

**ETAT INITIAL DE LA QUALITE DE L’AIR
AUTOUR DU PROLONGEMENT DU TUNNEL SAINT CHARLES
- CAMPAGNE DE MESURE ET ANALYSE -**

Etude d’impact du projet de pôle de transport Marseille Saint Charles

CUMPM : Maîtrise d’ouvrage pour la prolongation de la trémie de sortie vers l’autoroute A7



RAPPORT D’ETUDE AIRMARAIX

Rédaction : P. Guieu-Renzi

Relecture : D. Robin – S. Durand

Avril 2002

**ETAT INITIAL DE LA QUALITE DE L’AIR
AUTOUR DU PROLONGEMENT DU TUNNEL SAINT CHARLES
- CAMPAGNE DE MESURE ET ANALYSE -**

SOMMAIRE

Chapitre I : Présentation de l’étude	3
1. Présentation du site et objectifs	3
2. Présentation des polluants mesurés	3
2.1. Composés organiques volatils (COV)	3
2.2. Les oxydes d’azote	4
3. Moyens de mesures engagés pendant la campagne	5
3.1. Analyseurs automatiques	5
3.2. Tubes à diffusion passive	5
4. Stratégie d’échantillonnage	6
Chapitre II : Résultats et discussion	8
1. Conditions météorologiques de la période de mesures	8
2. Niveaux moyens sur l’ensemble de la campagne de mesures	9
2.1. Les oxydes d’azote	9
2.1.1. Niveaux de NO ₂ mesurés par les stations temporaires « Leclerc » et « Université »	9
2.1.2. Evaluation de la représentativité temporelle de la période de mesure par rapport à l’année 2000/2001	10
2.1.3. Evaluation du risque de dépassement des seuils de référence sanitaire	15
2.2. Les BTX (Benzène Toluène Xylène)	17
2.2.1. Niveaux de benzène	17
2.2.2. Niveaux de toluène	18
2.2.3. Rapport toluène/benzène	18
2.2.4. Evaluation des niveaux de NO ₂ et de benzène en fonction des périodes	19
2.3. Les poussières ou particules inférieures à 10µm	20
2.4. Le monoxyde de carbone	21
2.5. Le dioxyde de soufre	22
Chapitre III : Conclusion	23
ANNEXES :	24
Emplacement des tubes et des stations temporaires (tableau – carte)	
Répartition des teneurs en dioxyde d’azote et benzène sur le secteur St Charles (cartes)	
Origine des polluants et impact sur la santé - Normes	

Chapitre I : Présentation de l'étude

1. Présentation du site et objectifs

OBJECTIFS – CONTEXTE :

Cette étude consiste en l'évaluation de la qualité de l'air sur le secteur Saint Charles dans le but de fournir des éléments techniques pour l'étude d'impact et de permettre de caler certains paramètres utiles à la modélisation informatique.

Il s'agit d'une étude Type II d'après la typologie du CERTU – la bande d'étude est de 200m, dans laquelle doit être appréhendée l'influence du projet sur la pollution de proximité.

Les polluants pouvant être raisonnablement pris en compte pour l'étude de la pollution gazeuse en milieu urbain (réglementés ou nouvellement réglementés dans le cadre de l'UE) correspondent aux espèces suivantes : NO_x-CO-HCNM-C₆H₆-Particules-SO₂-Pb-Cd

Les conclusions visent à fournir :

- Une qualification environnementale de la qualité de l'air sur le secteur. Le calcul des probabilités de dépassement des normes annuelles, par points de mesures et par axes de circulation.

2. Présentation des polluants mesurés

Les composés mesurés pour l'étude sont des indicateurs de la pollution automobile :

- Les oxydes d'azote (NO, NO₂, NO_x)
- Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène)
- Les particules (poussières inférieures à 10 µm), le monoxyde de carbone et accessoirement le dioxyde de soufre. Pour ces derniers, la description des sources, chimie et effets se trouvent dans les fiches en annexe 3.

2.1. Composés Organiques Volatils (COV)

Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les différentes formes du xylène (BTEX) sont caractéristiques de la pollution automobile. Ces substances sont retenues pour leurs effets sanitaires et leurs participations comme précurseurs de la pollution photochimique.

2.1.1. Benzène

La communauté internationale porte un intérêt tout particulier aux concentrations de benzène dans l'atmosphère, celui-ci devrait bientôt être réglementé par les instances européennes.

Valeurs de référence :

- *Organisation Mondiale de la Santé (OMS)* : Le benzène est reconnu comme cancérigène par l'OMS. Elle estime que le risque est de 6.10^{-6} par $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition continue à vie¹.
- *Union Européenne (UE)* : Le projet de valeur limite annuelle européenne est de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Suivant ce projet ce seuil serait à respecter par les Etats membres à l'échéance 2010². Cette référence a déjà été utilisée lors de campagnes internationales (MACBETH³).
- *France* : Un objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle a été fixé par le décret du 6 mai 1998.

2.1.2. Toluène

Les effets sanitaires du toluène se manifestent par des difficultés respiratoires en particulier dues à des irritations.

Valeurs de référence :

- *OMS* : La valeur guide est de $0.26 \text{ mg}/\text{m}^3$ pour une semaine d'exposition.

2.1.3. Xylène

Dans le rapport, le terme de xylène (ou bien « éthylbenzène+xylène ») désigne la somme de quatre substances : éthylbenzène, ortho-, para-et meta-xylène.

Ces composés ne possèdent pas de valeur guide concernant les recommandations de l'OMS mais ils jouent un rôle important en tant que précurseurs de la pollution photochimique.

2.2. Les oxydes d'azote (NO, NO₂, NO_x)

Sur la zone d'étude, les oxydes d'azote (NO_x) sont principalement émis par les transports. C'est le monoxyde d'azote (NO) qui est émis au pot d'échappement, il est ensuite oxydé en quelques dizaines de secondes pour former le dioxyde d'azote (NO₂).

Les principaux effets du NO₂ sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire, en particulier chez l'enfant, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

Il joue également un rôle dans les processus photochimiques et les pluies acides.

Valeurs de référence pour le NO₂ :

- *OMS* : La recommandation annuelle est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Guideline for Air quality 1999).
- *UE* : La valeur limite européenne annuelle est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'échéance 2010² (directive européenne du 22 avril 1999).

Valeur de référence pour les oxydes d'azote (NO_x) :

- *OMS* : Charge critique pour les écosystèmes : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

¹ Ce qui signifie que le risque de développer un cancer a été évalué à six chances sur un million par $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

² COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (5 Octobre 1998) Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE relating to limit values for benzene and carbone monoxide in ambient air.

³ LIFE 96 ENV/IT/070 MACBETH

3. Moyens de mesures engagés pendant la campagne

Deux types de moyens de mesures complémentaires ont été mis en œuvre pendant la campagne :

- des mesures en continue, avec des analyseurs automatiques : points 1 et 8 des cartes.
- des mesures, intégrées sur 10 jours, réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs avec une analyse différée en laboratoire.

3.1. Analyseurs automatiques

- 2 stations équipées d'analyseurs automatiques :

Station dite de « trafic » (de proximité) localisée dans une cabine sur l'Avenue Général Leclerc : NO_x – SO₂ – CO – PM₁₀

Située à moins de 10 m de l'axe

Station « urbaine » (de fond), implantée dans le local de projection de la salle de conférence dans l'université : NO_x – Située à plus de 50 m de l'axe.

3.2. Tubes à diffusion passive

Tubes NO₂

L'absorbant utilisé est la TriEthanolAmine (TEA).

■ Les tubes dits de Palmes (PASSAM) : la diffusion passive s'effectue par l'extrémité du tube sans membrane. Ils sont sensibles à l'humidité relative de l'air et au vent.

Les tubes de Palmes ont ici été utilisés uniquement pour le NO₂. L'intérêt de cette technique réside dans le prix modéré, ce qui permet de disposer de nombreux sites d'échantillonnages sur la zone. L'inconvénient majeur est son caractère indicatif, c'est à dire que les résultats obtenus possèdent une précision de l'ordre de 30 % au mieux. Ils permettent néanmoins d'effectuer des comparaisons entre divers points et d'établir une répartition géographique du polluant (information relative)

Tubes BTEX

La précision des mesures des tubes de type Radiello a été testée et quantifiée pour le benzène. Les études effectuées par l'ERLAP (European Reference Laboratory for Air Pollution) montrent que la précision des tubes est de l'ordre de 15 %, ce qui permet de comparer les niveaux relevés aux valeurs de référence. Ceci s'explique par la structure même du tube qui rend l'absorption relativement indépendante de la force du vent et de l'humidité de l'air.

Le maillage du secteur par des capteurs passifs a été réalisé comme suit :

28 points d'échantillonnage NO₂ (Tubes passam)

28 points d'échantillonnage : Benzène (+ toluène+xylène)

4. Stratégie d'échantillonnage

La difficulté d'échantillonner une zone géographique repose sur deux questions principales :

- *Quel est le nombre de points de mesure optimal ?*
- *Quel temps de prélèvement ?*

Le nombre de sites de mesures est conditionné par deux facteurs principaux qui sont le niveau de précision souhaité et l'hétérogénéité de la zone à analyser.

Le projet de prolongement du tunnel Saint Charles se situe dans un contexte très urbanisé et sillonné de voies de trafic de toutes capacités, allant de la ruelle à l'autoroute. Certaines zones sont néanmoins, assez ventilées (en altitude) et certains axes plutôt larges (Bd Leclerc), ce qui est un gage d'une meilleure dispersion des polluants.

Choix des sites de mesures :

Les polluants automobiles (NO_x et BTEX) sont mesurés simultanément sur 28 points.

Le choix des sites s'appuie sur :

- un maillage relativement dense, des transepts de 4 points autour des axes Bd Leclerc et début de l'autoroute : 2 positionnés directement de part et d'autre de l'axe et 2 autres points caractérisant les contextes directement afférents sur l'arrière des axes : points distants de plus de 20m. Il s'agit dans ce type d'exercice de prendre en compte sur la totalité de l'aire géographique déterminée, toute l'hétérogénéité en terme de pollution (maximale ou chronique) qu'elle est susceptible de présenter : ces différences se détectent en fonction des émissions, facteurs environnementaux présents qui favorisent la dispersion (espaces verts, colline,...), densité du bâti, voirie,...
- quelques points pour compléter les « manques » du maillage (ou plutôt du « quadrillage »), notamment : points 20 et 24.
- des points de mesures ont été ajoutés sur les deux sites de mesures permanents : points 1 et 8.

Les données Météorologiques sont extraites de la base de données du réseau Airfobep qui gère la station « Vitrolles réaltor ». Celle-ci étant caractéristique de la météorologie synoptique des Bouches du Rhône.

N.B. : la station météorologique de Perier est en cours de remplacement et donc inutilisable pour cette étude.

Période des mesures :

Les mesures ont été réalisées sur la période du 23 mai 2001 au 22 août 2001.

Cependant les stations fixes ont, quant à elles, fonctionné

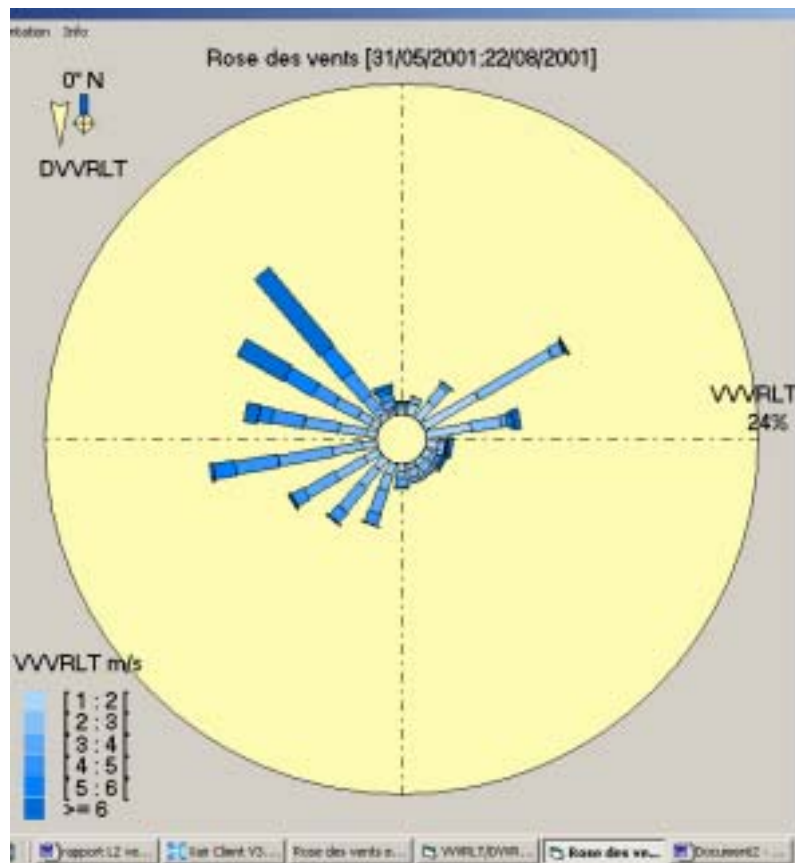
- du 31 mai au 22 août, pour la station général Leclerc.
- du 21 juin au 22 août, pour la station dans l'université : Une erreur technique s'est produite sur ce site qui a été équipé d'un analyseur d'ozone au 31 mai au lieu d'un analyseur de NO_x.

Les périodes d'échantillonnage des tubes sont de 10 jours (6 périodes).

Tournées	Période de prélèvement des tubes passifs
T1	du 23/05 au 04/06
T2	du 04/10 au 16/06
T3	du 16/06 au 28/06
T4	du 28/06 au 09/07
T5	du 09/07 au 21/07
T6	du 21/07 au 02/08

Chapitre II : Résultats et discussion

1. Conditions météorologiques de la période de mesures



Rose des vents relevée sur le site Vitrolle Réaltor du 31/05 au 22/08/2001

Deux secteurs de vents majoritaires ont été observés sur cette période :

- Vent de Nord Ouest à relier à du mistral pour des vitesses supérieures à 5m/s.
- Brises de Sud Sud Ouest dont les vitesses restent en deçà de 4m/s

Cette période a été ensoleillée, chaude et sèche, dominée par des régimes de brises alternées terre mer à raison de 27% sur la période (contre 15%) pour le vent de Nord Ouest fort ; soit, des conditions moyennement pénalisantes pour la dispersion des polluants dans l'air.

Répartition en pourcentages des secteurs et vitesses de vent sur la périodes

	+1	[1 ; 2]	[2 ; 3]	[3 ; 4]	[4 ; 5]	[5 ; 6]	>=6	Cumul
[350 - 10]	0,2	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9
[18 - 30]	0,4	0,3	0,5	0,0				1,4
[30 - 50]	0,6	1,5	1,4	0,5	0,0	0,0		3,3
[50 - 70]	1,0	4,5	6,1	0,9	0,2	0,1	0,0	11,8
[70 - 90]	0,6	3,3	3,3	0,6	0,3	0,3	0,4	6,8
[90 - 110]	0,5	0,8	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	1,9
[110 - 130]	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	1,7
[130 - 150]	0,1	0,5	0,6	0,3	0,1			1,4
[150 - 170]	0,2	0,4	0,6	0,4	0,0			1,6
[170 - 190]	0,3	0,6	0,4	0,6	0,3			1,8
[190 - 210]	0,2	0,9	1,2	1,0	0,8	0,0	0,0	4,8
[210 - 230]	0,3	0,9	1,6	2,3	1,0	0,8	0,1	5,9
[230 - 250]	0,3	1,1	2,0	2,5	1,0	0,1	0,1	7,3
[250 - 270]	0,3	1,8	2,2	3,9	3,2	1,6	0,3	12,3
[270 - 290]	0,2	0,8	2,0	2,5	2,4	1,0	1,0	9,6
[290 - 310]	0,1	0,7	1,0	1,9	1,9	2,3	3,6	11,6
[310 - 330]	0,1	0,5	0,5	1,1	2,2	2,3	7,3	13,9
[330 - 350]	0,3	0,3	0,2	0,6	0,8	0,3	0,3	2,2
Cumul	6,1	19,7	34,2	39,2	43,8	53	63,6	100%

2. Niveaux moyens sur l'ensemble de la campagne de mesures

2.1. Les oxydes d'azote

2.1.1. Niveaux de NO₂ mesurés par les stations de mesures temporaires : « Leclerc » et « Université » comparés au réseau permanents de Marseille

Tableau récapitulatif des niveaux en oxyde d'azote relevés sur les sites « Leclerc » et « université » :

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Leclerc		Université	
	NO	NO ₂	NO	NO ₂
Moyenne	25	66	4	33
Max horaire	303	222	385	134
Date	09/08	31/05	03/08	26/07

Le rapport NO/NO₂ sur « Leclerc » est légèrement plus élevé que sur le site « université » 0,38 contre 0,12, soit un rapport trois fois moindre. Ce point traduit l'influence de la proximité automobile sur la station « Leclerc ».

- **Récapitulatifs des maximums horaires**

Les niveaux moyens de NO₂ relevés sur le site « Leclerc » (66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont inférieurs de 18 à 30 % respectivement aux stations fixes « National » et « Plombières » (sites encaissés avec un fort taux de passage journalier). Sur ces stations, les pointes excédants le seuil horaire de 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont également plus de trois fois plus importantes que celles de « Leclerc ».

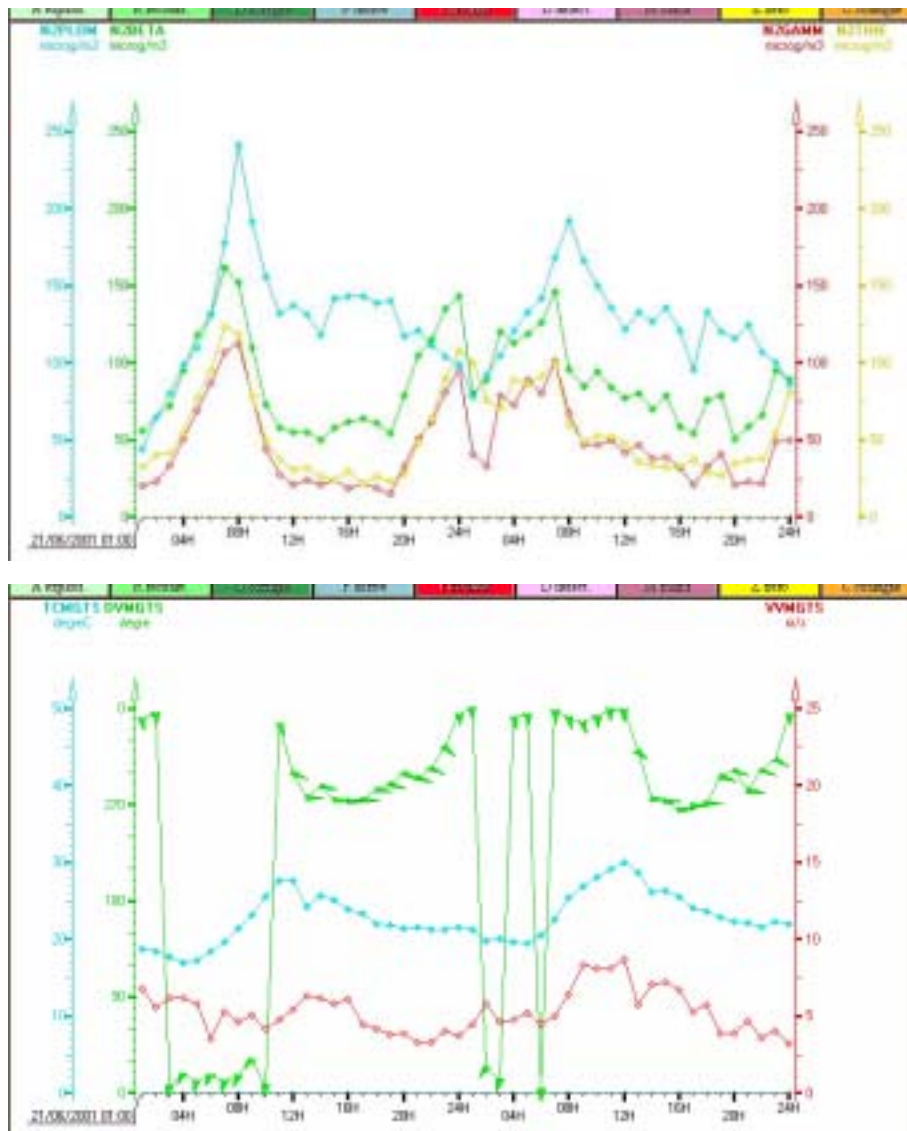
Par contre les teneurs de « Leclerc » sont plus élevées de 18 à 29% que sur des stations équivalentes en terme de trafic ou de facteurs de dispersion les caractérisant (« Timone » ou « Rabatau »)

Le différentiel est moins net en contexte urbain (« de fond ») : les concentrations moyennes relevées sur le site de l'Université (33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont équivalentes aux teneurs urbaines du centre ville : 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur « Cinq Avenues », ou 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur « Prado ». Pour le site « Université », les pointes sont rares, peu intenses et seulement aux heures de trafic le plus dense.

Si l'on se réfère au nombre de dépassements de la valeur guide européenne sur une heure (135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) relevé sur ces sites : 28 dépassements pour Leclerc et aucun pour « Université », l'objectif de qualité européen risque vraisemblablement d'être dépassé pour le premier et respecté pour le second (la tolérance de la norme porte sur 175 heures de dépassements).

La valeur européenne (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été atteinte 2 fois sur la période de mesure pour Leclerc. Il est donc probable qu'elle soit respectée sur l'année, puisque la tolérance actuelle en nombre d'heure est également de 175 h. Néanmoins, cette tolérance passe à 18 h en 2010. Aussi, il serait intéressant de produire un pronostic, en tenant compte des émissions.

Exemple d'évolution des niveaux de NO₂ les 20 et 22 juin 2001



Cet exemple illustre le lien étroit qui existe entre les sites de mesures 2 à 2. Les sites Thiers et Gamma (université) se comportent de la même façon et s'apparentent à des sites urbains denses en centre ville.

L'écart entre ces deux sites et celui de Leclerc (Beta) est constant, malgré sa typologie de proximité ; il existe une homogénéité des comportements en ville due à des conditions météorologiques et à des activités anthropiques comparables. La station de Plombières se démarque légèrement, les niveaux enregistrés sont directement liés aux passages des véhicules. Le trafic dense qui y est drainé fait de cette station un lieu sensible aux variations de teneurs en polluants.

2.1.2. Evaluation de la représentativité temporelle de la période de mesures par rapport à l'année 2000/2001 (soit du 22 août 2000 au 22 août 2001)

La directive du 22 avril 1999 fixe une valeur limite de **40 µg/m³** pour le NO₂ à respecter avant le 1^{er} janvier 2010. Ce seuil fait également l'objet d'une **recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé**.

Il s'agit donc d'évaluer le poids de la période de mesures par rapport à l'année. Pour ce faire, il faut préalablement valider que les sites de mesures de Marseille et ceux installés temporairement sur la secteur St Charles varient de façon comparable.

Les stations de Marseille prises en compte pour ces comparaisons sont soit de typologie comparable aux sites St Charles, soit géographiquement proches.

• **Lien NO₂ St Charles – NO₂ sites Marseille**
(Période d'extraction des données horaires des stations : du 31 mai 2001 au 22 août 2001)

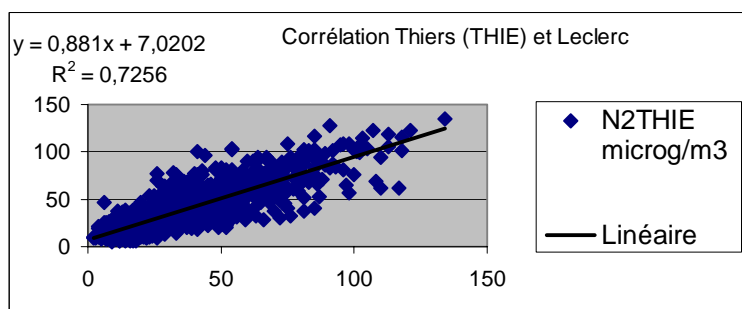
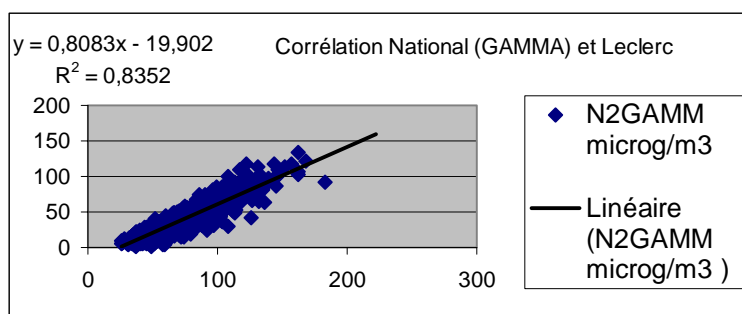
Les coefficients de corrélation entre le site « Leclerc » et d'autres sites géographiquement proches comme « Cinq Avenues » ou « National », s'étalent de 0,7 à 0,83, quelle que soit leur typologie. Les coefficients sont plus faibles pour des sites de typologie similaire mais plus éloignés.

« Leclerc » et « Université » sont elles même corrélées entre elles à 91%.

La station Université est corrélée à raison de :

- 69% avec National
- 88% avec Cinq Avenues
- 66% avec Timone
- 68% avec Rabatau
- 65% avec Plombières
- 73% avec Prado
- 64% avec Saint Louis
- 85% avec Thiers

Exemple de nuages de points entre les niveaux horaires relevés sur Saint Charles et sur deux autres stations marseillaises



Le coefficient de corrélation entre les sites de Leclerc et ceux de National et de Thiers **sont respectivement de 0.91 et de 0,85**, ce qui confirme le lien étroit qui existe entre l'évolution des niveaux de NO₂ dans Marseille et sur le secteur de Saint Charles.

- **Evaluation de la moyenne annuelle sur les sites Leclerc et Université**

Tableau récapitulatif des niveaux de NO₂ relevés pendant la période par rapport à la moyenne de l'année 2000/2001 (soit du 22/08/00 au 22/08/01)

En µg/m ³	National	5 Avenues	Ste Marguerite	Paradis	Penne sur Huveaune	Plombières	Prado	Rabateau	St Louis	Thiers	Timone		
Moyenne annuelle (22/08/00 au 22/08/01)	56 (médiane)	34	26	45	30	80	42	51	42	39	48		
Nbre de dépassement du seuil horaire 135 µg/m ³	160	4	0	26	0	695	8	51	29	8	13		
Nbre de dépassement du seuil horaire 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	27 Max : 254, le 11/09/00	0	0	0	0	0	Leclerc	Université
Moyenne de la période de mesure (31/05/01 au 22/08/01)	78	31	21	40	32	86	39	54	45	36	47	66	33
Nbre de dépassement 135 sur la période de mesure	100	1	0	7	0	245	2	17	21	2	2		
Rapport période/année	0.52	1.09				0.93	1.07	0.94		1.08	1.02		

Gras : Stations géographiquement proches ou de typologies comparables

Rapport Moyen période/année = 1,02%

La période de mesures enregistre des niveaux plus élevés de 2 % en moyenne par rapport à l'année de référence, et compte tenu du lien entre les sites (corrélation > 0,7), un correctif de 2% sera donc appliqué sur les sites « Leclerc » et « Université » sur la valeur moyenne de leur période de mesure pour obtenir une valeur annuelle probable.

Ainsi, leur valeur annuelle estimée est de : 67,3 µg/m³ pour Leclerc et de : 34 µg/m³ pour université

Ce coefficient de 2% sera également utilisé pour évaluer les niveaux annuels de NO₂ sur les sites ayant reçu des tubes de Palmes.

- **Evaluation du rapport tube passif sur analyseur**

La technique des tubes à diffusion passive de Palmes **est indicative**. Elle est principalement influencée par le vent qui agit sur le coefficient de diffusion passive dans le tube. Ce coefficient théorique permet de calculer le volume d'air qui a transité dans le tube. Cette

technique permet néanmoins de fournir une information relative entre différents points de mesures.

Afin d'apprécier quantitativement les niveaux des sites accueillant des capteurs passifs, deux sites équipés d'analyseurs fixes ont reçu des tubes en parallèles. Ces points permettent de caractériser l'écart entre les niveaux de références fournis par l'analyseur et ceux des tubes.

	23/05 au 04/06		04/06 au 16/06		16/06 au 28/06		28/06 au 09/07		09/07 au 21/07		21/07 au 02/08		
	T1	Station	T2	Station	T3	Station	T4	Station	T5	Station	T6	Station	
Point 1 (Université)	43,77		42,46		48,2	38	39,8	29	38,3	27	62,1	43	
Point 8 (Leclerc)	78,14		73,71	68	83,67	73	66,5	63	58,8	58	95,4	76	
Diff tube/analyseur													Moyenne
Point 1					1,27		1,37		1,42		1,44		1,38
Point 8			1,08		1,15		1,06		1,01		1,26		1,11

Ces calculs indiquent que le rapport tube sur analyseur est variable en fonction des sites. Il va néanmoins toujours dans le sens d'une surestimation des tubes par rapport aux analyseurs de 11 à 38 %. La surestimation moyenne est **de 25 %**.

- **Evaluation des niveaux de NO₂ sur l'année**

L'estimation de la moyenne annuelle nécessite de prendre en compte l'écart entre les niveaux fournis par les tubes et les analyseurs, d'autre part le poids de la période par rapport à l'année de référence.

Nous prendrons pour ce calcul les hypothèses suivantes :

- Le coefficient **0,75** correspond à la surestimation moyenne des tubes par rapport aux analyseurs sur la période.
- Le coefficient **0,98** correspond au poids de la période sur l'année (supérieur de **2 %** à la moyenne annuelle).

La formule pour évaluer quantitativement le niveau de NO₂ sur les sites « tubes passifs » est :

$$\text{Estimation moyenne annuelle} = (\text{moyenne de la période} * 0.75) * 0.98$$

Ci-après, calcul des valeurs moyennes annuelles estimées des tubes suite à la prise en compte de ce correctif :

µg/m3	Valeurs "brutes des tubes"							Application du coefficient correctif : Valeurs estimées						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Moyenne	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Moyenne
1	43,8	42,5	48,2	39,8	38,3	62,1	45,77	32,2	31,2	35,4	29,2	28,2	45,6	33,6
2	45,6	42,0	48,8	39,9	36,3	65,7	46,39	33,5	30,9	35,9	29,3	26,7	48,3	34,1
3	54,9	62,7	58,6	53,7		108,4	67,67	40,4	46,1	43,1	39,5	0,0	79,7	41,4
4	86,1	92,3	93,0	79,9	66,4	106,2	87,33	63,3	67,8	68,4	58,8	48,8	78,1	64,2
5	63,6	64,3	65,8	62,8	48,7	84,0	64,88	46,7	47,3	48,4	46,2	35,8	61,7	47,7
6	92,4	92,3	100,7	83,6	74,8	114,3	93,02	67,9	67,8	74,0	61,5	55,0	84,0	68,4
7	103,0	97,6	109,3	106,4	79,7	127,2	103,87	75,7	71,8	80,3	78,2	58,6	93,5	76,3
8	78,1	73,7	83,7	66,5	58,8	95,4	76,03	57,4	54,2	61,5	48,9	43,2	70,1	55,9
9	86,5	91,4	99,1	83,8	75,3	114,7	91,79	63,6	67,2	72,8	61,6	55,3	84,3	67,5
10	60,6	57,1	57,8	55,2	49,3	81,5	60,25	44,5	42,0	42,5	40,6	36,2	59,9	44,3
11	59,1	55,9	59,6	51,9	46,1	73,8	57,74	43,4	41,1	43,8	38,2	33,9	54,2	42,4
12	61,2	58,6	66,4	56,8	49,4	84,4	62,79	45,0	43,1	48,8	41,7	36,3	62,0	46,2
13	52,6	53,4	55,1	47,6	40,6	74,1	53,92	38,7	39,3	40,5	35,0	29,8	54,5	39,6
14	69,7	71,3	73,5	63,6	55,3	95,7	71,55	51,3	52,4	54,1	46,8	40,6	70,3	52,6
15	47,0	44,7	50,2	44,6	36,3	69,0	48,64	34,5	32,9	36,9	32,8	26,7	50,7	35,7
16	68,9	78,1	76,2	69,9	55,4	98,3	74,47	50,7	57,4	56,0	51,4	40,7	72,3	54,7
17	67,1	71,1	70,4	66,8	54,8	90,6	70,14	49,3	52,2	51,8	49,1	40,3	66,6	51,6
18	65,1	65,9	67,5	61,9	50,8	82,1	65,55	47,8	48,5	49,6	45,5	37,3	60,3	48,2
19	70,4	69,3	74,8	66,3	57,8	93,3	71,98	51,8	51,0	54,9	48,7	42,5	68,6	52,9
20	60,3	67,5	65,3	66,4	47,8	85,5	65,46	44,3	49,6	48,0	48,8	35,1	62,8	48,1
21	79,3	78,6	88,1	72,4	61,6	92,7	78,77	58,3	57,7	64,8	53,2	45,3	68,1	57,9
22	64,0	64,8	65,3	64,3	50	89,5	66,31	47,1	47,6	48,0	47,2	36,8	65,8	48,7
23	78,4	74,1	75,7	69,3	63,3	100,2	76,83	57,6	54,5	55,6	50,9	46,5	73,6	56,5
24	55,9	60,3	62,9	57,7	46,5	86,0	61,54	41,1	44,3	46,2	42,4	34,2	63,2	45,2
25	56,3	57,6	61,7	53,0	43,4	82,7	59,12	41,4	42,4	45,3	38,9	31,9	60,8	43,5
26	62,9	61,8	66,0	62,9	54,5	92,6	66,79	46,2	45,4	48,5	46,3	40,1	68,1	49,1
27	88,1	79,1	88,6	77,2	68,9	112,8	85,80	64,8	58,2	65,1	56,8	50,6	82,9	63,1
28	90,7	83,0	92,9	80,3	70,9	111,9	88,29	66,7	61,0	68,3	59,0	52,1	82,2	64,9

2.1.3. Evaluation du risque de dépassement des seuils de référence sanitaire :

Le décret français 6 mai 98 fixe deux valeurs : la valeur limite de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et l'objectif de qualité de $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 2% du temps sur l'année.

La moyenne annuelle peut être comparée au percentile 98 de la valeur limite par le biais d'un rapport existant entre celles-ci, généralement compris entre 2,3 et 2,8, soit 2,5 en moyenne. (Rapport EUR n°8613 EN Bruxelles 1983). Ce rapport, recalculé pour les stations marseillaises représentatives dans cette étude qui est de 2,3, fait effectivement partie de la tranche admise.

(Ultérieurement, la directive européenne du 22 avril 1999 porte à 18 h par an la tolérance de dépassement du seuil 200, avec un abaissement progressif jusqu'en 2010 du seuil de 300 à $200 \text{mg}/\text{m}^3$ – le rapport change peu : il augmente d'un 1 ou 2 point, en rapport avec le percentile 99,8 ; le choix de ce seuil pour les valeurs hautes n'influerait pas sur les résultats. Aussi, dans un souci d'homogénéité les seuils du décret français sont conservés).

Stations	Cinq Avenues	Prado	Thiers Noailles	Plombières	Rabatau	Timone
Moyenne annuelle 2000	34	41	42	77	51	46
Percentile 98 en 2000	84	97	98	164	115	96
Rapport	2.47	2.36	2.33	2.13	2.25	2.08

Soit : Moyenne des rapports : $2,27 \cong 2,3$

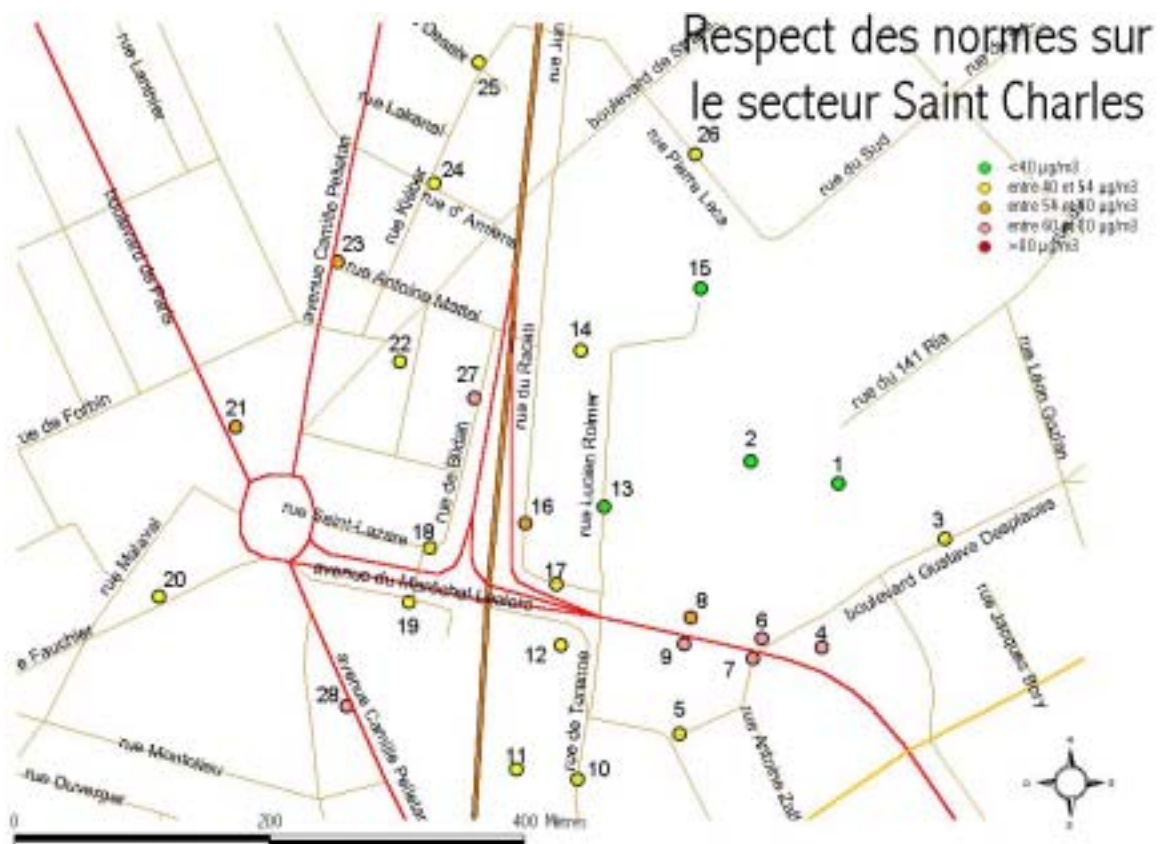
Dans cette étude le rapport 2,5 sera toutefois retenu, pour conserver la cohérence avec les études précédemment réalisées.

Aussi, les classes suivantes sont définies :

- moy $\geq 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$: dépassement de la valeur limite
- $60 \leq \text{moy} < 80$: risque de dépassement de la valeur limite
- $54 \leq \text{moy} < 60$: dépassement de l'objectif de qualité
- $40 \leq \text{moy} < 54$: risque de dépassement de l'objectif de qualité
- moy < 40 : respect des normes

N.B. : Deux seuils réglementaires sont fixés par décret, de $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (objectif de qualité) et de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite) correspondant aux percentiles 98 des valeurs horaires.

Soit, dans le cas où sur une série de valeurs horaires le percentile 98 excède $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il existe donc 2% des valeurs horaires supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces 2% concernent des valeurs hautes, i.e. des pics. Il est donc intéressant, à partir de valeurs annuelles, de pouvoir se rapporter à cette information concernant les pics horaires. Aussi le rapport classique de 2,5 entre la valeur annuelle et le percentile 98 est utilisé. Il permet à partir d'une valeur annuelle de calculer le percentile 98 et inversement. Pour travailler à partir des valeurs annuelles reconstituées sur les points d'échantillonnage des tubes, les percentile 98 de 200 et de 135 sont convertis en classes de concentrations moyennes annuelles ($200/2,5=80$ et $135/2,5=54$)



L'estimation des niveaux annuels de NO₂ sur la zone montre trois situations :

- **Voies autoroutières ou bretelles dont le passage excède 30 000 véh/j (A7 et bd Leclerc) :** les niveaux enregistrés se situent entre 54 et 76 µg/m³ (soit deux fois plus élevés que la valeur limite européenne annuelle de 40 µg/m³). Ces sites présentent également des risques de dépassements du seuil 200 µg/m³ en terme de pointes horaires.
- **Zone urbaine dense Sud Ouest : bd de Paris, av Camille Pelletan et nord de la place d'Aix avec un trafic urbain plus modéré :** teneurs entre 42 et 53 µg/m³. La norme annuelle européenne n'est pas respectée et des risques de dépassement de l'objectif qualité, en terme de pointes, existent.
- **Zone urbaine dans l'enceinte de l'université, sans trafic conséquent :** les niveaux de NO₂ relevés sont les plus bas du secteur, variant entre 30 et 40 µg/m³, mais faisant état néanmoins d'une pollution chronique non négligeable par les polluants issus des transports.

2.2. Les BTX (Benzène Toluène Xylène)

Tableau récapitulatif des niveaux moyens de benzène et de toluène sur la période du 23 mai au 8 août 2001.

Moyenne des 6 tournées	Benzène	Toluène	Xylène	Rapport Toluène/Benzène
1	1,6	6,6	8,3	4,1
2	1,6	6,7	8,3	4,1
3	1,9	7,9	10,5	4,2
4	2,8	12,9	17,4	4,6
5	2,4	9,7	13,2	4,1
6	3,2	14,1	20,9	4,5
7	3,5	16,3	23,6	4,6
8	2,6	11,9	16,4	4,5
9	2,9	12,3	17,8	4,3
10	2,3	11,3	14,9	4,9
11	2,0	8,1	10,4	4,1
12	1,9	7,7	10,1	4,1
13	1,9	9,7	12,1	5,0
14	2,0	8,7	11,6	4,3
15	1,8	6,5	8,4	3,7
16	2,2	8,3	12,2	3,7
17	2,5	11,3	16,1	4,4
18	2,2	10,5	13,4	4,7
19	2,4	10,8	14,3	4,6
20	2,3	11,0	15,3	4,8
21	2,7	14,1	19,2	5,2
22	2,3	11,3	15,4	4,8
23	3,0	16,8	23,3	5,6
24	2,2	10,9	15,2	4,9
25	2,1	11,6	15,2	5,7
26	2,3	15,1	21,1	6,5
27	3,2	16,5	23,4	5,2
28	3,4	20,8	26,7	6,0

2.2.1. Niveaux de benzène

Le benzène : C₆H₆

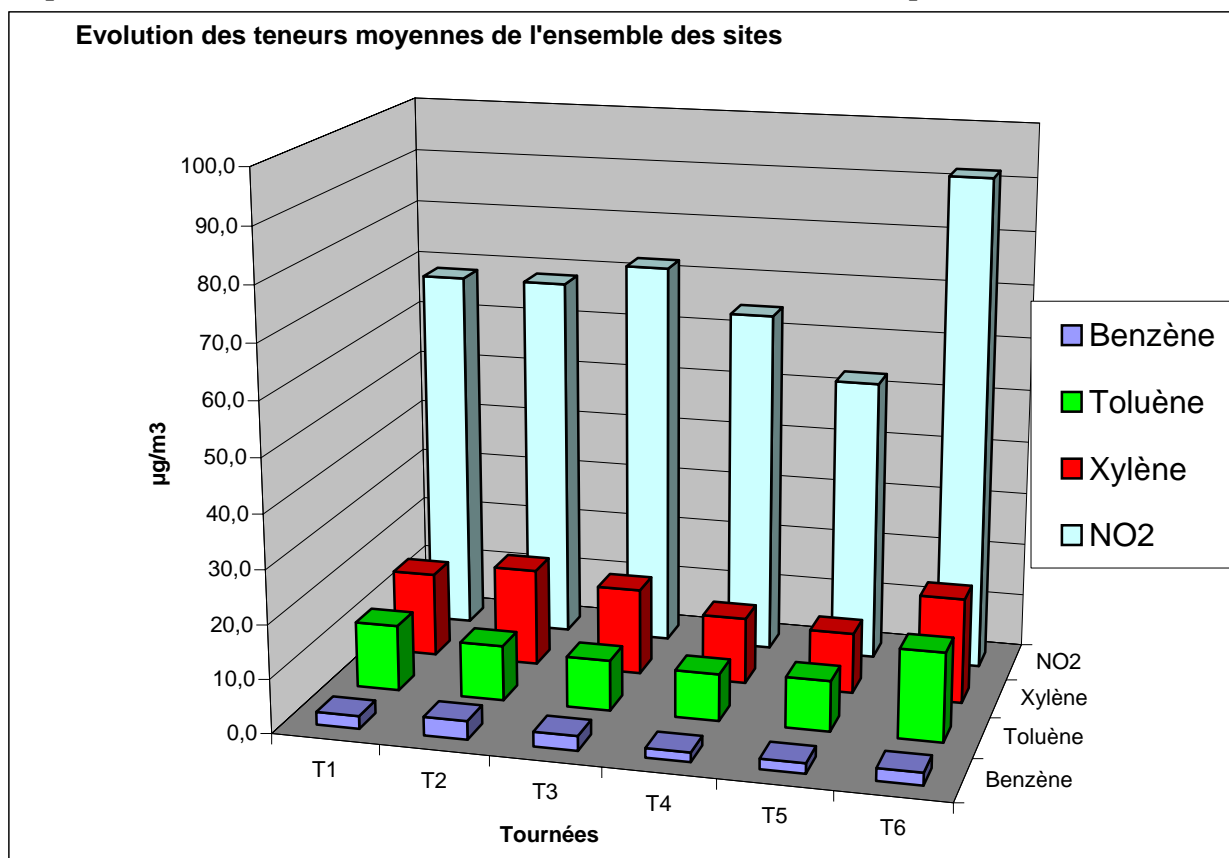
La répartition des niveaux de benzène est légèrement différente de celle du dioxyde d'azote. Son émission est en effet maximale dans les zones où le trafic est important et/ou congestionné : feux tricolores, bouchons, rues à vitesse très réduite. Par exemple, cas des points 7, 9, 23, 27, 28,...

Les niveaux de benzène enregistrés pendant la campagne s'étalent de **1,6 à 3,5 µg/m³** sur les six tournées analysées.

L'objectif de qualité fixé, par le décret du 6 mai 1998 (moyenne annuelle de 2 µg/m³) est donc dépassé fréquemment sur la totalité de l'aire d'étude, à l'exception de la zone piétonnière du campus : sur l'ensemble des tournées les moyennes en benzène restent en dessous de 2 µg/m³ pour les points 1 et 2.

2.2.4. Evolution des niveaux de NO₂ et de benzène en fonction des périodes

Graphes montrant l'évolution des niveaux de NO₂, benzène et toluène pendant 6 tournées :

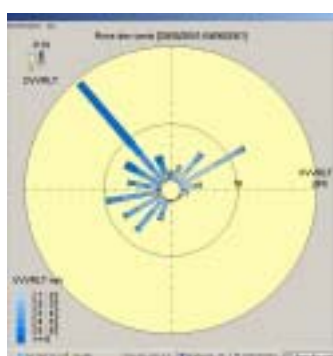


L'évolution des niveaux de NO₂, de benzène, de toluène et xylène sont comparables au cours du temps sur des périodes de dix jours environ.

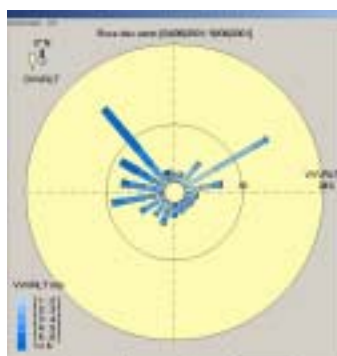
L'amplitude des variations entre les périodes où les niveaux sont minimums et maximums varie d'un facteur 1.5 à 2 en fonction des polluants. Ce point illustre la nécessité de réaliser un temps d'échantillonnage suffisamment long et de raccorder les niveaux à des sites de référence permanents lorsqu'ils existent pour évaluer la moyenne annuelle.

On peut considérer les facteurs météorologiques observés par tournées comme un indicateur global de la turbulence : les variations globales des polluants sont bien liées aux conditions météorologiques : si les conditions de dispersion des polluants augmentent, les niveaux diminuent. C'est le cas pour les tournées 2, 3 et 6 pour lesquelles le vent fort est moins marqué, et les régimes de brises plus établis.

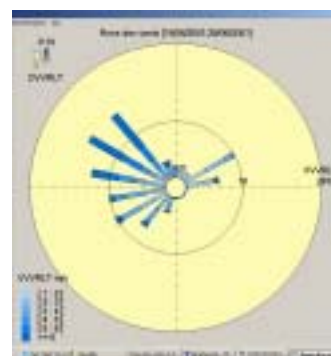
Roses des vents : T1



T2



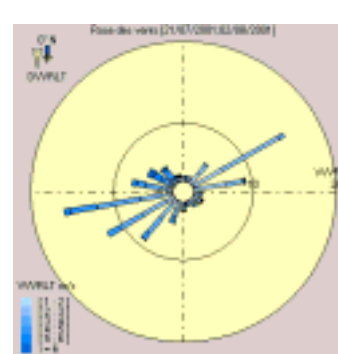
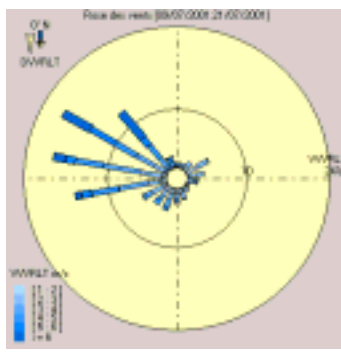
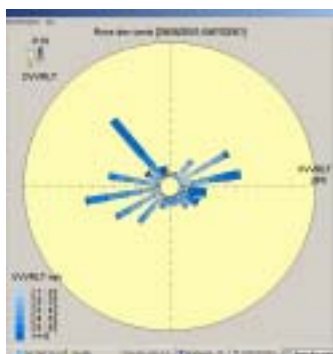
T3



T4

T5

T6



Les variations de trafic n'ont pas été intégrées dans l'analyse, mais elles jouent évidemment un rôle dans la concentration plus ou moins importante de polluants.

2.3. Les poussières ou particules inférieurs à 10 µm :

La moyenne sur la période de mesure pour la station du bd Leclerc est de 36 µg/m³, légèrement inférieur à la norme annuelle européenne de 40 µg/m³ pour les PM10. Cette situation est équivalente à celle que l'on retrouve dans d'autres contextes géographiques peu éloignés : moyenne de 34 µg/m³ pour Saint Louis et de 36 ou 32 µg/m³ respectivement pour « Timone » ou « Thiers Noailles ».

Le nombre de jour excédant 50 µg/m³ est de 7, sachant que la tolérance annuelle est de 35.

Le maximum journalier s'est élevé à 62 µg/m³, le 10 août 2001.

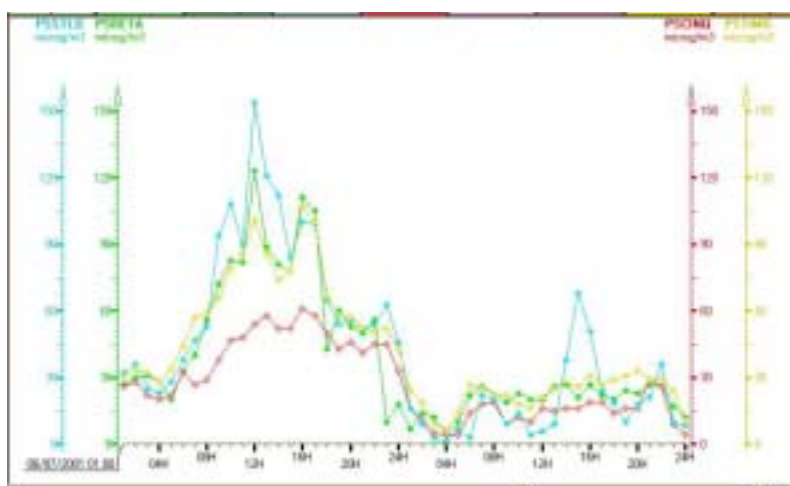
Le site « Leclerc » correspond à une station assez chargée en particules. L'empoussièrément est originaire du trafic automobile. Les pointes horaires les plus importantes s'observent aux heures de trafic le plus dense ; les journées les plus polluées, par situation de stabilité atmosphérique.

Du 31 mai au 22 août 01 :

µg/m ³	Poussières leclerc
Moy	36
Nbre j > 50	7
Max h	301
%h valides	88

Les variations sont homogènes sur le centre ville, bien corrélées sur les stations de Leclerc, Cinq avenues et Timone. Saint Louis se démarque parfois durant quelques heures. Ce secteur peut effectivement parfois être touché par des panaches des industries avoisinantes.

Variations horaires des poussières au cours des journées des 6 et 7 juillet :



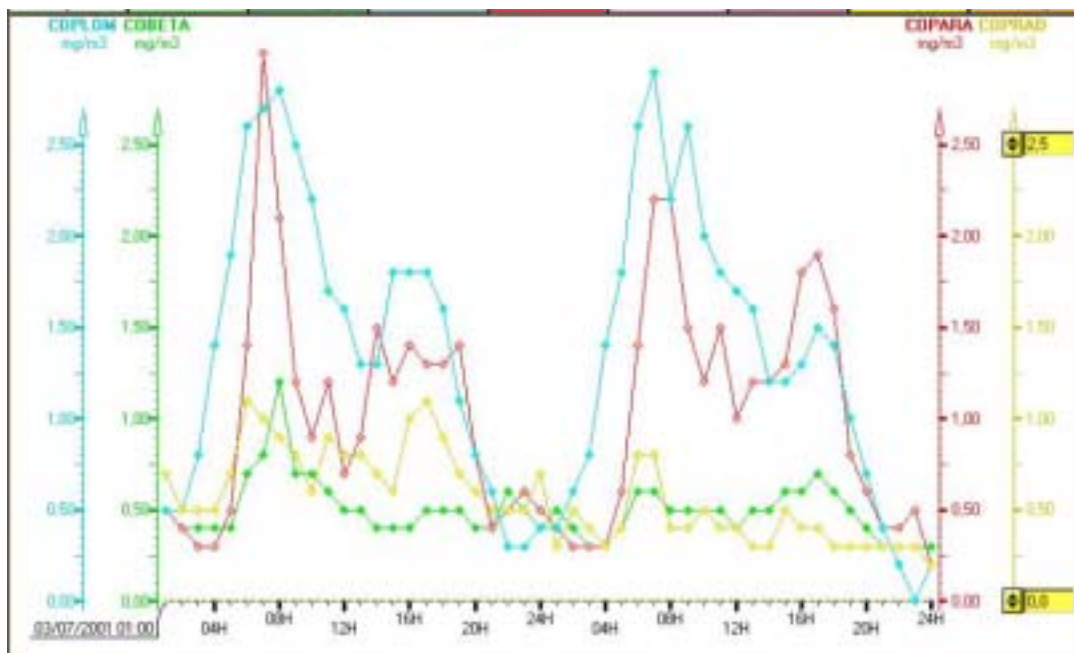
2.4. Le monoxyde de carbone :

Le maximum horaire a été de 1,5 mg, le 26 juin à 9h (recommandation horaire OMS : 30 mg/h). La moyenne sur la période est de 0,5 mg, sachant que les grandes villes européennes peuvent se situer dans des teneurs de l'ordre de 2 à 3 mg en moyenne annuelle. Le CO est peu présent sur la station Leclerc du fait de son emplacement aéré.

Du 31 mai au 22 août 01 :

mg/m ³	CO Leclerc
Moy	0,5
Nbre h > 30	0
Max h	1,5
%h valides	88

Variations horaires du monoxyde de carbone au cours des journées des 6 et 7 juillet :



Les stations Prado et Leclerc, boulevards passants mais aérés montrent sur ces deux journées des variations semblables, n'excédant pas 1,3 mg/h aux heures de pointes du trafic, vers 7 h le matin. Plombières et Paradis sont soumises à des variations beaucoup plus importantes : dans ces sites encaissés, le monoxyde de carbone a moins de possibilité de se disperser et reste donc concentré plus longtemps au niveau des axes.

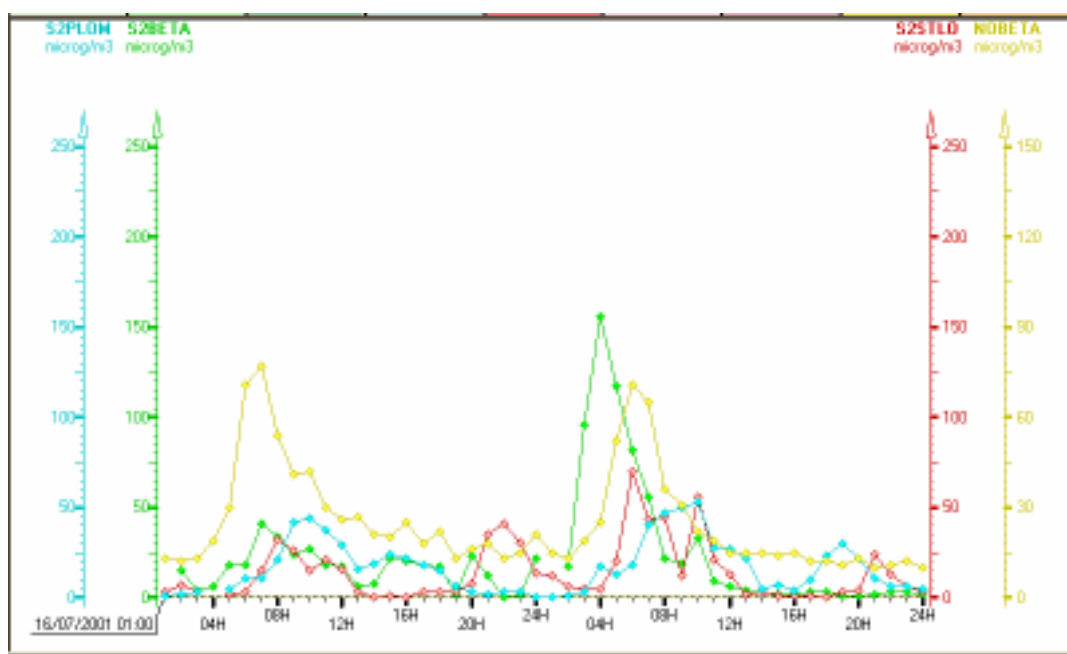
2.5. Le dioxyde de soufre :

Les niveaux en dioxyde de soufre sont faibles sur la station Leclerc. En moyenne les niveaux ont été de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sans dépassement d'aucune norme en vigueur pour ce polluant. Il ne trace que peu le trafic automobile.

Du 31 mai au 22 août 01 :

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ Leclerc
Moy	14
Nbre h > 350	0
Max h	188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, le 25/07 13h
%h valides	95

Variations horaires du dioxyde de soufre au cours des journées des 16 et 17 juillet :



Typiquement, sur ce graphe est observée une pointe de SO₂ due à la retombée d'un panache soufré. Effectivement, la pointe soufrée est brève, centrée sur 4 h (TU) du matin, non liée au NO issu du trafic dont le maximum se produit à 5 h TU (7 h locale).

Chapitre III : Conclusion

Autour du prolongement du tunnel Saint Charles : des situations contrastées :

Le trafic drainé par le bd Leclerc et par l'entrée de l'autoroute génère des émissions polluantes sur le secteur « prolongement du tunnel Saint Charles ». Dans la bande des 200m autour du projet d'aménagement il existe deux contextes différents qui influent également sur la qualité de l'air : au sud et à l'ouest, un tissu urbain composé d'une voirie dense : grands boulevards ou au contraire de rues encaissées, et au Nord Est le campus universitaire, plus aéré.

Evaluation du risque de dépassement des seuils de référence sanitaire :

Ainsi, le contraste est net : le boulevard Leclerc enregistre des niveaux moyens de **dioxyde d'azote** de l'ordre de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période, niveaux qui rapportés à l'année, impliquent le dépassement probable de la norme annuelle de l'UE de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La station « Leclerc » et les points échantillonnés dans ce contexte urbain dense présentent également une probabilité certaine de dépassement de l'objectif de qualité¹, en terme de pointe.

Pour le site « Université », ces teneurs en dioxyde d'azote s'apparentent à des niveaux de pollution chronique en centre ville. Elles sont deux fois moins importantes, avec $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que sur le boulevard Leclerc.

Le **benzène** suit la même tendance avec des concentrations autour de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le campus et atteignant $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou plus ailleurs. La valeur guide étant fixée à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il est vraisemblable qu'elle puisse être dépassée sur l'ensemble des points du secteur étudié. Par contre le projet de valeur limite européenne de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ devrait être, *a priori*, respecté.

La station « Leclerc » est également assez chargée en **particules** issues des combustions des pots d'échappement. La concentration moyenne relevée sur la période de mesure ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ainsi que le comportement de la station sont homogènes avec ceux du réseau urbain marseillais. Le risque de dépassement du seuil UE de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par jour existe.

Le monoxyde de carbone et le dioxyde de soufre, mesurés sur le site « Leclerc », montrent des gammes de concentrations modérées, respectant les normes en vigueur.

Ainsi, la qualité de l'air autour du projet de « prolongement du tunnel Saint Charles » est représentative d'une situation urbaine dense influencée par un trafic important.

¹ Objectif de qualité : seuil de $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure à ne pas dépasser pendant plus de 175h dans l'année

ANNEXES

Référence du tube	Description du site	Localisation GPS
1	Faculté Saint Charles, sur le bâtiment de la station de fond, pilier devant l'entrée du local (salle de conférence 1)	43N18.390 5E22.752
2	Faculté Saint Charles, pilier central devant l'entrée de l'amphithéâtre Fabry	43N18.389 5E22.706
3	Boulevard Gustave Desplaces, lampadaire à coté du marchand de journaux, à coté de l'entrée voiture de la faculté	43N18.335 5E22.780
4	Lampadaire dans le parking de la gare routière, au croisement du B ^d G. Desplaces et Av. Général Leclerc	43N18.302 5E22.760
5	Lampadaire en fer au croisement de la rue Fr. Ozaman et de la rue J.Ferry	43N18.267 5E22.684
6	Lampadaire carrée devant l'entrée de la bibliothèque départementale, Av. Général Leclerc	43N18.320 5E22.718
7	Lampadaire double, Av. Général Leclerc à coté du feu tricolore coté impair en face du tube n°6	43N18.305 5E22.724
8	Lampadaire devant l'entrée du CNRS, 12 Av. Général Leclerc	43N18.333 5E22.668
9	Lampadaire double dans le prolongement du tube n°8, de l'autre coté de l'av. Général Leclerc	43N18.316 5E22.662
10	Lampadaire boule avec un panneau sens interdit, rue de Turenne	43N18.246 5E22.623
11	Lampadaire 4 lampes, dans le parking de la résidence Turenne entrée 9A	43N18.276 5E22.610
12	Lampadaire double, au pied de la passerelle qui joint la résidence Turenne à l'avenue général Leclerc, elle passe sur une bretelle de sortie d'autoroute	43N18.341 5E22.616
13	Gouttière face à la presse, rue Lucien Rolmer, au coin de l'immeuble	43N18.376 5E22.645
14	Lampadaire (au bord de l'autoroute) au bout de la rue L. Rolmer, rue qui descend sur la gauche devant le panneau phocéén d'habitation Mattei	43N18.427 5E22.610
15	Lampadaire avec un panneau restaurant universitaire, au rond point devant l'école à la fin de la rue L. Rolmer	43N18.449 5E22.715
16	13/15 rue L. Rolmer, entrée E et D, double rangée de poteaux carrés. Rangée la plus proche de l'autoroute, poteau possédant une plaque n°31128	43N18.368 5E22.621
17	Lampadaire double, rue Racati devant la boulangerie	43N18.335 5E22.616
18	Lampadaire 4 lampes, à coté de l'église et devant la passerelle (rue Saint Lazare et rue Blidali)	43N18.350 5E22.539
19	Lampadaire coté autoroute de l'autre coté de la passerelle (rue des 13 escaliers)	43N18.339 5E22.535
20	7, Rue Fauchier, la gouttière à coté de l'escalier métallique	43N18.350 5E22.412

Tube n°1



Tube n°4



Tube n°5



Tube n°2



Tube n°6



Tube n°3



Tube n°7



Tube n°8



Tube n°12



Tube n°9



Tube n°13



Tube n°10



Tube n°14



Tube n°11



Tube n°15



Tube n°16



Tube n°17



Tube n°18



Tube n°19



Tube n°20



Tube n°21



Tube n°22



Tube n°23



Tube n°26



Tube n°24



Tube n°27



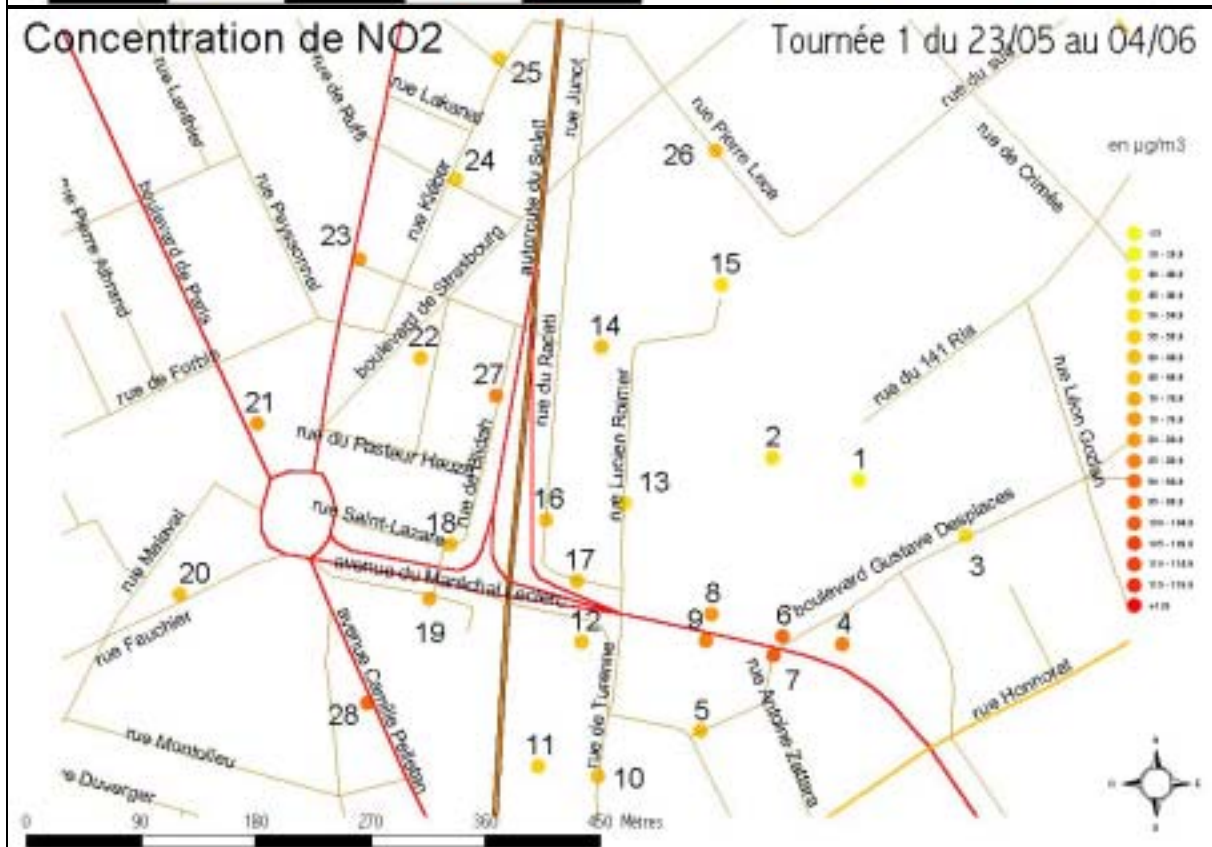
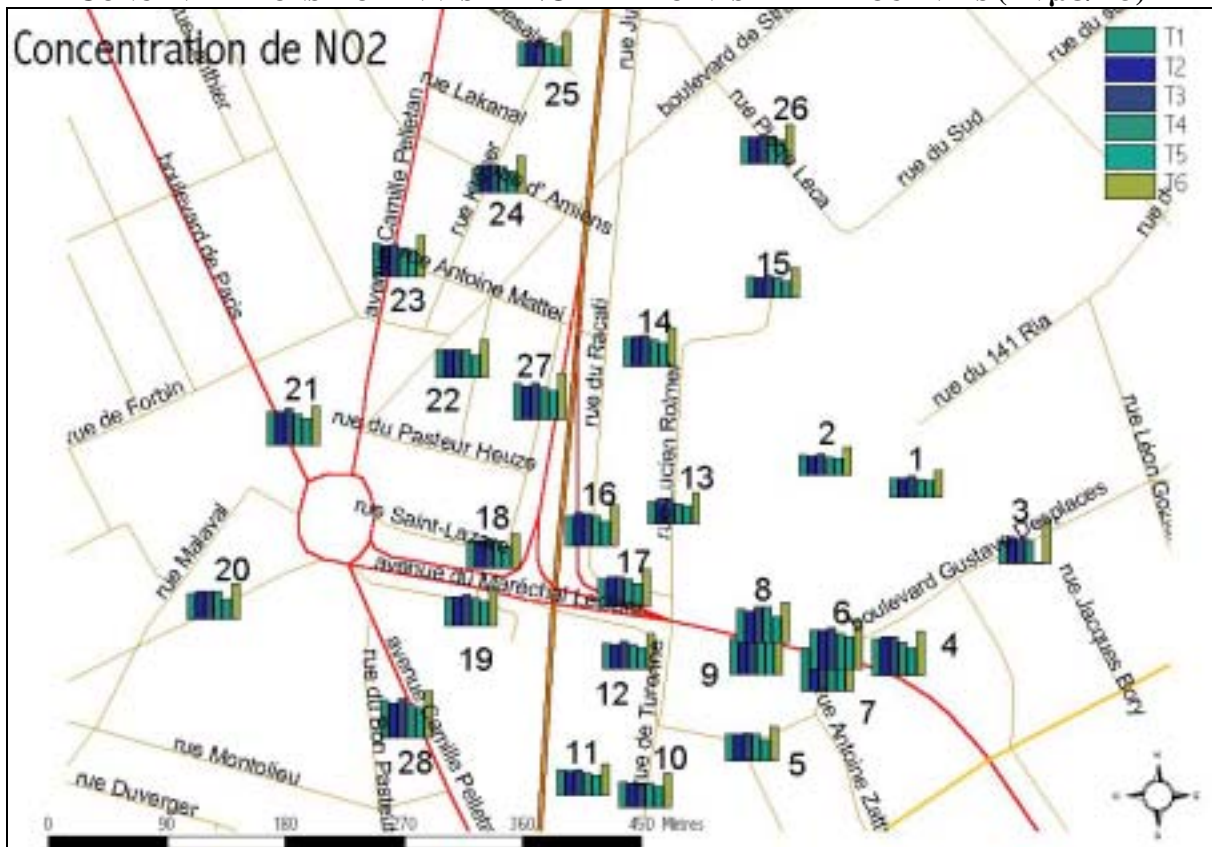
Tube n°25

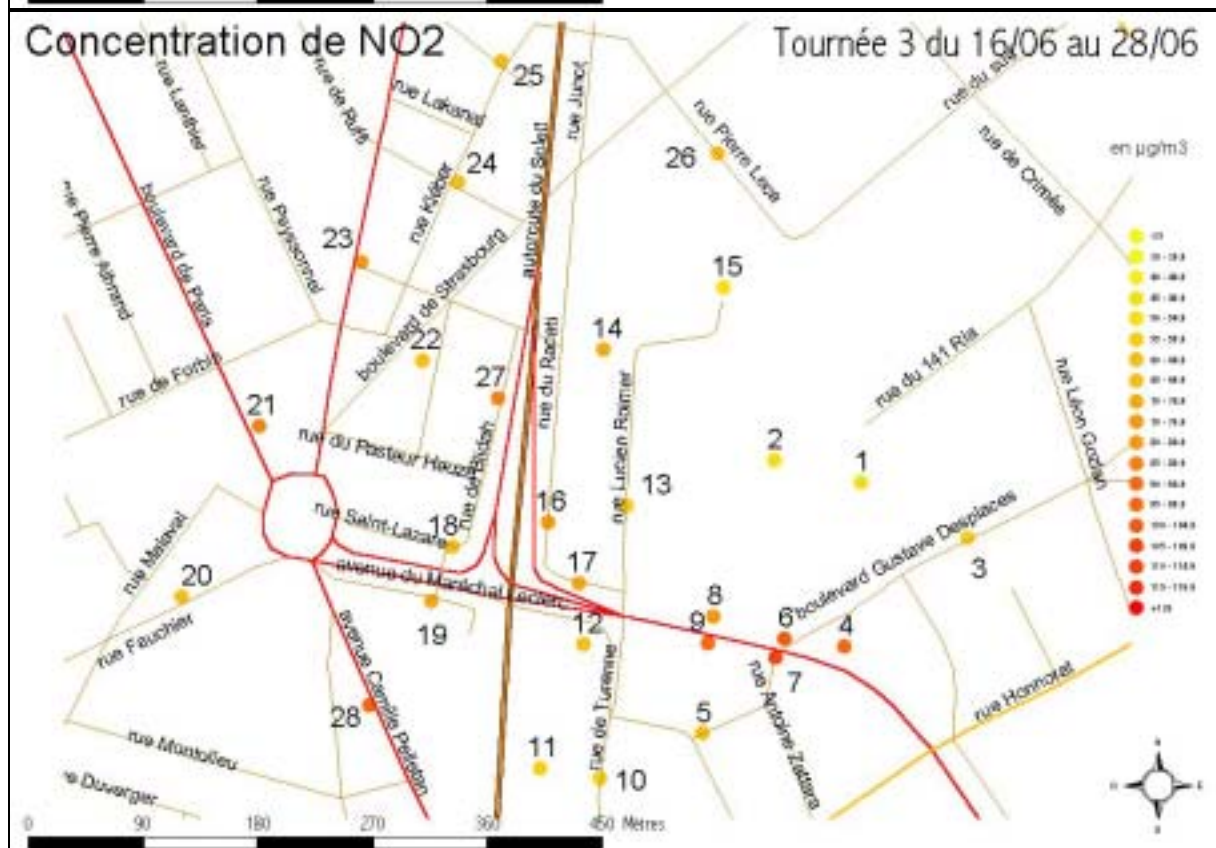
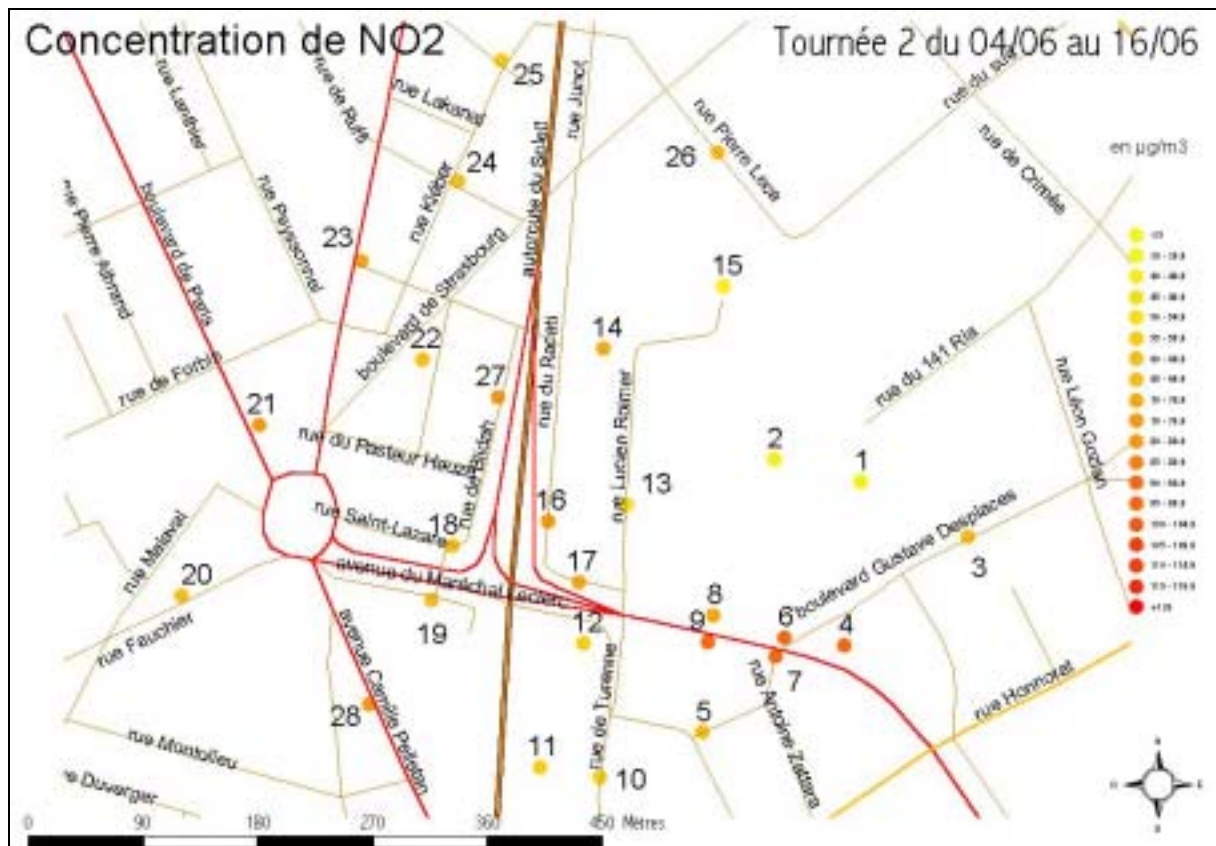


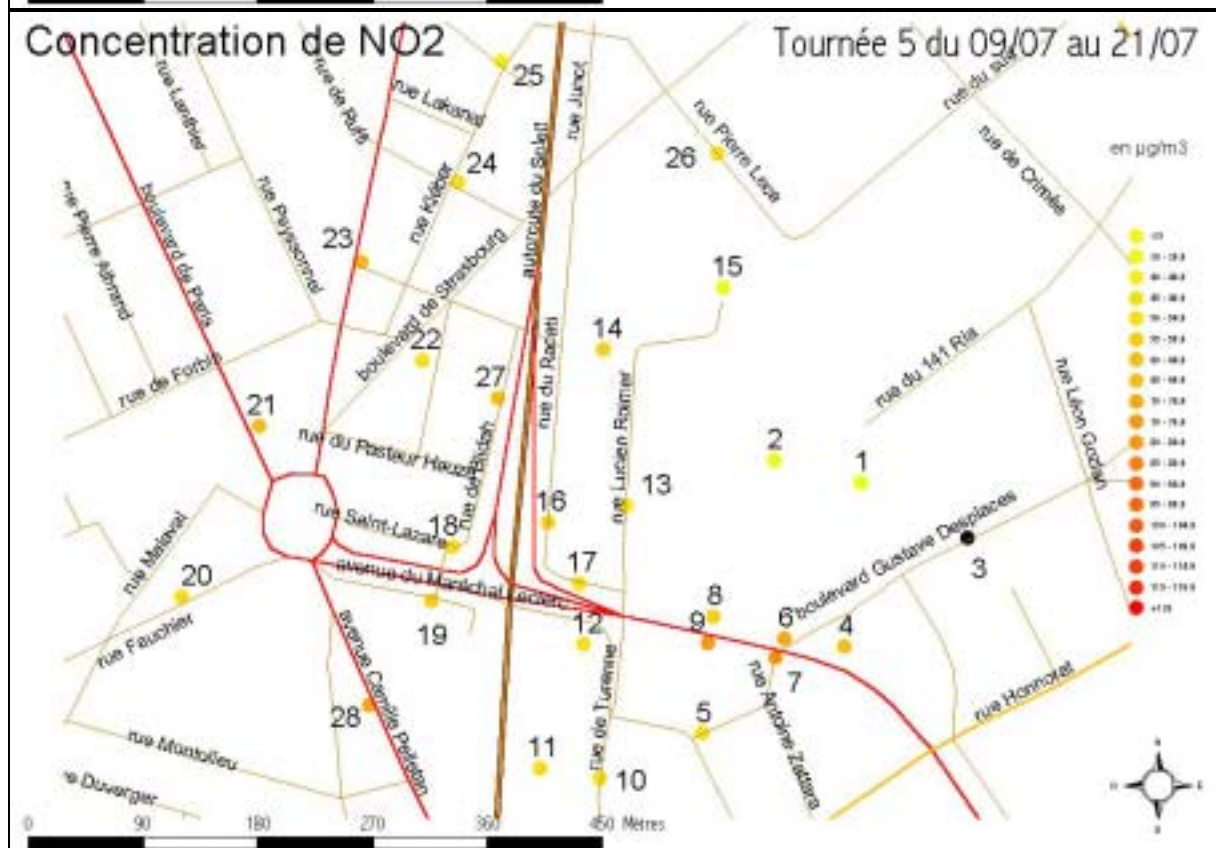
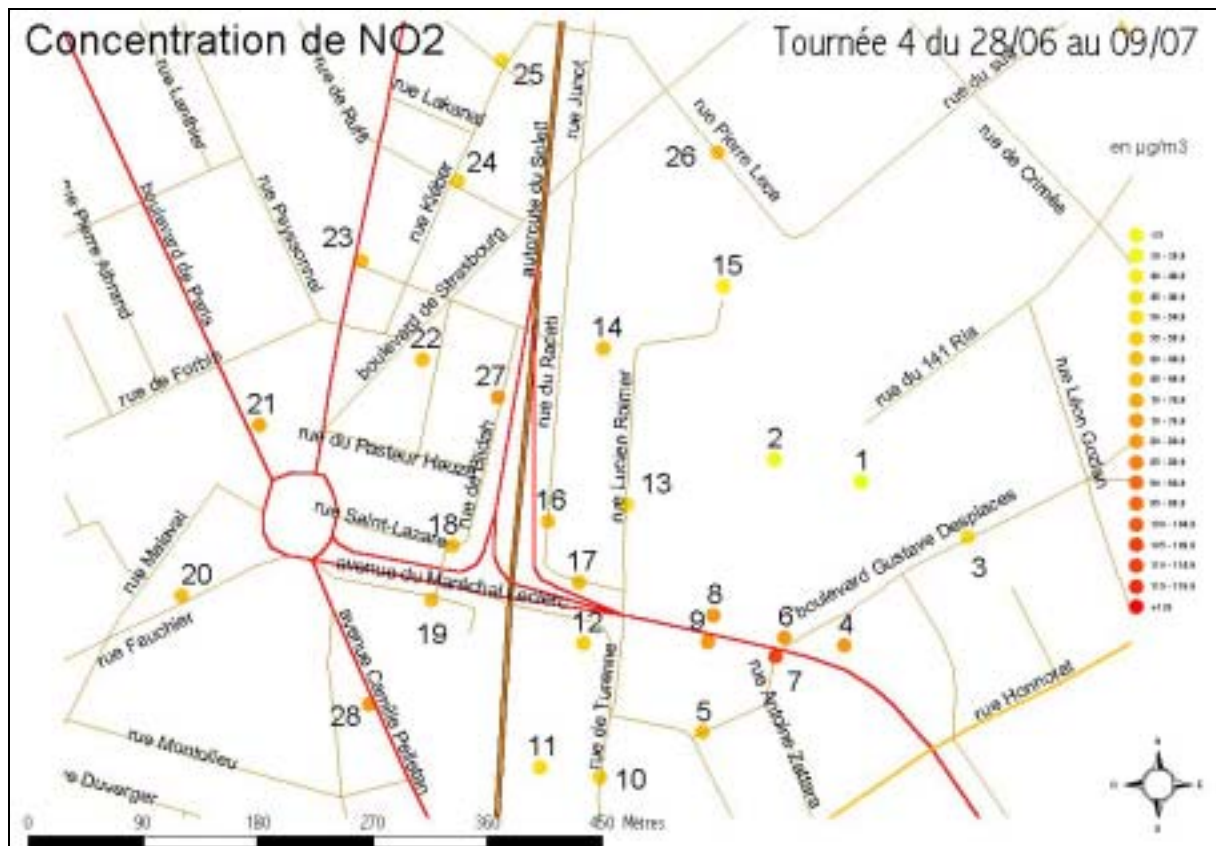
Tube n°28



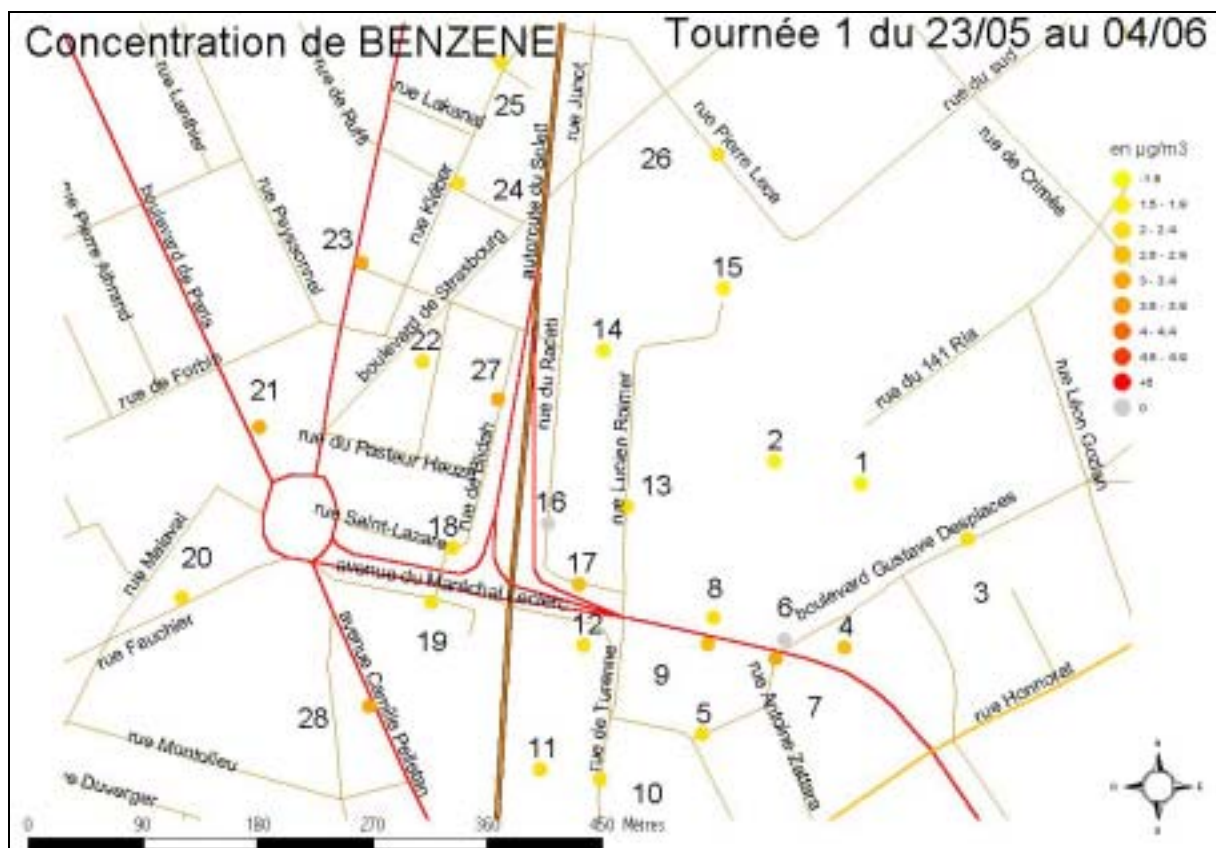
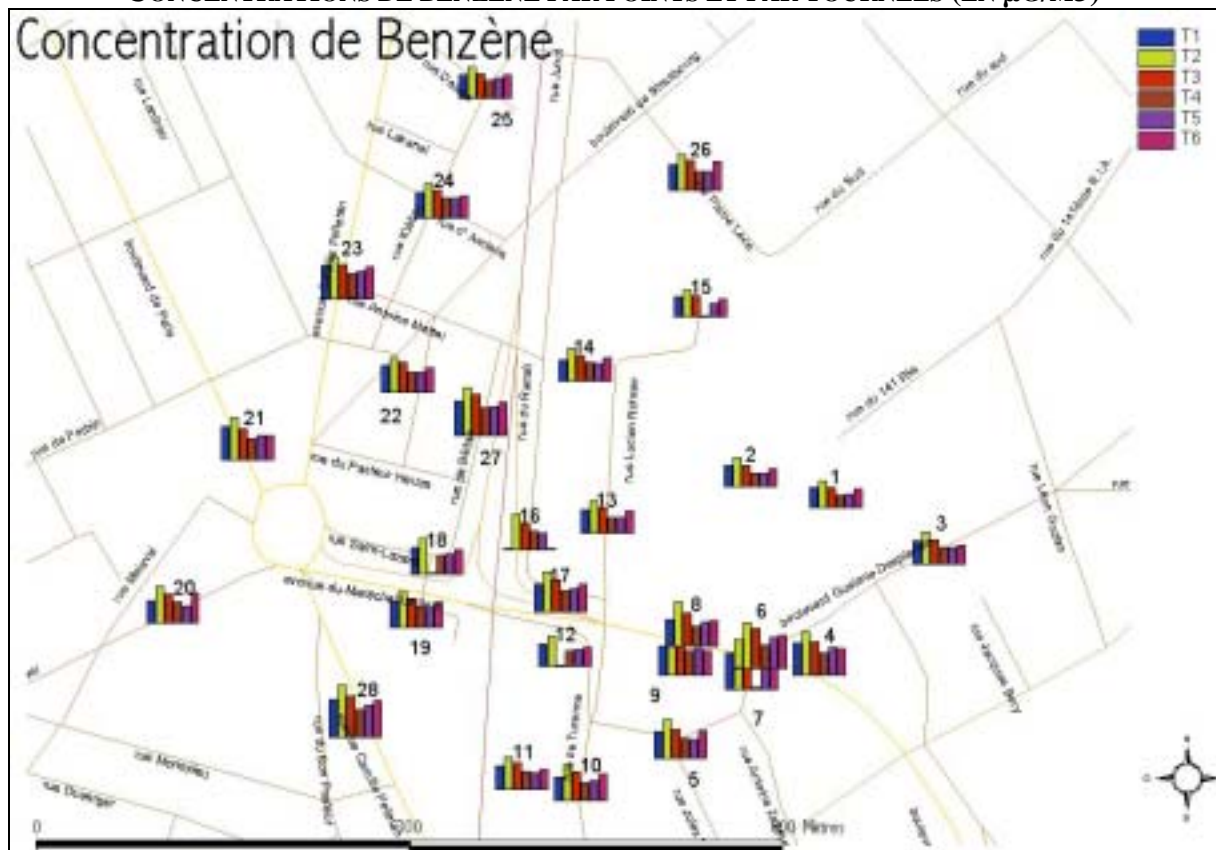
CONCENTRATIONS MOYENNES DE NO2 PAR POINTS ET PAR TOURNÉES (EN µG/M3)

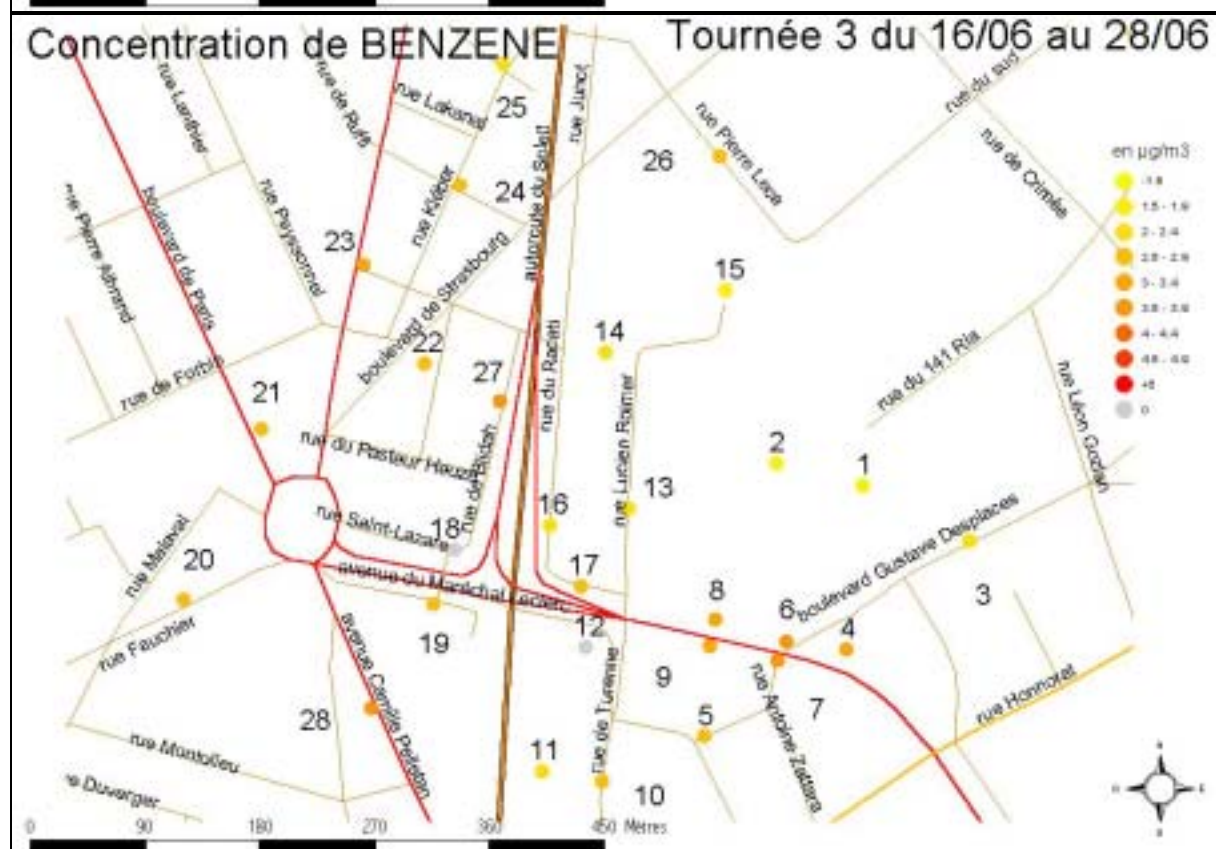
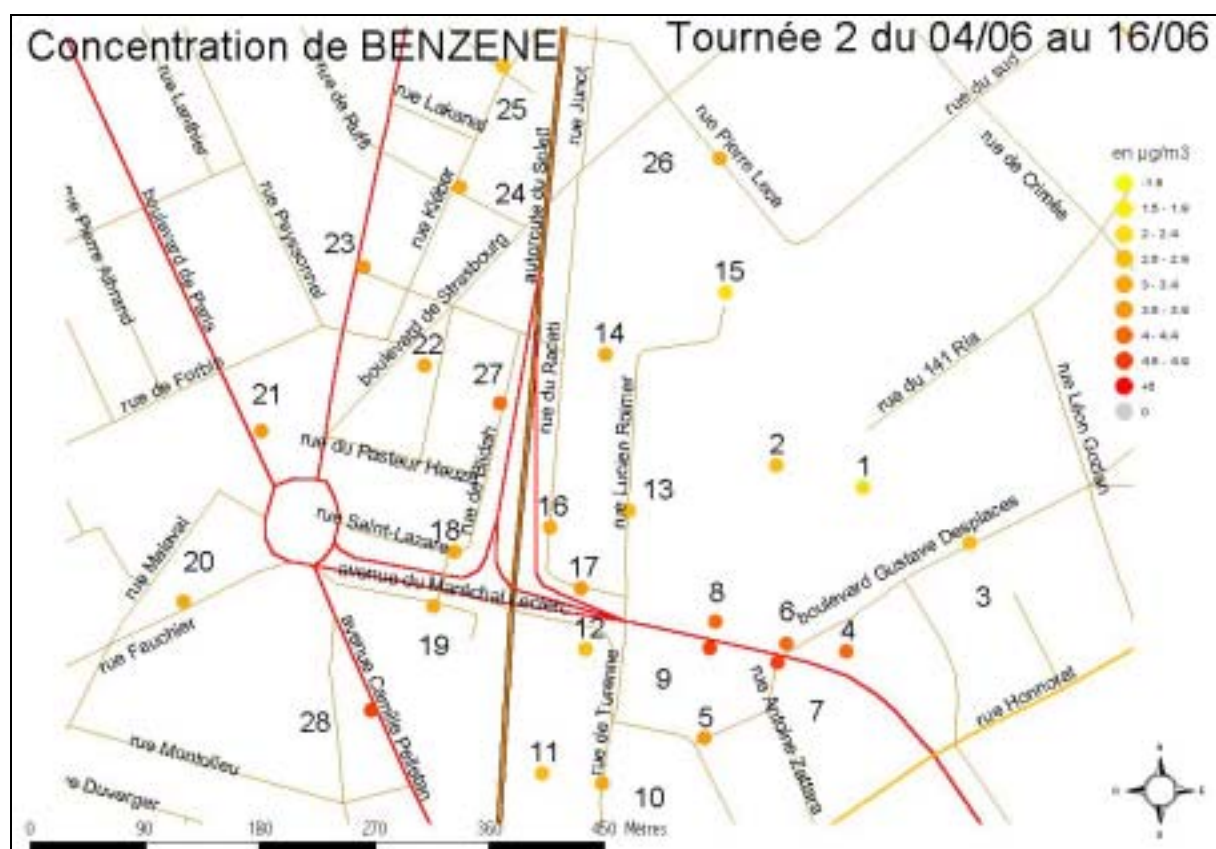


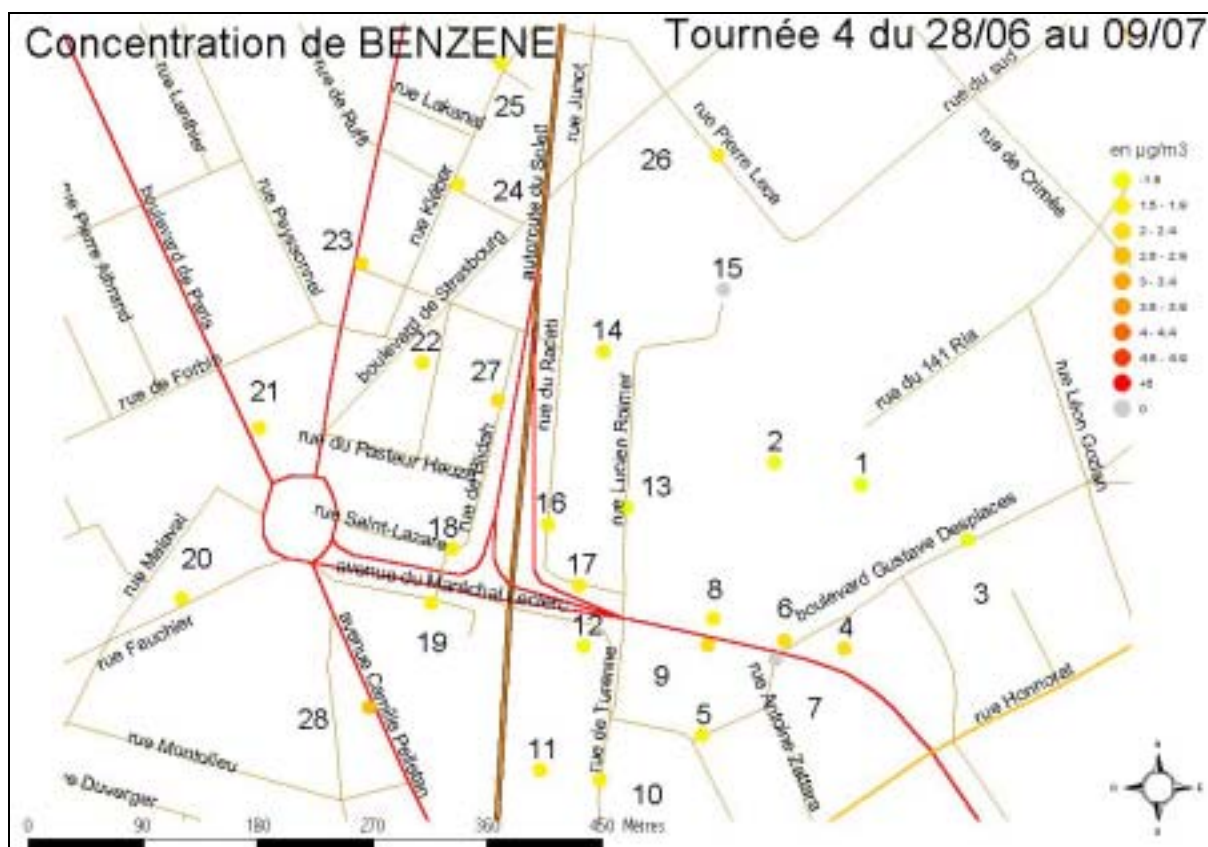




CONCENTRATIONS DE BENZENE PAR POINTS ET PAR TOURNÉES (EN $\mu\text{G}/\text{M}^3$)









Dioxyde d'azote (pollution automobile)

ORIGINE

Le NO₂ (dioxyde d'azote) est un polluant d'origine principalement automobile, issu de l'oxydation de l'azote atmosphérique et du carburant lors des combustions à très hautes températures. C'est le NO (monoxyde d'azote) qui est émis à la sortie du pot d'échappement, il est oxydé en moins d'une minute en NO₂. C'est la rapidité de cette réaction qui fait considérer le NO₂ comme un polluant primaire.

DYNAMIQUE

On retrouve le NO₂ principalement à proximité des axes de forte circulation et dans les centres-villes. Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. Les oxydes d'azote sont des précurseurs de la pollution photochimique et de dépôts acides (formation d'acide nitrique).

EFFETS SANITAIRES

Ses principaux effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

NORMES

NO2 (en µg/m ³)					
Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Horaire	400	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français 06/05/1998
Horaire	135	17 jours/an	/	Objectif de Qualité	PRQA PACA 1999
Horaire	200	18 h/an	01/01/2010	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	40	/	01/01/2010	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999

POUR EN SAVOIR PLUS...

Formation et physico-chimie

Les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂), le protoxyde d'azote (N₂O), le tétraoxyde de diazote (N₂O₄), le trioxyde d'azote (N₂O₃). Les composés analysés par les réseaux sont NO et NO₂ dont la somme étant regroupée sous le terme d'oxydes d'azote (NO_x).

La formation d'oxyde d'azote dépend de la température : plus cette dernière est élevée plus la quantité de NO générée est importante. Cette propriété explique que les émissions de NO des véhicules augmentent avec la vitesse (température du moteur plus élevée). Le monoxyde d'azote est ensuite oxydé en NO₂ par les agents oxydants de l'air (Ozone, radicaux hydroperoxydes). Cette réaction est rapide (quelques dizaines de secondes à la minute, en fonction des conditions du milieu).

Effets sur la santé (apparentés à ceux de l'ozone)

Le dioxyde d'azote étant plus soluble dans l'eau que l'ozone, il pénètre moins profondément dans les voies aériennes, sa toxicité ciblant d'avantage les petites voies aériennes (bronchioles membraneuses, et bronchioles respiratoires) que les alvéoles. Néanmoins le mode de respiration intervient dans cette pénétration des NO_x, la respiration nasale entraînant une absorption plus importante du gaz dans les voies aériennes supérieures alors que la respiration buccale permet une pénétration plus distale du gaz.

Particules en suspension (pollution automobile)

ORIGINE

Les PM₁₀ (particules en suspension d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) sont principalement issus de la combustion des produits pétroliers. Les sources principales en sont donc l'automobile (diesel en particulier) et l'industrie, avec une prédominance automobile, surtout dans les zones fortement urbanisées.

DYNAMIQUE

Les niveaux élevés sont enregistrés dans les conditions anticycloniques hivernales.

EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une irritation des voies respiratoires inférieures, des effets mutagènes et cancérigènes (dus notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou HAP, adsorbés à sa surface) et une mortalité prématurée. Les particules sont un cofacteur de la bronchite chronique en cas d'exposition prolongée.

NORMES

PM ₁₀ (en µg/m ³)					
Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Journalier	50	35 jours/an	01/01/2005	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	40	/	01/01/2005	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	30	/	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998

POUR EN SAVOIR PLUS...

Formation et physico-chimie

L'étude de la phase particulaire est très difficile compte tenu de son hétérogénéité, elle-même liée à la diversité des sources, à la composition chimique des effluents, à l'état physique et granulométrique des particules et à la dynamique d'évolution (conversion gaz - particule).

Les particules atmosphériques, qui constituent un complexe de substances organiques et minérales, peuvent être grossièrement partagées en deux classes selon des critères de taille, de masse et de composition :

- < 2.5 µm (fraction alvéolaire) : il s'agit de particules « fines » issues de la conversion à partir de la phase gazeuse d'effluents de combustion ou de vapeurs (organiques ou métalliques) recondensées.
- > 2.5 µm (fraction trachéobronchique et/ou extra-thoracique) : grosses particules provenant des chaussées ou d'effluents industriels.

Effets sur la santé

Les particules en suspension les plus grosses, de diamètre aérodynamique moyen supérieur à 10 µm sont retenues par filtration impaction au niveau du nez et des voies aériennes supérieures ; elles en seront éliminées et éventuellement dégluties ; dans ce cas, elles seront susceptibles de contribuer, selon leur nature, à une absorption digestive non négligeable de facteurs toxiques et par conséquent, à des effets extra-pulmonaires.

Les particules de diamètre aérodynamique moyen compris entre 2 et 10 µm se déposent selon d'autres mécanismes (impaction et interception) au niveau de l'arbre trachéobronchique d'où elles pourront, en général, être éliminées par clearance mucociliaire et la toux. Au niveau des voies aériennes terminales et des alvéoles, les particules les plus petites (< 3 µm) se déposent en partie par sédimentation. Elles peuvent être phagocytées par les macrophages.

Monoxyde de carbone (pollution automobile)

ORIGINE

Le CO (monoxyde de carbone) est un polluant issu de combustions incomplètes. Il est principalement émis par l'automobile (à faible vitesse : ralentissements, bouchons).

DYNAMIQUE

On le retrouve principalement à proximité des axes à fort trafic. Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver.

EFFETS SANITAIRES

Il provoque une baisse de l'oxygénation du sang (hypoxie) en se fixant à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine. C'est aussi un neurotoxique (céphalées, troubles du comportement, vomissements) et un myocardiotoxique et provoque des troubles sensoriels (vertiges).

NORMES

CO (en mg/m ³)					
Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
15 minutes	100	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
30 minutes	60	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Horaire	30	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
8 heures	10	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

POUR EN SAVOIR PLUS...

Formation et physico-chimie

Le CO provient de la combustion du carbone en présence d'une quantité d'oxygène (donc d'air) insuffisante pour que la combustion soit complète. C'est un gaz incolore, inodore et sans saveur, donc difficilement décelable. Il a une densité de 0.97 et forme avec l'air un mélange explosif et très toxique. Le CO est un précurseur de la formation de l'ozone dans les zones urbanisées.

Effets sur la santé

Le monoxyde de carbone a un effet toxique à partir d'une concentration en volume inférieure à 0.1%, en exposition prolongée. Le CO se fixe sur l'hémoglobine pour former une molécule stable, la carboxyhémoglobine. L'hémoglobine s'associe préférentiellement avec le CO plutôt qu'avec l'oxygène, et cette fixation est irréversible. Pour une concentration de 800 ppm de CO dans l'air, 50% de l'hémoglobine se bloque sous forme de carboxyhémoglobine. Il en résulte une diminution de l'oxygénation cellulaire, nocive en particulier pour le système nerveux central. Le CO est responsable de 300 à 400 décès par an en France, en milieux clos, et de plus de 5000 hospitalisations.

Les causes en sont :

- Le manque d'aération dans des locaux chauffés par une combustion.
- Le mauvais réglage des appareils entretenant une combustion.
- L'obstruction du conduit de cheminée, provoquant le refoulement des gaz brûlés.
- La mauvaise conception de certaines cheminées, empêchant l'évacuation des gaz brûlés.

Ozone (pollution photochimique)

ORIGINE

L'O₃ (ozone) est un polluant issu de réactions complexes faisant intervenir les NOX (oxydes d'azote) et les COV (composés organiques volatiles) sous l'action du rayonnement solaire. C'est donc un polluant secondaire, par opposition au NO₂ et aux COV qui sont des précurseurs.

DYNAMIQUE

De part son origine, l'ozone est présent surtout en été et pendant les heures les plus ensoleillées de la journée. De fortes concentrations d'ozone sont observées jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres des points d'émissions des polluants primaires et ceci sur des zones très vastes, fréquemment à l'échelle d'un département. A contrario, sur les centres villes la formation d'ozone n'est pas favorisée : consommation par le NO (monoxyde d'azote) et formation d'acide nitrique. Cette propriété des centres villes à agir comme des « puits d'ozone » fait souvent appeler la pollution photochimique « pollution des champs ».

EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une irritation des muqueuses bronchiques et oculaires, des maux de tête, une diminution de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique.

NORMES

O ₃ (en µg/m ³)					
Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Horaire	360	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français 06/05/1998
Horaire	180	/	/	Seuil d'information de la population	Directive européenne 21/09/1992
8 Heures	110	/	/	Seuil de protection de la santé	Directive européenne 21/09/1992
Horaire	200	/	/	Seuil de protection de la végétation	Directive européenne 21/09/1992
Journalier	65	/	/	Seuil de protection de la végétation	Directive européenne 21/09/1992

POUR EN SAVOIR PLUS...

Formation et physico-chimie

Le terme de pollution photochimique ou encore pollution photo oxydante recouvre un vaste ensemble de substances gazeuses et particulaires (ozone, aldéhydes, PAN : Peroxyde Acétyle Nitrate...) qui se forme dans l'atmosphère à partir de gaz précurseurs, sous l'action du soleil. L'ozone est utilisé comme traceur de ces polluants.

Il faut bien différencier l'ozone stratosphérique (haute atmosphère) bénéfique, de celui de la troposphère (basse atmosphère) néfaste. Les mesures de pollution concernent l'ozone troposphérique.

L'ozone est un gaz à effet de serre, tout comme le dioxyde de carbone. Il est susceptible de bloquer une partie du rayonnement tellurique et de le renvoyer vers le sol. On estime actuellement que la part relative de l'ozone dans l'effet de serre additionnel pourrait être comprise entre 10 et 20 %.

Effets sur la santé

"On peut considérer comme établi que l'ozone est nocif chez les enfants pour des teneurs inférieures aux valeurs réglementaires. Aucun seuil ne peut être fixé (EXTRAPOL 1995)².

- Effets aigus : 2000 µg/m³ en pointe
- Diminution de la fonction respiratoire chez les enfants et les adultes : 220 µg/m³ pendant 1 heure.
- Rhumes, maux de tête possibles, irritation des yeux : 160 à 300 µg/m³ pendant 1 heure
- Déclenchement de crises d'asthme et symptômes respiratoires autour de 200 µg/m³ pendant 1 heure.

Effets sur les végétaux et les matériaux

Les grands processus physiologiques de la plante (photosynthèse, respiration) sont altérés par l'ozone et la production des cultures agricoles peut être significativement réduite.

L'ozone altère les caoutchoucs et certains polymères. La résistance à l'ozone d'un polymère est considérée comme un paramètre essentiel dans les applications où il se trouve exposé sous tension au vieillissement atmosphérique.

² EXTRAPOL : Epidémiologie et Pollution Atmosphérique, analyse critique des publications internationales", *Pollution Atmosphérique*, n°144, janvier 1995

Dioxyde de soufre (pollution industrielle)

ORIGINE

Le SO₂ (dioxyde de soufre) est un polluant d'origine principalement industrielle, issu de la combustion de produits pétroliers.

DYNAMIQUE

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. De plus en situation de vent moyen ou fort, la pollution industrielle peut être rabattue au sol et retomber en panache sous le vent des points d'émissions (cheminées d'usine). Ce polluant est un précurseur des dépôts acides (acide sulfurique).

EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une exacerbation des gênes respiratoires, des troubles de l'immunité du système respiratoire, un abaissement du seuil de déclenchement chez l'asthmatique, une mortalité prématurée. De plus, c'est un cofacteur de la bronchite chronique.

NORMES

SO ₂ (en µg/m ³)					
Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Horaire	600	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français 06/05/1998
Horaire	350	24 h/an	01/01/2005	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Journalier	125	3 jours/an	01/01/2005	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel et Hiver	20	/	01/01/2001	Valeur limite pour la végétation	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	50	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

POUR EN SAVOIR PLUS...

Formation et physico-chimie

Le SO₂ est issu de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre (Fuel, Charbon) C'est un gaz incolore, très soluble dans l'eau. Rappelons qu'il existe différentes qualités de combustibles en fonction de leur teneur en soufre :

- fuel lourd (haute teneur en soufre)
- fuel à basse teneur en soufre
- fuel à très basse teneur en soufre
- Pour le charbon la teneur en soufre est très variable.

Effets sur la santé humaine¹

Le SO₂ inhalé à concentration de quelques centaines de microgrammes par mètre cube d'air est absorbé à 85-99 % par les muqueuses du nez et du tractus respiratoire supérieur du fait de sa grande solubilité. Une faible fraction peut néanmoins se fixer sur des particules fines et atteindre ainsi les voies respiratoires inférieures.

L'exposition à 1000 µg/m³ ou plus de SO₂ pendant quelques minutes provoquent chez l'homme :

- Une diminution de la fonction respiratoire.
- Un accroissement de la résistance des voies aériennes.
- Un accroissement de la broncho-constriction.
- L'apparition de symptômes tels que la toux et le sifflement.

Effet sur la végétation et les matériaux

Le dioxyde de soufre, avec les oxydes d'azote, contribue à la formation des pluies acides. Outre leur effet direct sur les végétaux, ils peuvent changer les caractéristiques des sols, notamment des sols acides (granite, schistes acides, grès). En Provence, hormis les massifs des Maures et de l'Esterel, les sols sont calcaires et neutralisent les pluies acides limitant l'action de ces pluies aux effets directs sur les végétaux.

A partir des substances acides qu'il génère (acide sulfurique), le SO₂ apporte sa contribution aux processus de dégradation des matériaux. L'acide sulfurique formé en présence d'eau réagit avec le calcium contenu dans les particules et donne naissance à des cristaux de gypse (CaSO₄, 2H₂O) qui jouent un rôle important

¹ Société Française de Santé Publique (mai 1996), la pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique, collection Santé et Société N°4, p73.

dans la dégradation des monuments tant par leur action mécanique que chimique. Le gypse en cristallisant à l'intérieur des pores des matériaux exerce une pression très importante sur la pierre et la fait éclater. De plus, le SO₂ cimente les microparticules et contribue à la formation des croûtes noires.

Les Sulfates et l'aérosol acide :

Le SO₂ joue un rôle dans la formation de particules sulfatées. Ces dernières proviennent de l'oxydation de SO₂ en sulfate (SO₄²⁻) par voie humide et sèche.

Cet aérosol agit à différentes échelles géographiques. Au niveau local, les particules sulfatées, suivant leurs tailles participent aux effets nocifs des particules en suspension. Au niveau régional, avec l'acide nitrique, l'acide sulfurique participe aux pluies acides.

A l'échelle planétaire, les particules de sulfate sont incriminées dans les phénomènes de réflexion du flux solaire, qui contribueraient à refroidir l'atmosphère au-dessus des zones industrialisées. Par ailleurs, les particules de sulfate joueraient également un rôle dans la décomposition de l'ozone stratosphérique.

Normes en vigueur :

NO₂ en (µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Horaire	400	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français 06/05/1998
3Heures	400	/	/	Seuil d'Alerte	Directive européenne 22/04/1999
Horaire	135	17 jours/an	/	Objectif de Qualité	PRQA PACA 1999
Horaire	135	P 98	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998
Horaire	40	P 50	/	Objectif de Qualité	PRQA PACA 1999
Horaire	40	P 50	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998
Horaire	200	18 h/an	Application : 300 01/01/2001 : 290 01/01/2002 : 280 01/01/2003 : 270 01/01/2004 : 260 01/01/2005 : 250 01/01/2006 : 240 01/01/2007 : 230 01/01/2008 : 220 01/01/2009 : 210 01/01/2010 : 200	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Horaire	200	P98	/	Valeur Limite	Décret français 06/05/1998
Horaire	200	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Annuel	40	/	Application : 60 01/01/2001 : 58 01/01/2002 : 56 01/01/2003 : 54 01/01/2004 : 52 01/01/2005 : 50 01/01/2006 : 48 01/01/2007 : 46 01/01/2008 : 44 01/01/2009 : 42 01/01/2010 : 40	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	40	/	01/01/2010	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

SO₂ en (µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
10 minutes	500	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Horaire	600	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français 06/05/1998
3 heures	500	/	/	Seuil d'Alerte	Directive européenne 22/04/1999
Horaire	350	24 h/an	Application : 500 01/01/2001 : 470 01/01/2002 : 440 01/01/2003 : 410 01/01/2004 : 380 01/01/2005 : 350	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Journalier	125	3 jours/an	01/01/2005	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Journalier	125	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Annuel et Hiver	20	/	01/01/2001	Seuil de protection de la végétation	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	50	/	/	Recommandation	OMS pour l'Europe 1996

O₃ en (µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Horaire	360	/	/	Seuil d'Alerte	Décret français du 06/05/1998
Horaire	360	/	/	Seuil d'Alerte	Directive européenne 21/09/1992
Horaire	180	/	/	Seuil d'information de la population	Directive européenne 21/09/1992
Horaire	200	/	/	Seuil de protection de la végétation	Directive européenne 21/09/1992
Horaire	200	/	/	Seuil de protection de la végétation	Décret français 06/05/1998
8 Heures	110	/	/	Seuil de protection de la santé	Directive européenne 21/09/1992
8 Heures	110	/	/	Seuil de protection de la santé	Décret français 06/05/1998
8 heures	120	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Journalier	65	/	/	Seuil de protection de la végétation	Directive européenne 21/09/1992
Journalier	65	/	/	Seuil de protection de la végétation	Décret français 06/05/1998

CO en (mg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
15 minutes	100	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
30 minutes	60	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Horaire	30	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
8 heures	10	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
8 heures	10	/	Application : 16 01/01/2003 : 14 01/01/2004 : 12 01/01/2005 : 10	Valeur Limite	Directive européenne 13/12/2000
8 heures	10	/	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998

PM₁₀ en (µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Journalier	50	35 jours/an	Application : 75 01/01/2001 : 70 01/01/2002 : 65 01/01/2003 : 60 01/01/2004 : 55 01/01/2005 : 50	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	40	/	Application : 48 01/01/2001 : 46 01/01/2002 : 45 01/01/2003 : 43 01/01/2004 : 42 01/01/2005 : 40	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	30	/	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998

Plomb (en µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Annuel	0.5	/	Application : 1 01/01/2001 : 0.9 01/01/2002 : 0.8 01/01/2003 : 0.7 01/01/2004 : 0.6 01/01/2005 : 0.5	Valeur Limite	Directive européenne 22/04/1999
Annuel	0.5	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996
Annuel	0.5	/	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998
Annuel	2	/	/	Valeur Limite	Décret français 06/05/1998

Cadmium (en ng/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Annuel	5	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

Mercuré (en µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Annuel	1	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

Arsenic (en µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Exposition à vie	1.5x10 ⁻³ (µg/m ³) ⁻¹ *			Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

* l'exposition à vie d'une population à une concentration d'1 µg/m³ d'arsenic risque de provoquer une augmentation de 15 cancers pour 10 000 habitants

Nickel (en µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Exposition à vie	3.8x10 ⁻⁴ (µg/m ³) ⁻¹ *			Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

* l'exposition à vie d'une population à une concentration d'1 µg/m³ de nickel risque de provoquer une augmentation de 38 cancers pour 100 000 habitants

Benzène (en µg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
Annuel	2	/	/	Objectif de Qualité	Décret français 06/05/1998
Annuel	5	/	Application : 10 01/01/2006 : 9 01/01/2007 : 8 01/01/2008 : 7 01/01/2009 : 6 01/01/2010 : 5	Valeur Limite	Directive européenne 13/12/2000
Exposition à vie	6x10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ *				

* l'exposition à vie d'une population à une concentration d'1 µg/m³ de benzène risque de provoquer une augmentation de 6 cancers pour 1 000 000 d'habitants

Formaldéhyde (en mg/m³)

Pas de temps	Valeur	Tolérance	Application	Type	Origine
30 minutes	0.1	/	/	Valeur Guide	OMS pour l'Europe 1996

