHIE

- [1] WinOSPM modelling for street canyons of Nantes – Sharad B. GOKHALE (Indian Institute of Technology, Department of Civil Engineering, New Dehli – INDIA) – rapport de stage pour Air Pays de la Loire et l'Ecole des Mines de Nantes – Décembre 2002
- [2] Mise en œuvre et validation de WinSOPM (Operational Street Pollution Model) sur trois rues de Nantes – Air Pays de la Loire – Janvier 2003
- [3] Cartographie de la pollution dans les principales rues du centre ville de Nantes – Romain PIERRE (Ecole Centrale de Nantes) – rapport de stage pour Air Pays de la Loire – Août 2003
- [4] Optimisation des sorties de modèle de trafic – Nantes – Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest – Janvier 2000
- [5] Modélisation de l'exposition à l'échelle de la rue – Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'air – Convention 42/2000 – Décembre 2001
- [6] BERKOWICZ R., KETZEL M., VACHON G., LOUKA P., ROSANT J-M., MESTAYER P.G. and SINI J-F. – Examination of trafic pollution distribution in a street canyon using the Nantes'99 experimental data and comparison with model results – Water, Air and Soil Pollution : Focus – **2**, 311-324 - 2002
- [7] Vardoulakis S., Gonzalez-Flesca N., Fisher B.E.A. – Assessment of trafic-related air pollution in two street canyons in Paris : implications for exposure studies – Atmospheric Environment – **36**, 1025-1039 – 2002
- [8] Modélisation des gabarits des rues du centre-ville de Nantes pour le modèle OSPM – Laboratoire CERMA – UMR CNRS 1563 – Mohamed BENZERZOUR et Dominique GROLEAU - Juin 2003
- [9] Bilan du programme Auto Oil II – communication de la Commission des Communautés Européennes – COM(2000)626 – 5 octobre 2000
- [10] Estimation des émissions de polluants du trafic routier en 2010 et 2020 – CITEPA – 5 mars 2002
- [11] Assessment of the future air quality in Danish towns – Steen Solvang Jensen (NERI) – <http://www.mst.dk/project/NyViden/2000/06210000.htm>