



Au service
de la qualité
de l'air



Evaluation de la qualité de l'air en proximité de l'axe autoroutier A4/A35 au niveau de l'agglomération strasbourgeoise dans le cadre de la mesure 3.2 du PPA de Strasbourg



Août 2008
ASPAS 08072802-ID

Avec la participation financière de la DRIRE Alsace



Conditions de diffusion :

- Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'ASPA en terme de « Source d'information ASPA 08072802-ID».
- Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données.
- Sur demande, l'ASPA met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'ASPA.
- L'ASPA peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.

Intervenants :

- Intervenants techniques :

- Préleveurs passifs : Sébastien Dubost / Eric Herber / Dominique Steiger / Gilbert Fiegel / Bruno Elsass / Sabine Mazurais / Pascaline Clair / Guillaume Markut
- Moyens mobiles : Sébastien Dubost / Bruno Elsass

- Intervenants études :

- Gestion du projet : Emmanuel Rivière
- Organisation de la campagne : Eric Herber / Sébastien Dubost
- Exploitation cartographique : Géovariances
- Simulations gaussiennes : Charles Schillinger
- Rédaction du rapport : Eric Herber / Charles Schillinger / Géovariances / Emmanuel Rivière
- Tiers examen du rapport : Emmanuel Rivière
- Approbation du rapport : Alain Target

SOMMAIRE

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
II. MOYENS MIS EN ŒUVRE ET PARAMETRES MESURES	7
II.1. Outils mis en œuvre	7
II.2. Paramètres évalués	8
II.3. Principales normes de qualité de l'air associées à ces indicateurs	9
III. CAMPAGNE DE MESURES	11
III.1. Description des transects de mesure et particularités des sites qui les composent	11
III.2. Comparaison avec des stations type référencées	17
III.3. Conditions météorologiques	18
III.4. Résultats issus des dispositifs passifs	22
III.5. Résultats issus des camions laboratoires	45
IV. CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES	56
IV.1. Analyse des données des tubes à diffusion et fondements des cartographies mises en place	56
IV.2. Résultats pour le dioxyde d'azote	56
IV.3. Résultats pour le benzène	59
V. SIMULATIONS GAUSSIENNES DE LA QUALITE DE L'AIR POUR L'ANNEE 2007	61
V.1. Données d'entrée retenues	61
V.2. Simulations mises en œuvre	62
V.3. Résultats pour le dioxyde d'azote	63
V.4. Résultats pour le benzène	66
V.5. Résultats pour les particules	68
V.5. Sensibilité des résultats aux émissions	70
VI. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS	71
VI.1. Synthèse	71
VI.2. Conclusions et perspectives	73

ANNEXE 1	74
METHODES ET MOYENS MIS EN ŒUVRE	74
A1 - I. CAMPAGNE DE MESURE	75
A1 - I.1. Aspects organisationnels	75
A1 - I.2. Aspects techniques	75
A1 - I.3. Systèmes de prélèvements temporaires mis en place	76
III.4. Emplacement des sites de prélèvements	77
A1 - II. CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE	82
A1 - II.1. Cartographie géostatistique	82
A1 - II.2. Analyse de risque	84
A1 - III SIMULATIONS GAUSSIENNES	85
A1 - III.1. Modèle mathématique de dispersion	85
A1 - III.2. Principaux modules intégrés au système	86
A1 - III.3. Principales données d'entrée	87
ANNEXE 2	88
PRINCIPAUX EFFETS DES INDICATEURS DE POLLUTION PRIS EN COMPTE	88
ANNEXE 3	90
INFLUENCE DES VITESSES DE CIRCULATION SUR LES EMISSIONS ROUTIERES	90

LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES UTILISES

NO _x :	Oxydes d'azote
NO ₂ :	Dioxyde d'azote
NO :	Monoxyde d'azote
CO :	Monoxyde de carbone
SO ₂ :	Dioxyde de soufre
O ₃ :	Ozone
PM10 :	Particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 µm
BTEX :	Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes
COVNM :	Composés organiques volatils non méthaniques
TU :	Temps universel
COFRAC :	Comité Français d'Accréditation
PPA :	Plan de Protection de l'Atmosphère
DRIRE :	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
FSM :	Fondazione Salvatore Maugeri
LIC :	Laboratoire Interrégional de Chimie
DRE :	Direction Régionale de l'équipement
LM :	Laboratoire Mobile
VL :	Valeur limite
DDE :	Direction Départementale de l'Equipement

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Protection de l'Atmosphère de Strasbourg (PPA), la modélisation réalisée par l'ASPA a montré la présence de zones de dépassement de valeurs limites pour la qualité de l'air en bordure des axes autoroutiers. Dans le but de mieux connaître l'extension de ces zones et d'avoir une vision de l'exposition des populations, une des mesures du PPA vise à affiner la connaissance de l'impact sur la qualité de l'air des voies autoroutières les plus importantes de la zone, qui couvre les vingt huit communes de la Communauté Urbaine de Strasbourg et la commune de Hoerdtd.

A cet effet, il a été proposé qu'une étude soit réalisée en proximité de l'axe autoroutier A4/A35 au niveau de l'agglomération strasbourgeoise, afin d'évaluer la distance d'impact direct sur la qualité de l'air de la circulation automobile de part et d'autre de cet axe.

Les objectifs visés au travers de ce programme sont de localiser et de cartographier les zones éventuelles de dépassement des normes réglementaires pour la santé des populations fixées par les directives et reprises dans le décret n°98-360 du 6 mai 1998 (valeurs limites pour la protection de la santé humaine et objectifs de qualité de l'air).

Au cours de cette étude, des campagnes de mesures se sont déroulées en deux phases distinctes : l'une à l'automne, l'autre en hiver, afin de permettre la prise en compte de la variabilité saisonnière des niveaux de pollution.

La première phase de mesures s'est déroulée du 5 septembre au 31 octobre 2007 et a fait l'objet d'un rapport intermédiaire d'avancement des travaux référencé ASPA07112701-TD (Novembre 2007).

Une deuxième phase de mesures a été réalisée du 31 janvier au 27 mars 2008.

A la suite de ces campagnes, une spatialisation des données obtenues a été réalisée pour le dioxyde d'azote et le benzène à l'aide de méthodes géostatistiques.

Couplée à des résultats obtenus par le biais de simulations gaussiennes qui permettent d'appréhender en complément la répartition spatiale des niveaux de particules PM10 (impossible à réaliser avec la campagne de mesures mise en œuvre), les résultats des travaux permettent d'affiner la connaissance des niveaux de pollution (NO₂, benzène, particules PM10) en proximité routière sur la zone du PPA ainsi que les niveaux d'exposition potentielle des populations à des dépassements de normes de qualité de l'air.

II. MOYENS MIS EN ŒUVRE ET PARAMETRES MESURES

II.1. Outils mis en œuvre

Trois outils principaux ont été mis en œuvre dans le cadre de cette étude (pour plus de détails, cf. annexe 1) :

- ✓ D'une part une **campagne de mesures** qui a permis de dresser un état affiné de la qualité de l'air sur une centaine de points de mesures à proximité des principaux axes routiers (autoroutiers) de la zone concernée par le Plan de Protection Atmosphérique ;
- ✓ D'autre part et de manière associée une **exploitation cartographique des résultats de cette campagne via la mise en œuvre de méthodes géostatistiques** de spatialisation de données discrètes ;
- ✓ Enfin la mise en œuvre de **simulations gaussiennes** intégrant les principaux déterminants de la qualité de l'air (émissions, paramètres météorologiques, pollution de fond, topographie, etc.) qui permettent une répartition spatiale des PM10 mesurées sur uniquement 2 points en raison de la complexité technique et financière de mise en œuvre de préleveurs actifs de particules sur une multitude de points.

La combinaison de ces outils a permis d'affiner les connaissances relatives à la largeur de la bande directement impactée par les axes autoroutiers en termes de dépassement de valeur limite et d'approcher l'exposition potentielle des populations à ces dépassements de valeur limite.

Il convient de noter la complémentarité de ces outils d'évaluation de la qualité de l'air.

- ✓ En effet seul **deux points de mesures des particules ont été mis en œuvre au cours de la campagne de mesures, ce qui rend impossible l'établissement de cartographie de pollution** pour les particules qui constitue néanmoins aujourd'hui la problématique n°1 en terme de pollution atmosphérique ;
- ✓ L'**outil de simulation gaussienne permet d'évaluer les niveaux de concentrations en particules** à partir des pollutions de fond, des émissions spatialisées et des conditions météorologiques. A noter que le simulateur gaussien intégrant également le dioxyde d'azote et le benzène, les résultats sont également rapportés pour ces indicateurs de pollution.

II.2. Paramètres évalués



Les paramètres évalués correspondent essentiellement aux polluants rejetés par le transport routier :

- **NOx (NO et NO₂)** : oxydation de l'azote de l'air à températures élevées ;
- **CO** : combustion incomplète des carburants routiers ;
- **Benzène** : présent dans les carburants routiers et libérés lors de la combustion ;
- **Particules PM₁₀** : formés et/ou libérés par la combustion incomplète des carburants routiers ;
- **SO₂** : oxydation du soufre contenu dans les carburants routiers en particulier le diesel + polluant d'origine industrielle ;
- **Ozone - O₃** : l'ozone n'est pas directement émis par le transport routier. En revanche, il est un polluant secondaire résultant de l'action du soleil et de la chaleur sur les polluants primaires (NO₂ et COV – composés organiques volatils) principalement d'origine automobile.

Les inventaires de rejets de polluants dans l'atmosphère qui sont réalisés par l'ASPA à travers différents projets régionaux et transfrontaliers permettent d'appréhender la part de chaque secteur d'activité aux émissions des polluants dans l'air.

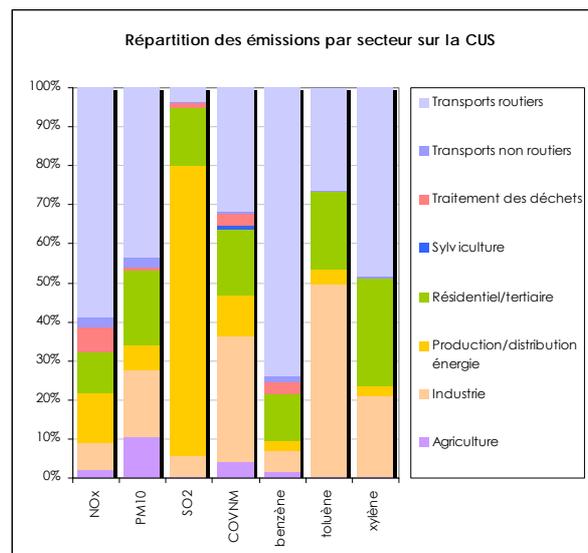


Illustration 1

Source base ASPA - *Emiss'Air a2004 - v2006 - v3*

Sur la Communauté Urbaine de Strasbourg, le transport routier représente le secteur émetteur majoritaire concernant le benzène, les NOx, les PM10, les COVNM avec respectivement 74%, 59%, 43% et 32% des émissions totales sur la zone.

Les principaux effets (santé, environnement) de ces indicateurs de pollution sont présentés en annexe 2.

II.3. Principales normes de qualité de l'air associées à ces indicateurs

L'étude des concentrations de polluants permet de comparer les niveaux estimés de concentrations de polluants dans l'air aux valeurs limites, objectifs de qualité de l'air, niveaux de recommandation et d'alerte définis par les directives européennes et dans la réglementation nationale (code de l'Environnement).

Lorsque les concentrations en polluants sont inférieures aux objectifs de qualité de l'air, les pouvoirs publics mettent en œuvre une politique de prévention de tout accroissement de la pollution atmosphérique ; lorsqu'elles sont supérieures à ces valeurs, des politiques de réduction de la pollution doivent être mises en place.

Le dépassement des valeurs limites entraîne la prise de mesures radicales à moyen terme.

Les objectifs de qualité de l'air et les valeurs limites se réfèrent soit à la protection de la santé humaine, soit à la protection des végétaux, soit à la protection des écosystèmes.

Les niveaux de recommandation et d'alerte sont les seuils de courtes durées à partir desquels une information comportant un état des niveaux ainsi que des recommandations comportementales et sanitaires doivent être délivrées à la population. Le niveau d'alerte déclenche de plus des mesures réglementaires de réduction des rejets (circulation alternée, vitesse réduite, etc.).

Les normes de qualité de l'air mentionnées dans le tableau 2 concernent les polluants suivants :

- ✓ Benzène
- ✓ Dioxyde d'azote (NO₂)
- ✓ Dioxyde de soufre (SO₂)
- ✓ Particules PM10
- ✓ Monoxyde de carbone (CO)
- ✓ Ozone (O₃)

Des valeurs guides concernent d'autres composés tels le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes.

dioxyde d'azote			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité de l'air	moyenne annuelle	40
	valeur limite	percentile 98 horaire	200
	seuil de recommandation	moyenne horaire	200
	seuil d'alerte	moyenne horaire	400
directive fille européenne 99	valeur limite 2008	moyenne annuelle	44
	valeur limite 2010	moyenne annuelle	40
monoxyde de carbone			
		Type de données	Valeur (mg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité de l'air	moyenne gliss. 8h	10
Allemagne	objectif de qualité de l'air	moyenne annuelle	1
OMS 1996	seuil de recommandation	moyenne horaire	80
dioxyde de soufre			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité de l'air	moyenne annuelle	50
	valeur limite	percentile 99,2 journalier	125
	seuil de recommandation	moyenne horaire	300
	seuil d'alerte	moyenne horaire sur 3h	500
directive fille européenne 99	valeur limite écosystèmes	moyenne annuelle/hiver	20
	seuil de recommandation santé	moyenne gliss. 24h	125
particules			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité de l'air	moyenne annuelle	30
arrêtés préfectoraux 2004	seuil de recommandation	moyenne gliss. 24h	80
	seuil d'alerte	moyenne gliss. 24h	125
directive fille européenne 99	valeur limite 2005	moyenne annuelle	40
ozone			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité santé	moyenne gliss. 8h	110
	objectif de qualité végétaux	moyenne horaire	200
	objectif de qualité végétaux	moyenne gliss. 24h	65
décret du 12 novembre 2003	seuil de recommandation	moyenne horaire	180
	seuil d'alerte	moyenne horaire	240
benzène			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
décret du 15 février 2002	objectif de qualité de l'air	moyenne annuelle	2
	valeur limite 2008	moyenne annuelle	7
	valeur limite 2010	moyenne annuelle	5
toluène			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
OMS	valeur guide	moyenne hebdomadaire	260
éthylbenzène			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
OMS	valeur guide	moyenne annuelle	22000
xylènes			
		Type de données	Valeur (µg/m³)
OMS	valeur guide	moyenne annuelle	870

Tableau 1 : Normes de qualité de l'air

III. CAMPAGNE DE MESURES

III.1. Description des transects de mesure et particularités des sites qui les composent

L'analyse de la variation des niveaux de pollution par transect¹ donne des informations concernant la répartition de la pollution à distance de l'axe étudié. Six transects formés de 12 points de mesure en NO₂ et en benzène ont été mis en place de part et d'autre de l'A35 entre Vendenheim et Ostwald :

Transect 1 : Vendenheim

Transect 2 : Bischheim/Souffelweyersheim

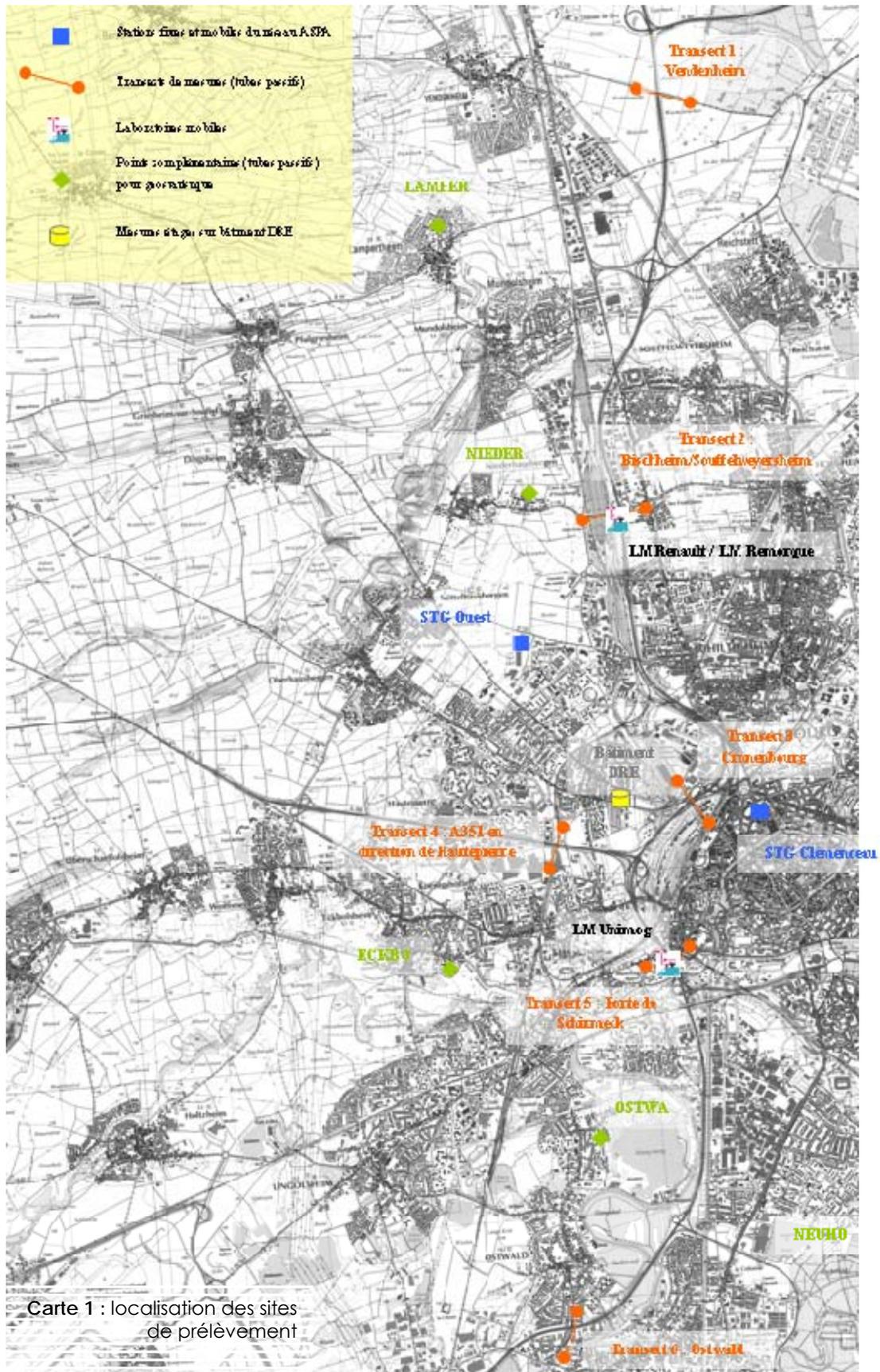
Transect 3 : Cronenbourg

Transect 4 : Hautepierre-Koenigshoffen

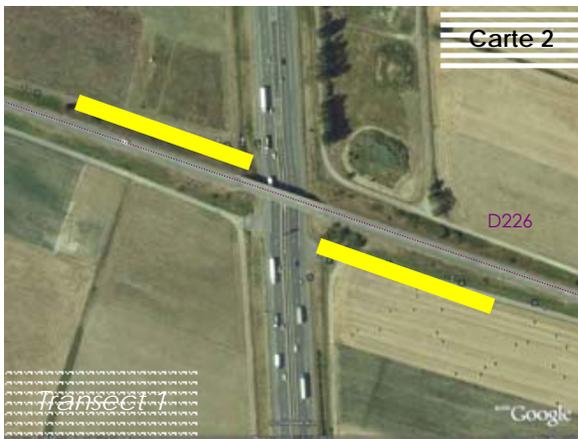
Transect 5 : Porte de Schirmeck

Transect 6 : Ostwald

¹ *Transect : ligne ou bande étroite qui traverse un milieu donné, le long de laquelle sont localisées des stations d'observation, de mesure ou d'échantillonnage qui permettent de faire l'analyse, le profil ou la cartographie de ce milieu.*



➔ **Le transect 1 de Vendenheim** est implanté de part et d'autre de l'A35 le long de la D226 en milieu rural. Les sources d'émission localisées sur la zone (NO₂, benzène) ont pour principale origine le trafic routier de l'A35 et dans une moindre mesure le trafic du réseau secondaire (D226,...). Cet environnement spécifique doit permettre de quantifier la contribution de l'A35 sur les niveaux de pollution mesurés.

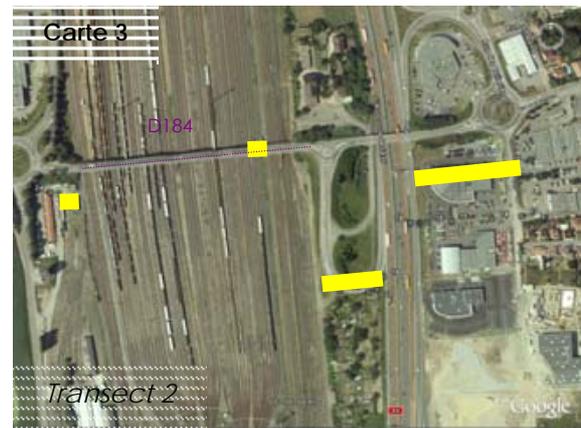


Ce transect est constitué des sites de mesures 1 à 12, tous situés à la même hauteur. Les points de mesures 1 à 6 situés à l'Est et 7 à 12 situés à l'Ouest sont protégés respectivement au Nord et au Sud par la rampe de la D226 qui passe sur l'A35.



Les transects 2 à 6 sont implantés en milieu urbain (voire à dominante périurbaine pour le transect 2). Le trafic routier de l'A35 dans ces zones reste une source d'émission importante. En revanche la contribution des émissions résultant du trafic routier secondaire urbain est plus importante.

➔ **Le transect 2 de Bischheim-Souffelweyersheim** est constitué des points de mesure 13 à 24, implanté dans une zone présentant peu d'habitat (zone commerciale et industrielle du côté Est).



La mise en place d'un transect de mesure du côté Ouest respectant les distances définies pour l'ensemble des transects a posé problème en lien avec le réseau ferroviaire adjacent à l'A35. Pour ces raisons, le point de mesure T2O_100m a été installé sur la D184, sur le pont surplombant les lignes de chemin de fer (à 150m de l'A35) tandis que le point de mesure T2O_150m a été installé de l'autre côté des voies de chemin de fer, à 430m de l'A35 en contrebas du pont.

Du côté Est, une particularité réside dans le positionnement des points de mesure T2E_1m et T2E_10m tous deux situés en proximité immédiate de l'A35 : T2E_10m est situé le long d'une voie à la fois de décélération (sortie 49 : Hoenheim) et d'accélération. T2E_1m est installé sur le terre-plein entre l'A35 et cette voie.



Les points de mesures les plus proches de l'autoroute (T3E_1m et T3O_1m) sont situés le long de la chaussée de l'A35 qui enjambe la rue de la gare aux marchandises. Tous les autres points sont situés en contrebas de l'A35.



Le réseau routier autre que l'A35 est dense et supporte des trafics importants.

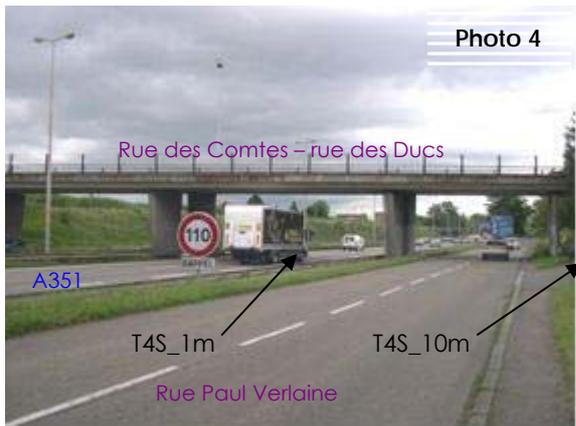
➡ Le transect 3 de Cronenbourg est constitué des points de mesure 25 à 36 répartis le long des rues Gare aux marchandises et Georges Wodli (densité d'habitat faible dans ce secteur).



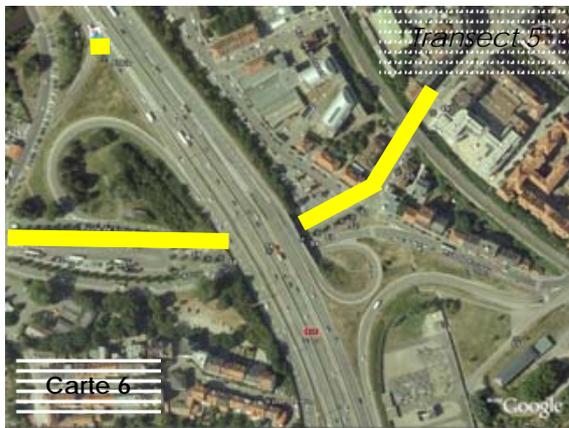
➡ Le transect 4 de Hautepierre-Koenigshoffen est constitué des points de mesure 37 à 48 répartis le long de la rue des Ducs, de la rue des Comtes et de la rue Paul Verlaine.



L'A351 est située en contrebas de l'axe routier qui sert de support au transect (rue des Comtes / rue des Ducs). Les points les plus proches de l'autoroute (T4N_1m, T4S_1m et T4S_10m) sont de ce fait situés plus bas que les autres points du transect.



➡ **Le transect 5 de la Porte de Schirmeck** est constitué des points de mesure 49 à 62 répartis le long de la route de Schirmeck et de la rue de Molsheim.



Les points de mesures les plus proches de l'autoroute (T5O_1m et T5E_1m) sont situés le long de la chaussée de l'A35 qui enjambe la route de Schirmeck et la rue de Molsheim. Tous les autres points sont situés en contrebas de l'A35.



Le point de mesure T5_0m est particulier car situé sous le pont de l'A35.

➡ **Le transect 6 situé à hauteur d'Ostwald** est constitué des points de mesure 63 à 75 répartis le long de la rue du Maréchal Foch.



Dans ce secteur où l'habitat est dense, un mur antibruit protège les habitations voisines de part et d'autre de l'autoroute.

Un seul point de mesure (T6_0m) a été installé le long de l'A35, entre la chaussée et le mur antibruit. Les autres points de mesure sont tous situés dans la rue du Maréchal Foch, en contrebas de l'A35 (l'A35 est surélevée par rapport à la rue du Maréchal Foch).

III.2. Comparaison avec des stations type référencées

La méthode de caractérisation des sites d'une campagne de mesure fait appel à la comparaison des données obtenues avec les mesures issues des stations fixes du réseau ASPA.

Les stations fixes Strasbourg Ouest (site 76), Strasbourg Clemenceau (site 77) et le camion laboratoire Unimog ont servi de référent dans cette étude.



III.3. Conditions météorologiques

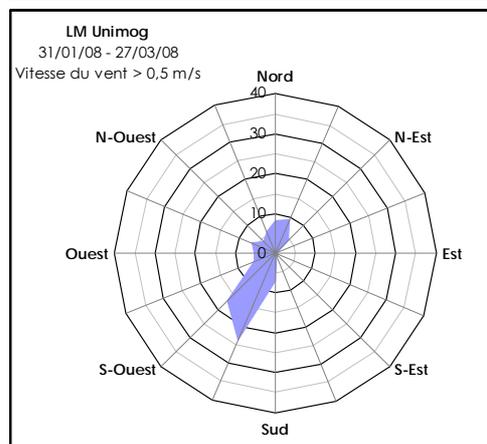
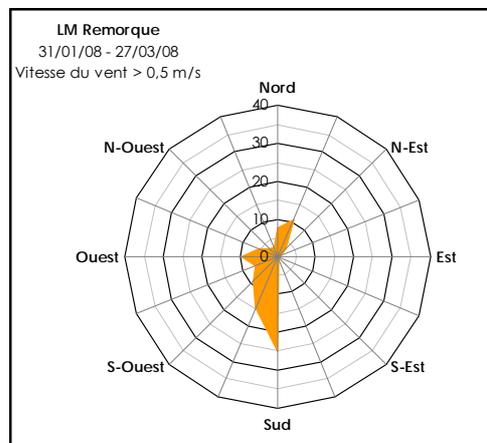
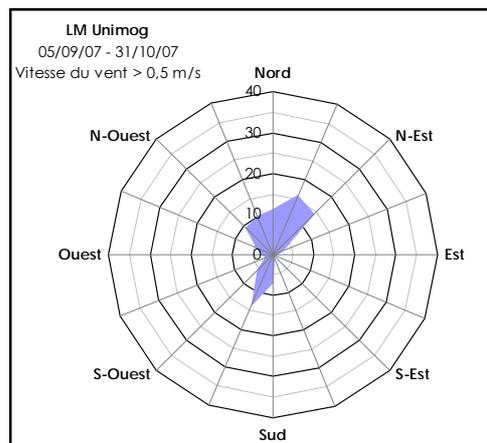
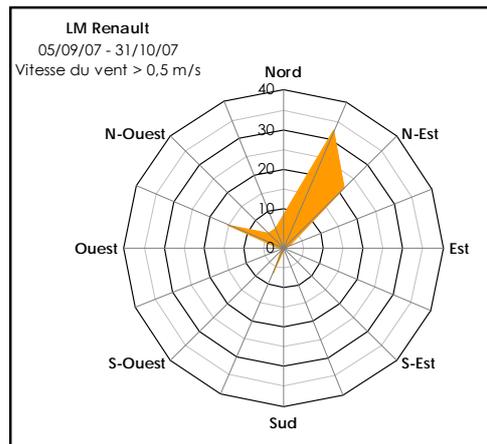
Les paramètres météorologiques (température, vitesse et direction du vent) sont relevés sur les camions laboratoires Unimog (Porte de Schimeck), Renault et Remorque (Bischheim-Souffelweyersheim).

➤ Les vents

Les roses des vents relevées sur les deux camions laboratoires courant septembre et octobre montrent globalement une prédominance des vents issus du secteur NNE à NE (représentant respectivement 54 et 30% des apparitions du vent à hauteur de Souffelweyersheim et de la Porte de Schirmeck).

Ce flux s'est inversé durant les mois d'hiver (février, mars) avec cette fois-ci une prédominance des vents d'origine S à SO : 40% des vents ont pour origine le secteur S à SSO sur le site du laboratoire mobile remorque, pourcentage identique sur le site Unimog avec des vents issus du secteur SSO à SO.

La rose des vents représente la répartition directionnelle des vents sur une période donnée. La longueur du segment est proportionnelle à la fréquence du vent de cette direction. Seules comptent les périodes où la vitesse du vent est supérieure à 0,5 mètre par seconde.



Illustrations 2 à 5

Les vitesses de vents enregistrées entre février et mars (hiver 2008) ont été plus élevées qu'entre septembre et octobre de l'année précédente (automne 2007). Les camions laboratoires ont mesuré des vitesses de vent moyennes sur la phase hivernale comprises entre 2 et 2,4 m/s (8-9 km/h) alors qu'elles n'étaient que de 1 à 1,4 m/s (4-5 km/h) en automne.

La phase hivernale a été favorable à une meilleure dispersion des polluants dans l'air.

➤ Les températures

Les températures relevées en septembre et octobre 2007 ont été globalement plus clémentes qu'entre février et mars 2008 : les moyennes relevées à l'automne sont comprises entre 13 et 14°C. En hiver, ces moyennes chutent à 6°C.

La température agit sur la chimie et les émissions des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz et augmente les rejets automobiles et les émissions dues au chauffage, tandis que la chaleur entraîne la formation photochimique de l'ozone et l'évaporation des composés organiques volatils.

Legende tableaux 3 et 4

min. = valeur horaire minimum rencontrée sur la période d'observation

max. = valeur horaire maximum rencontrée sur la période d'observation

moy. = moyenne sur les valeurs horaires de la période d'observation

Vitesse de vent Automne 2007	LM Renault	LM Unimog
min.	0,0	0,2
max.	7,2	4,6
moy.	1,2	1,4

vitesse de vent Hiver 2008	LM Remorque	LM Unimog
min.	0,1	0,2
max.	8,8	9,1
moy.	2,1	2,3

Tableau 2

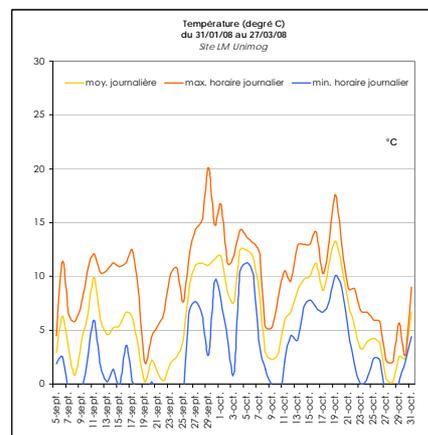
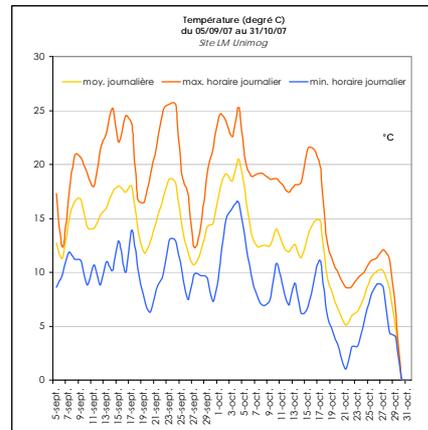
Unité : m/s

Température Automne 2007	LM Renault	LM Unimog
min.	2	1
max.	27	26
moy.	14	13

Température Hiver 2008	LM Remorque	LM Unimog
min.	-5	-5
max.	20	20
moy.	6	6

Tableau 3

Unité : °C



Illustrations 6 et 7

Octobre 2007
Caractère dominant du mois

Un mois d'automne calme et sec

Précipitations

En déficit par rapport à la normale de 80 à plus de 90% sur le département ; un maximum de 97% à Mundolsheim (2,2mm mensuel), 89% à Entzheim (5,6mm mensuel) qui se place au 2ème rang le plus sec depuis 1945 après octobre 1969 (1,5mm).

Températures

La moyenne mensuelle des minima et des maxima est respectivement inférieure et supérieure de 0,2° à 0,1° à la normale selon les postes. Les températures moyennes mensuelles sont quasi conformes aux moyennes de saison, gravitant jusqu'à +/- 0,5° autour de la normale sur l'ensemble du département.

Insolation

Record d'insolation pour ce mois d'octobre avec 151,5 heures de soleil contre 134,5 heures en octobre 1997 sur la période de référence 1991-2000.

Novembre 2007
Caractère dominant du mois

Un peu froid et plutôt arrosé

Précipitations

Une pluviométrie hétérogène en plaine et en Alsace Bossue variant en moyenne entre +/- 15% autour de la normale, mais très excédentaire dans les Vosges avec +40% dans le massif du Champ du Feu et +20% à Saales. La première neige blanchit temporairement la campagne le 15 au matin.

Températures

Les écarts à la normale varient entre -0,2° et -0,8° en plaine et en Alsace Bossue et atteignent -1° en montagne. La clémence des 1ère et 3ème décades compense un peu la 2ème décade à caractère hivernal.

Insolation

Excédentaire de près de 20% avec 60,3 heures de soleil à Entzheim pour un des mois les moins ensoleillés de l'année, grâce à la 1ère décade, la 2ème et la 3ème décade comptant 2 jours sur 3 sans soleil ou presque

Février 2008
Caractère dominant du mois

Un mois sec avec un ensoleillement exceptionnel et une douceur remarquable en journée.

Précipitations

Une pluviométrie déficitaire, souvent autour de 50% par rapport à la normale. A noter une longue période de temps sec anticyclonique du 7 au 19.

Températures

Des moyennes mensuelles supérieures de 2 à 3 degrés aux normales, grâce à des maxima exceptionnels, la 3ème décade étant digne d'un mois d'avril, mais pas de record.

Insolation

Record battu, avec 146,1h de soleil à entzheim, le dernier record datant de 1998 (143,3h), la moyenne de février étant de 82,7h et un nombre de record de 12 jours de grand beau temps (11 en 2003) pour une moyenne de 3.

Mars 2008
Caractère dominant du mois

Très pluvieux et très venté, avec un sursaut hivernal à Pâques.

Précipitations

Abondantes, mais pas exceptionnelles. C'est la 1ère fois depuis décembre 2007 que la pluviométrie est excédentaire sur tout le département.

Températures

Alternance de périodes froides, voire hivernales, et de périodes de douceur printanière. Record de froid à Pâques. Les températures moyennes mensuelles sont pourtant proches des normales.

Insolation

Bien médiocre avec 103 heures de soleil à entzheim, une durée d'insolation correspondant au 2ème rang des valeurs les plus faibles après mars 2001 (67,9 heures).

Bilan climatique phase automnale

- ✓ des vents majoritaires d'origine NNE à NE ;
- ✓ des vitesses de vents faibles (4-5 km/h en moyenne) ;
- ✓ des températures moyennes de l'ordre de 13-14°C, plus clémentes qu'au cours de la phase hivernale ;
- ✓ une pluviométrie faible à moyenne pour la saison (55mm d'eau tombé à Entzheim en cumulé sur les deux mois) ;
- ✓ une insolation importante pour la saison (210h d'ensoleillement cumulé - octobre/novembre - à Entzheim).

Bilan climatique phase hivernale

- ✓ inversion du flux avec des vents majoritaires ayant pour origine le secteur S à SO ;
- ✓ des vitesses de vents plus élevées qu'en automne, de l'ordre de 8-9 km/h en moyenne ;
- ✓ des températures moins clémentes qu'au cours de la phase automnale ; 6°C en moyenne ;
- ✓ une pluviométrie déficitaire en février mais un mois de mars très pluvieux pour la saison (73mm d'eau tombé à Entzheim en cumulé sur les deux mois) ;
- ✓ une insolation importante en février médiocre en mars pour la saison (250h d'ensoleillement cumulé à Entzheim).

Conditions météorologiques : points particuliers

- Inversion des flux du vent entre la phase automnale et la phase hivernale, tournant du secteur NNE/NE à S/SO ;
- Les polluants primaires (NO₂, benzène, particules), plus fortement émis durant les mois d'hiver (stabilité des masses d'air, surémission des démarrages à froid, chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire), devraient se retrouver en concentrations plus importantes à l'Est de l'autoroute en lien avec les conditions de ventilation durant cette période ;
- Cumul des précipitations durant les mois d'hiver de mesures plus important qu'en automne, favorisant la dilution des polluants dans l'air ;
- Insolation plus importante en hiver, favorable à une meilleure dispersion des polluants (active les mouvements de convection thermique créant un brassage de l'air, stimule la transformation photochimique des polluants primaires) ;
- Vitesses de vents plus importantes en hiver, favorable à une meilleure dispersion des polluants.

III.4. Résultats issus des dispositifs passifs

Pour chaque polluant mesuré, des cartes récapitulatives présentent les concentrations moyennes annuelles « reconstituées » observées sur l'ensemble du dispositif.

Huit périodes de mesures de 14 jours ont été mises en place afin de calculer la moyenne sur l'année de la façon suivante :

$$\text{Moy}_{\text{annuelle}} = \frac{\text{Moy}_{\text{automnale}} + \text{Moy}_{\text{hivernale}}}{2}$$

Si l'une des deux moyennes saisonnières n'a pu être calculée (données non disponibles), alors la moyenne annuelle n'est pas reconstituée.

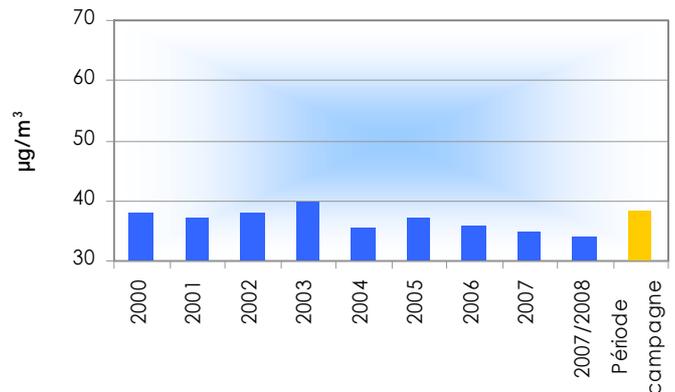
➤ Représentativité des périodes prélèvements

Les prélèvements se sont déroulés au cours des mois de septembre/octobre 2007 pour la phase « estivale » et des mois de février/mars 2008 pour la phase « hivernale » (16 semaines de prélèvement au total permettant la reconstitution de moyennes annuelles). Les prélèvements estivaux ont en effet dû être décalés d'un mois environ en raison de travaux réalisés par les services de l'équipement sur certaines portions de l'axe autoroutier principal au cours de l'été 2007. Ainsi, les concentrations en particulier en dioxyde d'azote, plus faibles en été en raison de la présence d'ozone, présentent des niveaux plus élevés en moyenne annuelle sur l'ensemble de la campagne. En analysant les résultats par rapport aux

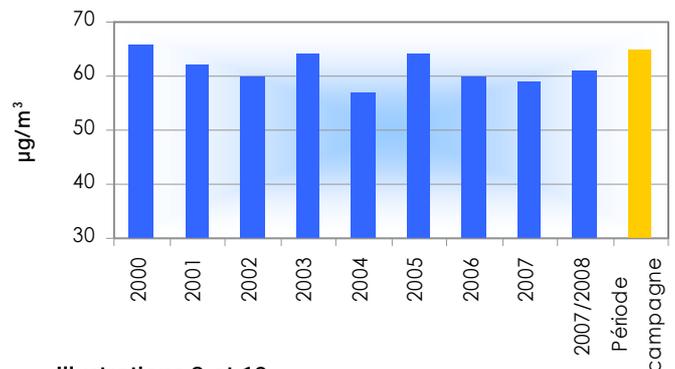
moyennes annuelles constatées depuis 2000 sur le réseau de stations fixes strasbourgeoises, *cette surestimation peut être évaluée à environ 3 à 4 µg/m³ en moyenne annuelle.*

Dans un contexte où les niveaux de concentrations sont très proches de la valeur limite européenne, *cette surestimation peut entraîner une majoration des zones présentant des dépassements de cette valeur limite à l'échelle de la zone d'étude et des populations affectés par ces dépassements mais être représentative des années 2003 et 2005.*

Concentrations annuelles de NO₂
en milieu urbain à Strasbourg
Station STG Est



Concentrations annuelles de NO₂
en proximité trafic à Strasbourg
Station STG Clemenceau



Illustrations 9 et 10

➤ **Dioxyde d'azote (NO₂)**

La durée d'exposition des tubes passifs permettant l'analyse du NO₂ a été de 14 jours.

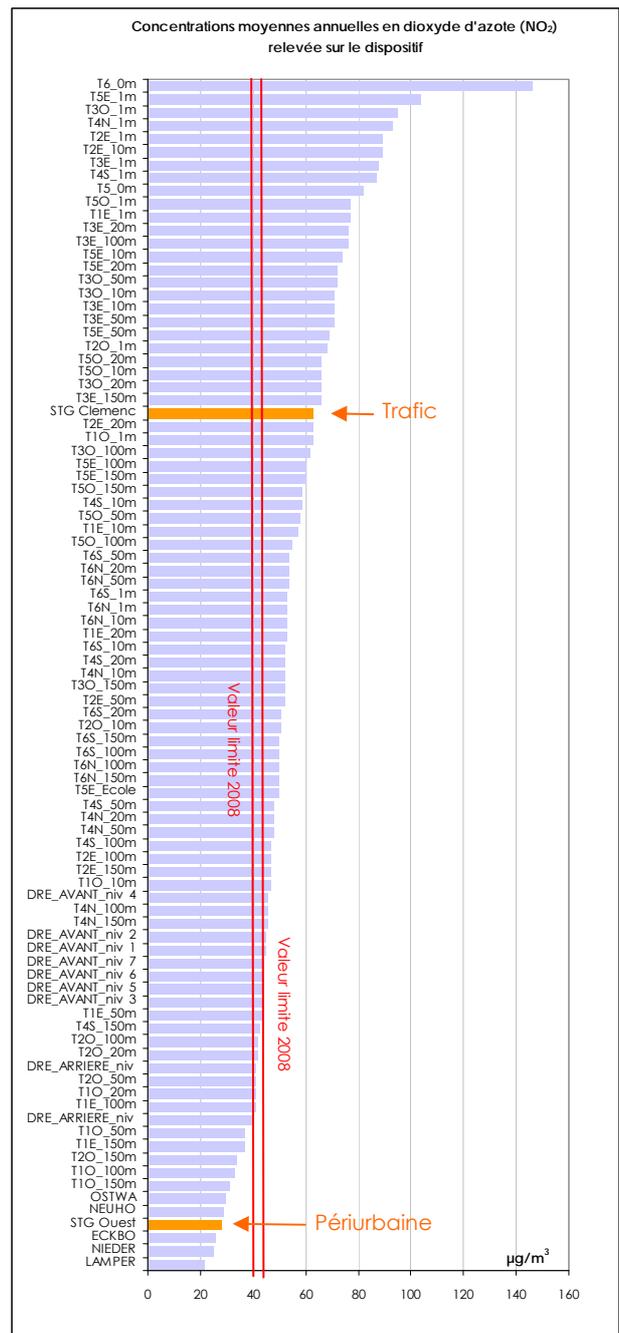
Les concentrations moyennes de dioxyde d'azote reconstituées sur une année ont varié entre 22 et 146 µg/m³ sur l'ensemble du dispositif de mesure.

Distribution des concentrations

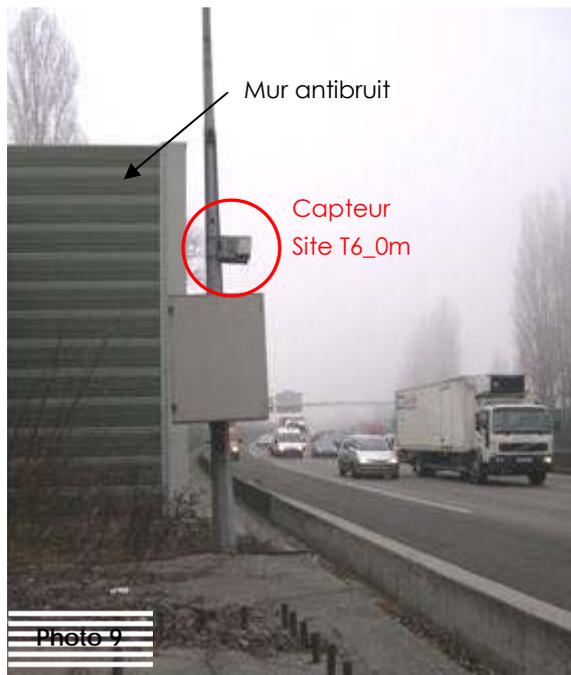
Les niveaux annuels reconstitués les plus élevés s'observent en proximité immédiate de l'A35, entre 1 et 2 mètres de l'axe, avec des concentrations en dioxyde d'azote supérieures à 77 µg/m³ (T6_0m, T5E_1m, T3O_1m, T4N_1m, T2E_1m, T3E_1m, T4S_1m, T1E_2m, ...).

Illustration 11

Stations fixes ASPA



Le point de mesure T6_0m avec $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle est atypique de part les niveaux constatés. La configuration particulière de ce point de mesure (situé le long de l'A35, entre la chaussée et le mur antibruit) explique cette pollution localisée : le mur forme un écran empêchant la dispersion des polluants.



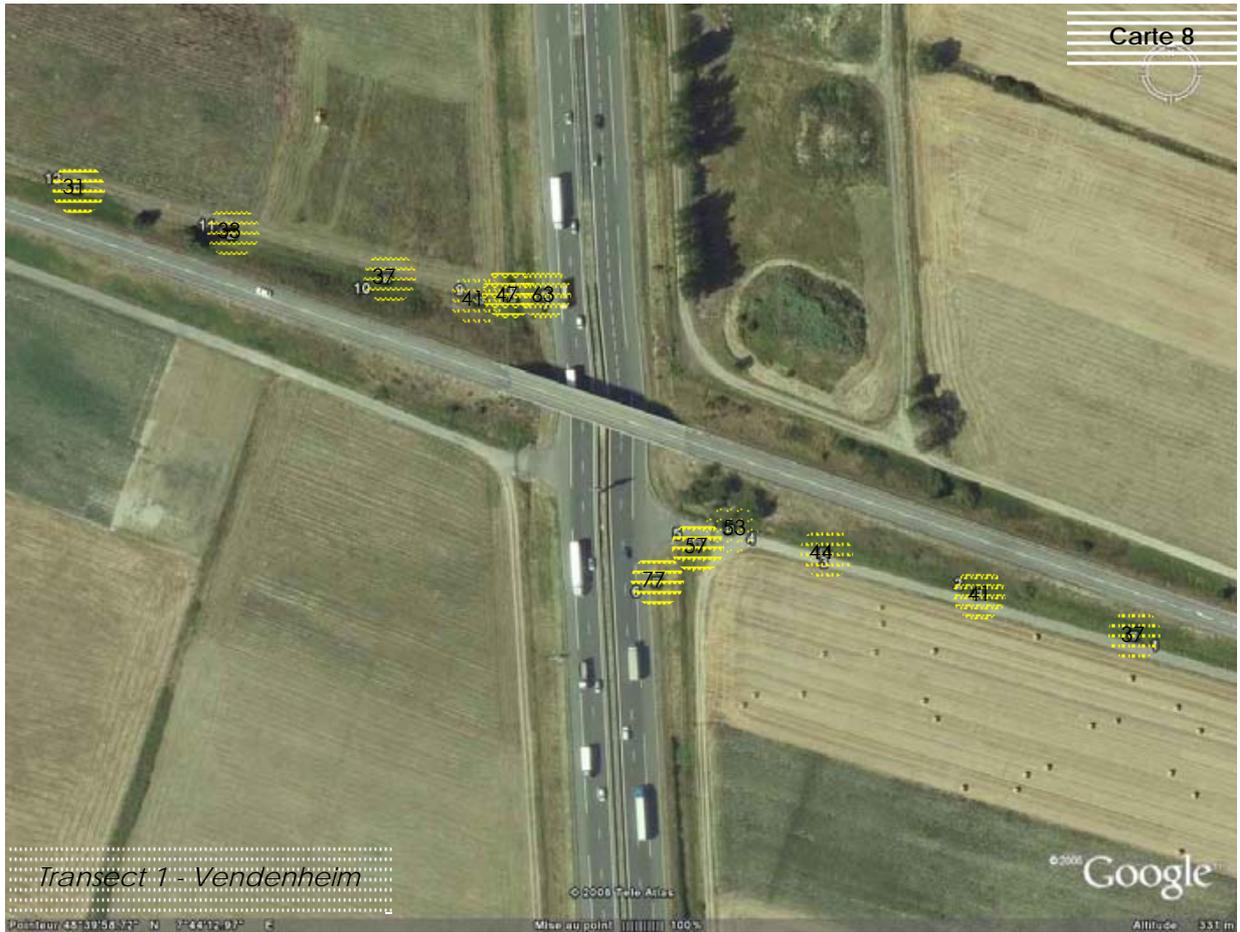
D'autres sites plus éloignés à l'A35 présentent des concentrations en dioxyde d'azote encore élevées : sur le transect 3 de Cronembourg et 5 de la Porte de Schirmeck, plusieurs sites (T3E_20m, T3E_100m T5E_10m, T5E_20m, ...) installés à distance de l'autoroute (entre 14 et 108m de cette dernière) indiquent des teneurs moyennes annuelles en NO_2 supérieures à $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le point de mesure T3E_100m situé à 108m de l'A35 (rue Georges Wodli à Cronembourg) présente des niveaux de concentrations moyens annuels de $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

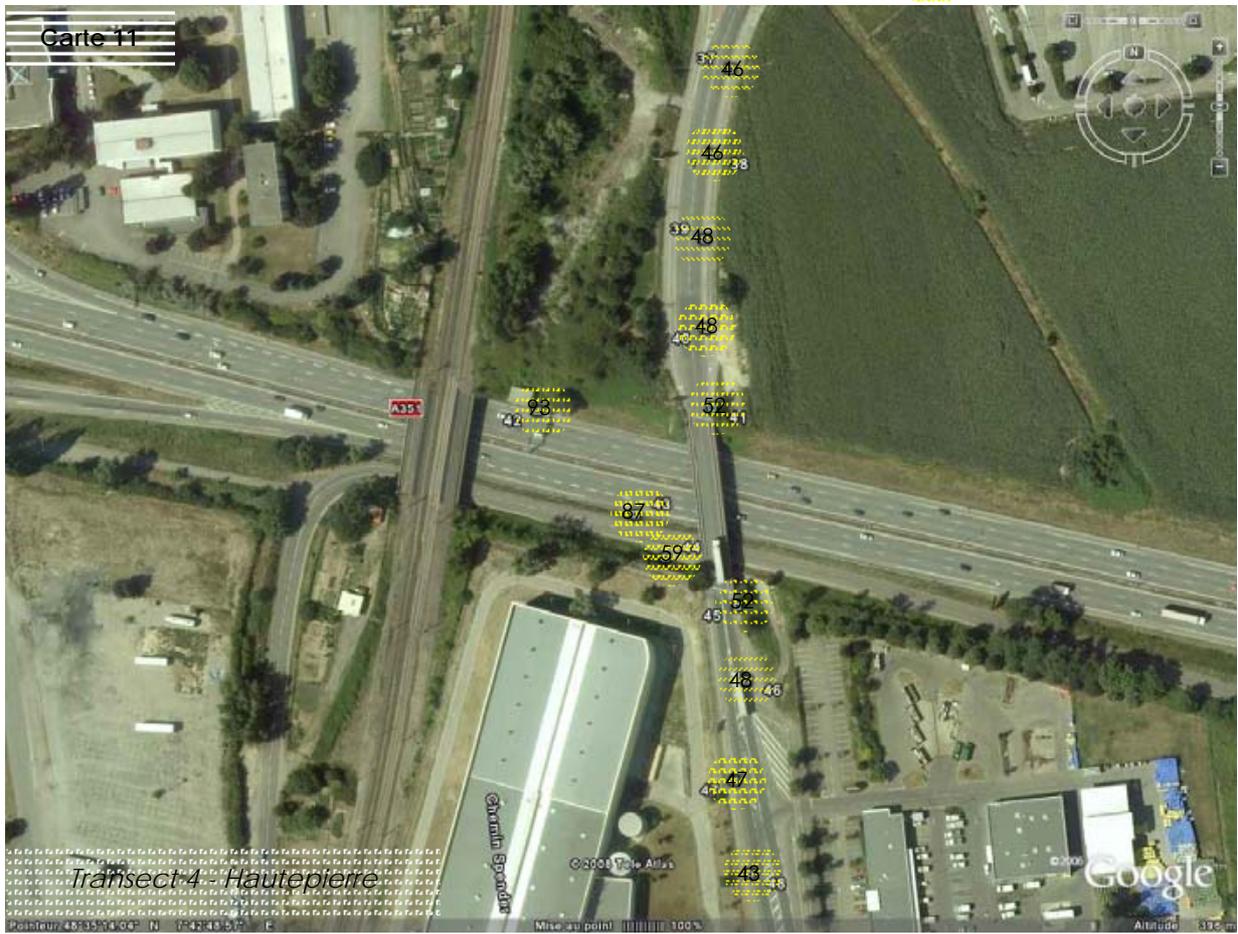
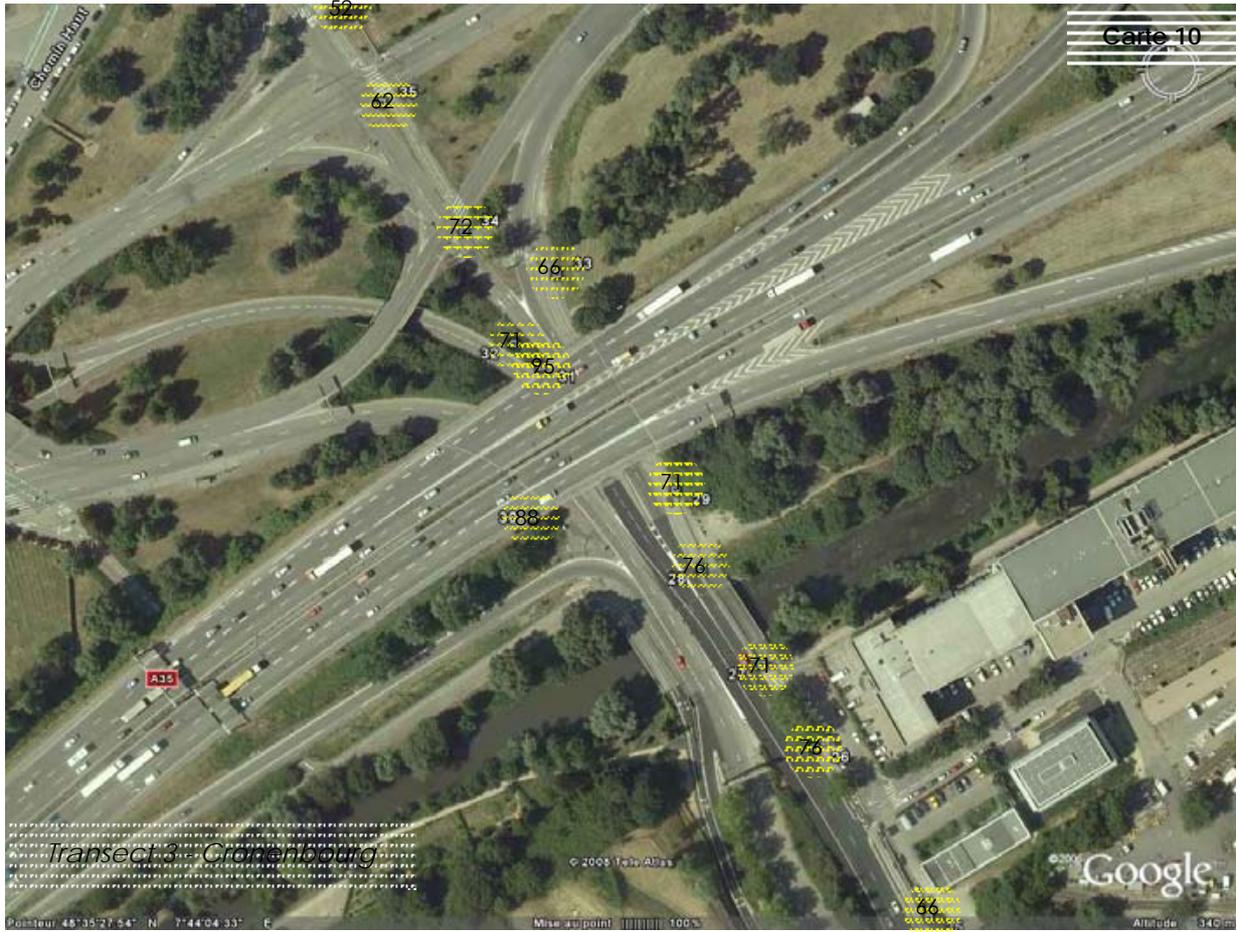


L'autoroute n'est plus alors la seule source émettrice. Le réseau routier alentour contribue fortement dans ces cas-ci aux niveaux mesurés.

Les niveaux les plus faibles sont observés :

- ✓ à distance de l'autoroute A35, en milieu dit de « fond » (éloigné des sources d'émission) comme dans les communes de Lampertheim (LAMPER), Niederhausbergen (NIEDER), ... ;
- ✓ sur les transects 1 (Vendenheim, à dominante rurale) et 2 (Bischheim-Souffelweyersheim, à dominante périurbaine), à distance de l'A35.







Référence aux normes

La directive fille européenne de 1999 impose une valeur limite annuelle de 40 µg/m³ en 2010 (cette valeur étant actuellement un objectif de qualité de l'air) avec une marge de tolérance de 4 µg/m³ pour 2008 (la fixant à 44 µg/m³).

✓ 88% des 91 sites qui composent le dispositif présentent des teneurs moyennes annuelles en NO₂ supérieures à la valeur limite 2010 ;

✓ 79% indiquent un dépassement de la valeur limite 2008.

➔ Dépassement des normes sur les transects

■ Dépassement de la valeur limite 2008 (44 µg/m³ en moyenne annuelle)

Transect 1	distance à l'axe (en m)	145	98	50	22	11	1	2	15	26	54	102	150
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	31	33	37	41	47	63	77	57	53	44	41	37
Transect 2	distance à l'axe (en m)	401	150	56	20	9	2	1	12	22	52	102	139
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	34	42	41	42	51	68	89	89	63	52	47	47
Transect 3	distance à l'axe (en m)	143	98	49	21	10	1	1	14	40	76	108	172
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	52	62	72	66	71	95	88	71	76	71	76	66
Transect 4	distance à l'axe (en m)	122	89	52	25	14	1	1	16	44	76	108	143
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	43	47	48	52	59	87	93	52	48	48	46	46
Transect 5	distance à l'axe (en m)	116	80	46	17	7	1	1	15	37	46	97	147
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	59	55	58	66	66	77	104	74	72	69	60	60
Transect 6	distance à l'axe (en m)	114	68	38	23	11	1	1	16	23	50	103	136
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	50	50	54	51	52	53	53	53	54	54	50	50

Tableau 4

■ Dépassement de la valeur limite 2010 (40 µg/m³ en moyenne annuelle)

Transect 1	distance à l'axe (en m)	145	98	50	22	11	1	2	15	26	54	102	150
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	31	33	37	41	47	63	77	57	53	44	41	37
Transect 2	distance à l'axe (en m)	401	150	56	20	9	2	1	12	22	52	102	139
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	34	42	41	42	51	68	89	89	63	52	47	47
Transect 3	distance à l'axe (en m)	143	98	49	21	10	1	1	14	40	76	108	172
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	52	62	72	66	71	95	88	71	76	71	76	66
Transect 4	distance à l'axe (en m)	122	89	52	25	14	1	1	16	44	76	108	143
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	43	47	48	52	59	87	93	52	48	48	46	46
Transect 5	distance à l'axe (en m)	116	80	46	17	7	1	1	15	37	46	97	147
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	59	55	58	66	66	77	104	74	72	69	60	60
Transect 6	distance à l'axe (en m)	114	68	38	23	11	1	1	16	23	50	103	136
	conc. NO ₂ (µg/m ³)	50	50	54	51	52	53	53	53	54	54	50	50

Tableau 5

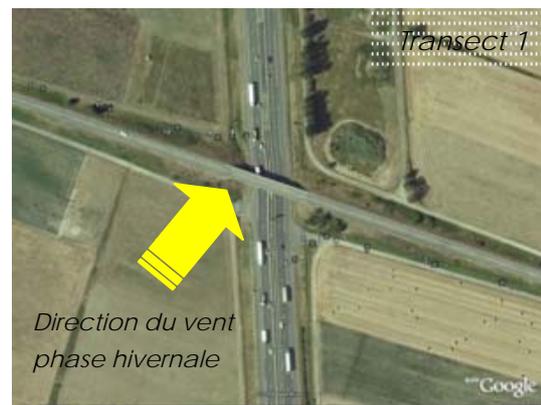
Transect de mesures

Les transects de mesures répartis le long de l'A35 montrent :

- globalement une décroissance des niveaux de concentrations en NO₂ en lien avec l'éloignement à l'axe (décroissance plus ou moins symétrique de part et d'autre de l'autoroute) ;
- des spécificités locales dans la répartition des concentrations en lien avec l'environnement de chaque transect de mesures ;
- Des teneurs en NO₂ relevées en proximité immédiate de l'autoroute (1-2m) plus élevées sur les transects implantés en milieu urbain que sur le transect 1 de Vendenheim (milieu rural) ;
- Un fond de pollution (mesuré à distance de l'autoroute, à 100-150m) plus élevé sur les transects urbains que sur celui de Vendenheim (zone rurale).
- Des teneurs plus élevées du côté Est que du côté Ouest de l'A35 (transects 1, 2, 3 et 5) en lien avec les conditions de ventilation. Les vents dominants durant la phase hivernale de mesures ont principalement pour origine le secteur S/SO (les conditions hivernales étant plus propices aux émissions d'oxydes d'azote : stabilité des masses d'air, surémission des démarrages à froid, chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire). Les émissions liées au trafic de l'A35 ont été rabattues sur les capteurs placés à l'Est de l'autoroute.



Carte 14 : Concentrations annuelles en NO₂ moyennées pour chaque transect. L'illustration montre que plus la mesure est intégrée au tissu urbain de Strasbourg, plus les concentrations en NO₂ sont élevées.



Carte 15 : Direction du vent durant la phase hivernale de la campagne - période soumise aux niveaux de NO₂ les plus élevés.

- Une décroissance rapide des niveaux de concentrations en NO₂ sur la première dizaine de mètres, évaluée à plus de 20% comme observée sur les transects 1 à 3. Les transects 3 à 6 présentant des particularités locales présentées ci-dessous :

- **le transect 4 (HautePierre-Koenigshoffen)** montre une décroissance bien plus importante dans les 10 premiers mètres, chiffrée à 32% au Sud et 44% au Nord. La configuration même du transect (emplacement des sites de mesure) explique cette chute rapide des teneurs.



- **sur le transect 5 (Porte de Schirmeck)** les teneurs en NO₂ chutent respectivement de 29% et 14% à l'Est et à l'Ouest de l'autoroute dans les 15 premiers mètres.



A l'Est du transect, le différentiel de concentrations est important entre T5E_1m et T5E_10m. L'environnement du site T5E_1m explique les niveaux de concentrations élevés mesurés en ce point (capteur placé entre la chaussée et un écran de béton ayant une influence sur la dispersion des polluants).



A l'Ouest du transect, le différentiel est plus faible et s'explique par des niveaux de fond (à distance de l'A35) élevés. L'écart est d'autant plus faible que les niveaux de pollution de fond sont importants.

- **sur le transect 6 (Ostwald)**, les niveaux de concentrations mesurés sont globalement plus faibles que ceux pouvant être rencontrés en milieu urbain. Ceux-ci montrent en revanche une grande homogénéité sur l'ensemble du transect. Le mur antibruit positionné de part et d'autre de l'A35 a un impact conséquent sur les teneurs mesurées, jouant un rôle de mur « antipollution »: le capteur installé

entre la chaussée de l'A35 et le mur (site T6_0m) présente les niveaux de concentrations les plus élevés relevés sur le dispositif avec 146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Ces teneurs sont divisées par 3 de l'autre côté du mur comme constaté sur T6S_1m et T6N_1m (53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). L'impact du mur a une double conséquence. La dispersion limitée des polluants issus du trafic routier de l'A35 (effet mur) a pour conséquence :

- ✓ une surexposition du capteur placé en T6_0m ;
- ✓ une stagnation des polluants dans le couloir formé par le mur de part et d'autre de l'A35, protégeant ainsi tous les autres capteurs du transect qui présentent toutefois des niveaux systématiquement supérieurs à la valeur limite même si aucune décroissance n'est observée à proximité immédiate de l'axe autoroutier.



Répartition des concentrations mesurées sur les transects

Sur les sites « transects » (échantillon de 75 points de mesure) :

- la majorité (soit 53%) présente des concentrations comprises entre 40 et 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- 2% présentent des teneurs supérieures à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- 7% seulement indiquent des teneurs inférieures à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

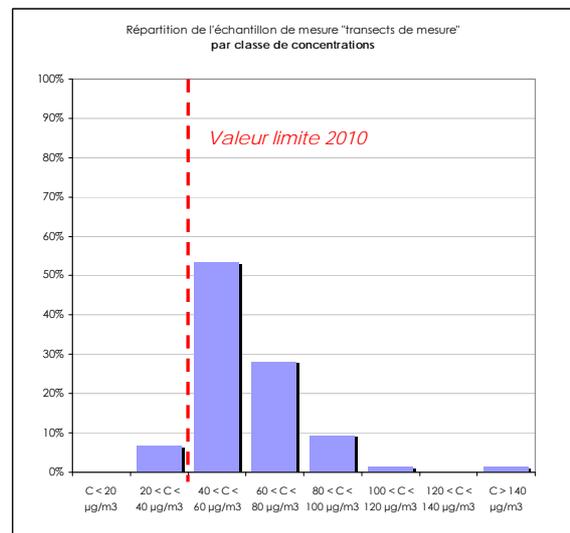
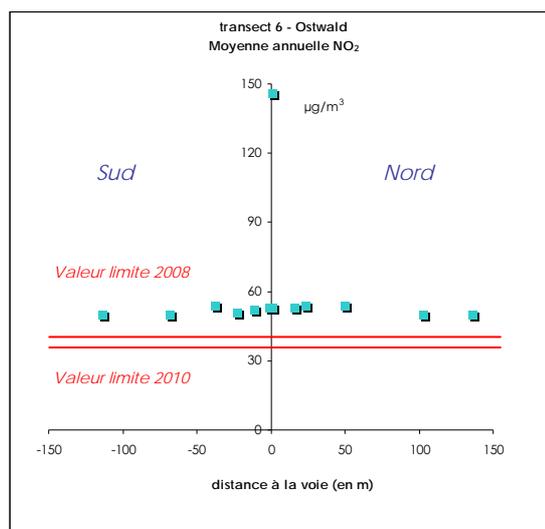
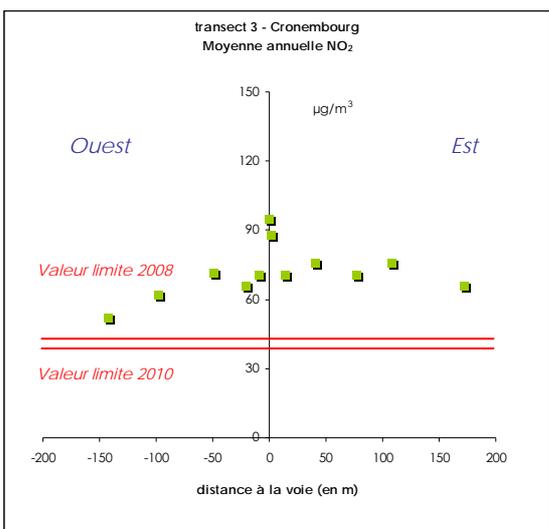
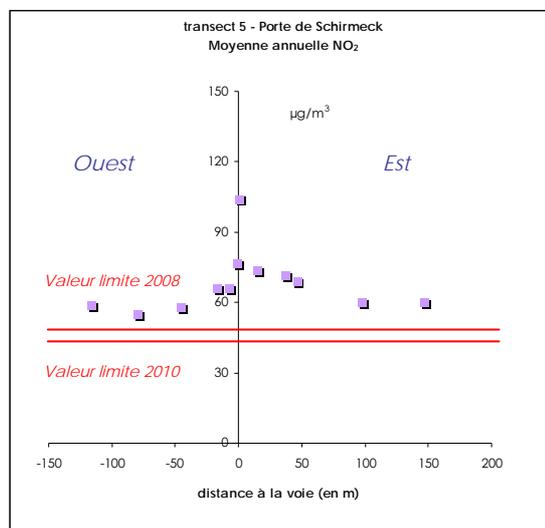
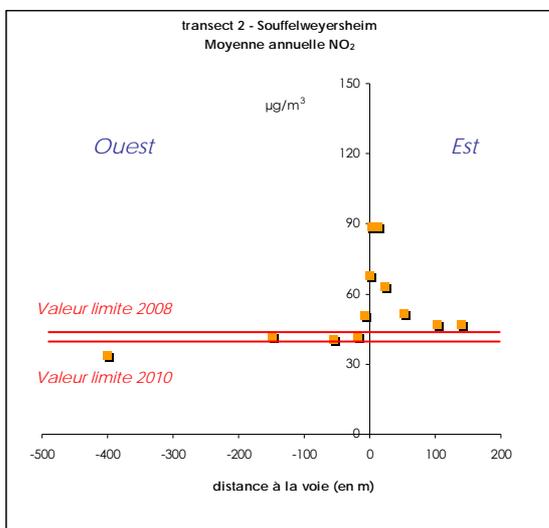
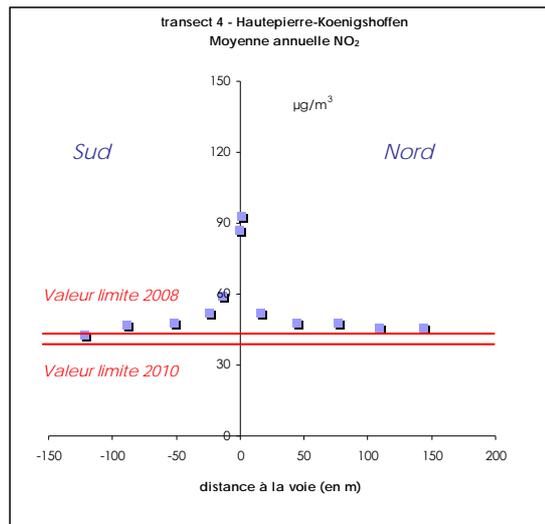
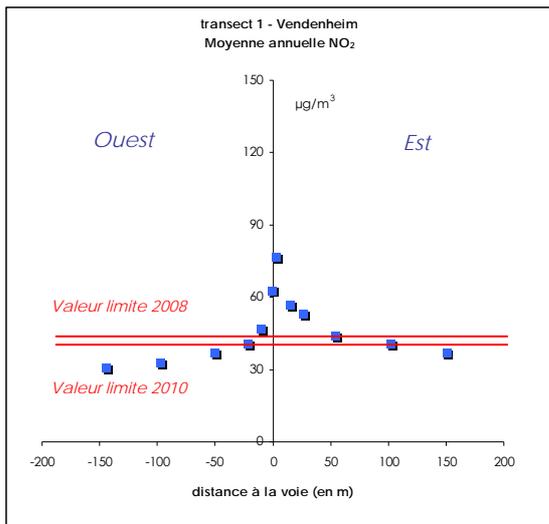


Illustration 12



Illustrations 13 à 18

Dispersion verticale

Afin d'étudier l'influence de la hauteur sur les niveaux de polluants mesurés, des tubes passifs ont été installés à différents étages de la Direction Régionale de l'Équipement, à l'avant (7 niveaux) et à l'arrière du bâtiment (2 niveaux). La DRE est implantée route d'Oberhausbergen à Strasbourg, à environ 230m de l'autoroute A35.



Cartes 19 et 20

Les concentrations moyennes de dioxyde d'azote reconstituées sur une année ont varié entre 40 et 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les 9 points de mesures équipant le bâtiment.

Les niveaux de concentrations mesurés sur la face avant (la plus exposée à l'autoroute ainsi qu'au trafic de la route d'Oberhausbergen) sont un peu plus élevés que sur la face arrière avec respectivement 45 et 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés.

Les 7 points de mesures placés à différente hauteur sur la façade avant de la DRE montrent une homogénéité qui ne semble pas influencée par la hauteur de prélèvement.

Photo 12



Photo 13



➤ **Benzène (C₆H₆)**

La durée d'exposition des tubes passifs permettant l'analyse des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) a été de 14 jours. Sont présentés ici uniquement les résultats en benzène, traceur privilégié du trafic routier (le seul réglementé).

Les concentrations moyennes de benzène reconstituées sur une année ont varié entre 0,7 et 3,6 µg/m³ sur l'ensemble du dispositif de mesures (illustration 17).

Distribution des concentrations

Les niveaux annuels reconstitués les plus élevés ont été relevés au point de mesure T5_0m, point particulier car situé sous un pont.



A la différence du dioxyde d'azote, les teneurs en benzène les plus élevées ne sont pas mesurées systématiquement en proximité immédiate de l'autoroute. Un grand nombre de capteurs placés à distance de l'A35 présentent des concentrations en benzène élevées (T5E_50m, T5E_100m, T3E_100m, T3O_100m,...). En effet, les rejets de benzène sont importants à proximité des axes de circulation présentant des faibles vitesses (et donc une combustion très incomplète des carburant).

Les teneurs mesurées le long du transect 5 (Porte de Schirmeck) se démarquent du reste du dispositif : les 6 points de mesures les plus élevés en benzène sont situés sur ce transect.

Les niveaux les plus faibles sont observés sur les transects 1 et 2, les moins intégrés au tissu urbain.

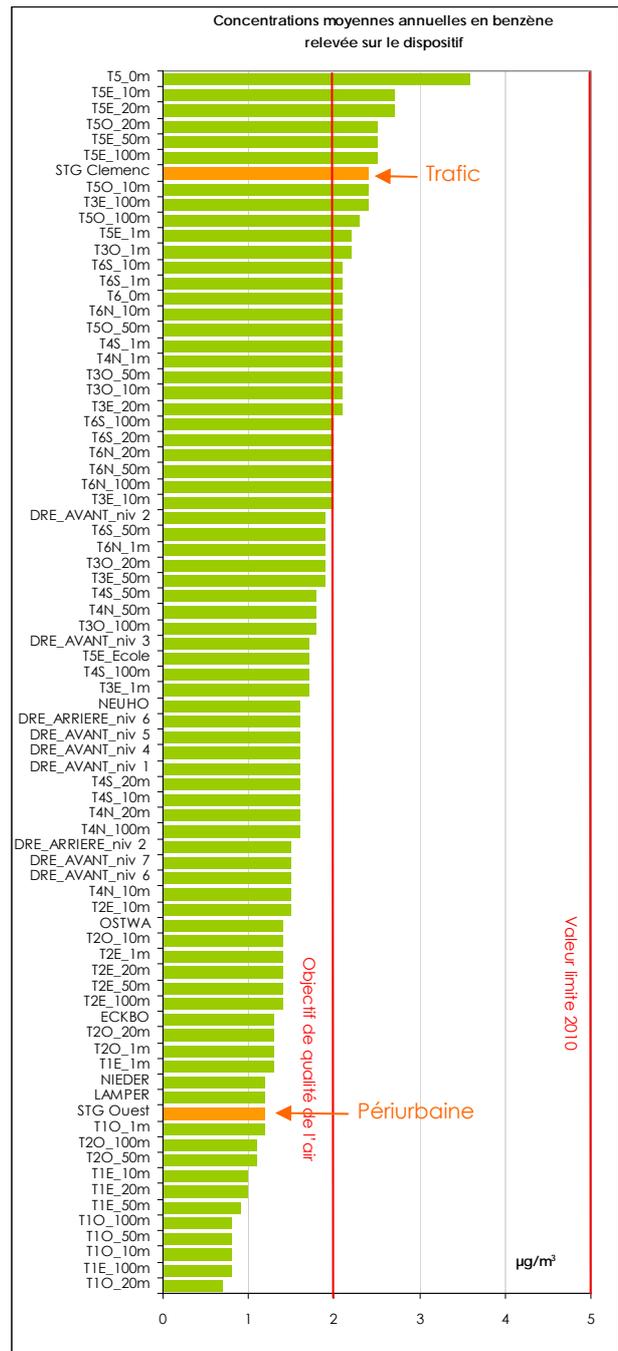


Illustration 19

Stations fixes ASPA







Référence aux normes

L'objectif de qualité de l'air pour le benzène est de 2 µg/m³ en moyenne annuelle (décret 2002-213 du 15 février 2002). La directive européenne impose une valeur limite de 5 µg/m³ en moyenne annuelle à partir de 2010.

- ✓ 36% des 78 sites qui composent le dispositif présentent des teneurs moyennes annuelles en benzène supérieures à l'objectif national de qualité de l'air ;
- ✓ Aucun site ne présente de dépassement de la valeur limite 2010.

➔ Dépassement des normes sur les transects

■ Dépassement de la valeur limite 2010 (5 µg/m³ en moyenne annuelle)

Transect 1	distance à l'axe (en m)	145	98	50	22	11	1	2	15	26	54	102	150
	conc. benzène (µg/m ³)		0,8	0,8	0,7	0,8	1,2	1,3	1	1	0,9	0,8	
Transect 2	distance à l'axe (en m)	401	150	56	20	9	2	1	12	22	52	102	139
	conc. benzène (µg/m ³)		1,1	1,1	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	
Transect 3	distance à l'axe (en m)	143	98	49	21	10	1	1	14	40	76	108	172
	conc. benzène (µg/m ³)		1,8	2,1	1,9	2,1	2,2	1,7	2	2,1	1,9	2,4	
Transect 4	distance à l'axe (en m)	122	89	52	25	14	1	1	16	44	76	108	143
	conc. benzène (µg/m ³)		1,7	1,8	1,6	1,6	2,1	2,1	1,5	1,6	1,8	1,6	
Transect 5	distance à l'axe (en m)	116	80	46	17	7	1	1	15	37	46	97	147
	conc. benzène (µg/m ³)		2,3	2,1	2,5	2,4		2,2	2,7	2,7	2,5	2,5	
Transect 6	distance à l'axe (en m)	114	68	38	23	11	1	1	16	23	50	103	136
	conc. benzène (µg/m ³)		2	1,9	2	2,1	2,1	1,9	2,1	2	2	2	

Tableau 6

■ Dépassement de l'objectif de qualité de l'air (2 µg/m³ en moyenne annuelle)

Transect 1	distance à l'axe (en m)	145	98	50	22	11	1	2	15	26	54	102	150
	conc. benzène (µg/m ³)		0,8	0,8	0,7	0,8	1,2	1,3	1	1	0,9	0,8	
Transect 2	distance à l'axe (en m)	401	150	56	20	9	2	1	12	22	52	102	139
	conc. benzène (µg/m ³)		1,1	1,1	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	
Transect 3	distance à l'axe (en m)	143	98	49	21	10	1	1	14	40	76	108	172
	conc. benzène (µg/m ³)		1,8	2,1	1,9	2,1	2,2	1,7	2	2,1	1,9	2,4	
Transect 4	distance à l'axe (en m)	122	89	52	25	14	1	1	16	44	76	108	143
	conc. benzène (µg/m ³)		1,7	1,8	1,6	1,6	2,1	2,1	1,5	1,6	1,8	1,6	
Transect 5	distance à l'axe (en m)	116	80	46	17	7	1	1	15	37	46	97	147
	conc. benzène (µg/m ³)		2,3	2,1	2,5	2,4		2,2	2,7	2,7	2,5	2,5	
Transect 6	distance à l'axe (en m)	114	68	38	23	11	1	1	16	23	50	103	136
	conc. benzène (µg/m ³)		2	1,9	2	2,1	2,1	1,9	2,1	2	2	2	

Tableau 7

Transect de mesures

Les transects de mesures répartis le long de l'A35 montrent :

- globalement une relative homogénéité des niveaux de concentrations en benzène sur les différents transects à la différence du constat réalisé pour le dioxyde d'azote ;
- plus les points de mesures sont intégrés au tissu urbain, plus les concentrations de benzène sont élevées (cf. carte 27) ;
- Des teneurs plus élevées du côté Est que du côté Ouest de l'A35 (constat similaire avec le NO₂) en lien avec les conditions de ventilation. Les vents dominants durant la phase hivernale de mesures ont pour principale origine le secteur S/SO (repoussant ainsi les polluants sur les sites instrumentés à l'Est de l'axe autoroutier).



Carte 27 : Concentrations annuelles en benzène moyennées pour chaque transect. L'illustration montre que plus la mesure est intégrée au tissu urbain de Strasbourg, plus les concentrations en benzène sont élevées.

Répartition des concentrations mesurées sur les transects

Sur les sites « transects » (échantillon de 60 points de mesure) :

- 10% indiquent des teneurs inférieurs à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- 47% des sites indiquent des concentrations comprises entre $1,0$ et $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- 43% des sites indiquent des concentrations comprises entre $2,0$ et $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- aucun site « transects » ne présentent de concentrations supérieures à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

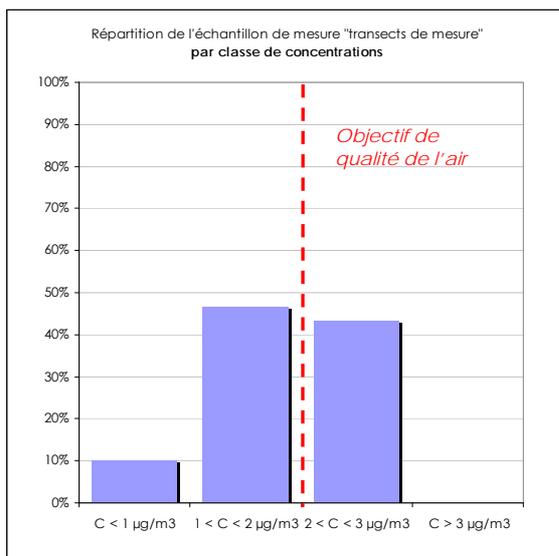
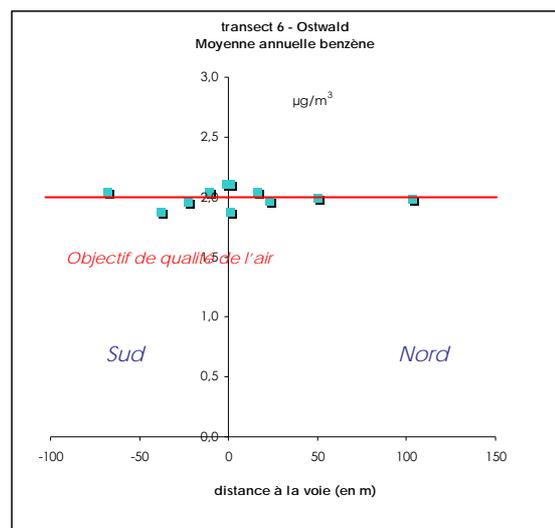
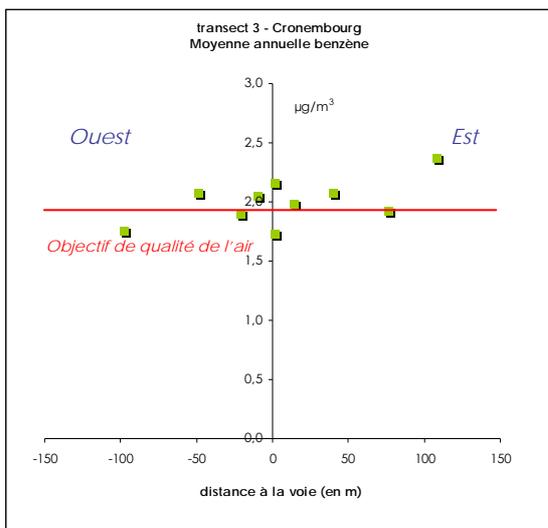
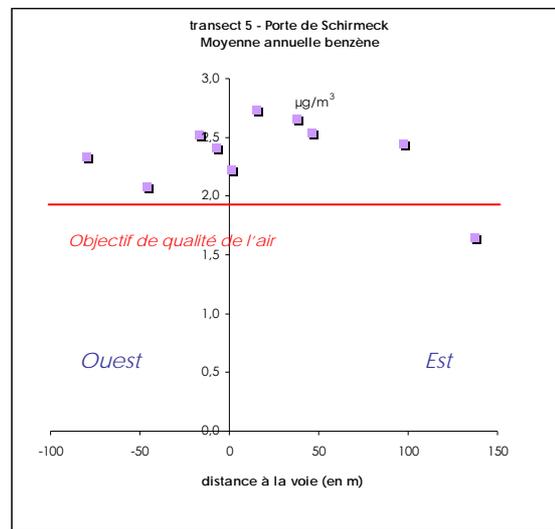
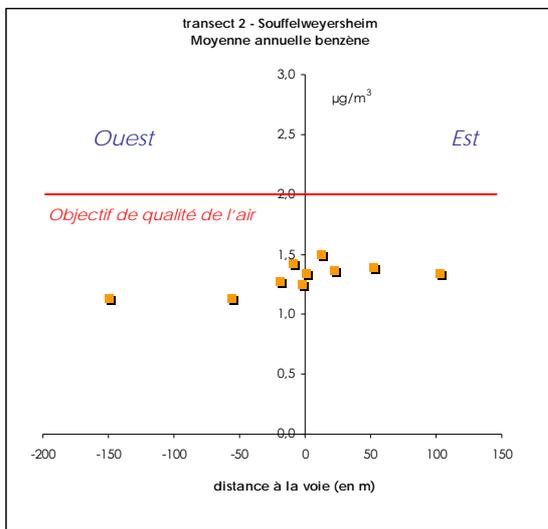
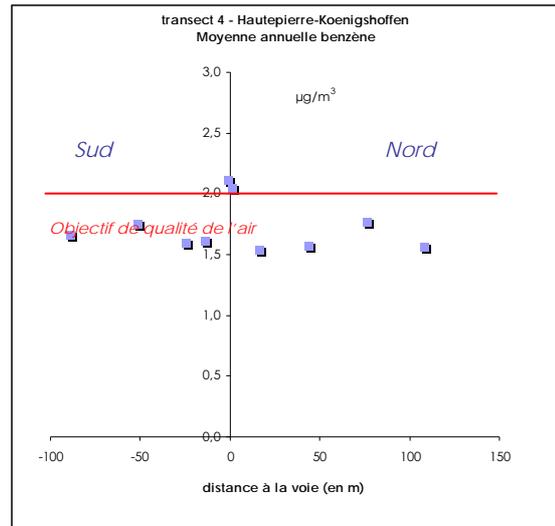
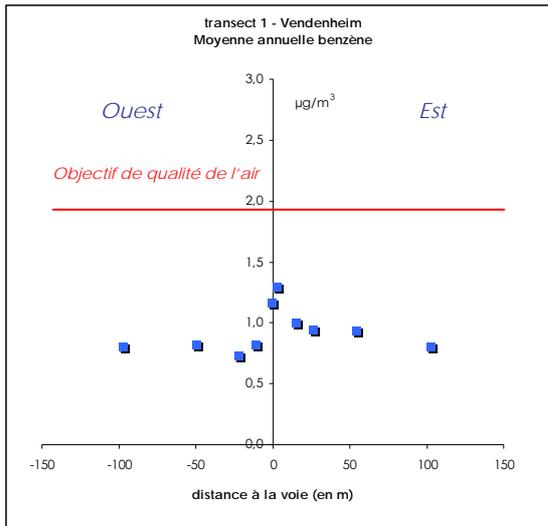


Illustration 20



Illustrations 21 à 26

Dispersion verticale

Parallèlement aux mesures de dioxyde d'azote, des tubes passifs ont été installés à différents étages de la DRE, à l'avant (7 étages instrumentés) et à l'arrière du bâtiment (2 étages équipés).



Cartes 28 et 29

Les concentrations moyennes de benzène reconstituées sur une année ont varié entre 1,5 et 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les 9 points de mesures équipant le bâtiment.

Les niveaux de concentrations en benzène restent assez homogènes dans l'ensemble, à l'avant comme à l'arrière du bâtiment.

Si le capteur placé au niveau 0 en face avant n'est pas considéré, un léger gradient de concentrations est perceptible entre le niveau 1 et le niveau 7. Les niveaux de concentrations en benzène montrent alors un abaissement avec la hauteur (sur la face avant).

Photo 15



Photo 16



Bilan des résultats de mesures par tubes passifs

L'analyse des niveaux de dioxyde d'azote mesurés par tubes passifs permet de dresser une classification des sites les plus pollués qui représentent globalement l'ensemble des points de mesures situés en proximité immédiate des axes autoroutiers strasbourgeois (à 1m). Les teneurs alors mesurées sont largement supérieures à la valeur limite annuelle fixée pour 2008 et donc également celle fixée pour 2010. Ces dépassements de normes ne concernent pas uniquement les sites de mesures placés à 1m mais également un grand nombre de sites instrumentés à distance de l'autoroute : jusqu'à 150m de part et d'autre de l'autoroute, sur les transects instrumentés en milieu urbain, les teneurs moyennes annuelles en NO₂ dépassent la valeur limite 2010.

Une décroissance de l'ordre de 20% peut être évaluée sur la 1^{ère} dizaine de mètres (différentiel de concentrations à 1m et 10m) à l'exception des spécificités locales.

En référence au paragraphe traitant de la représentativité des périodes de prélèvements (qui conclue à une surestimation des niveaux de concentrations de dioxyde d'azote d'environ 3 à 4 µg/m³), une correction à la baisse des résultats de la campagne de 3,5 µg/m³ aurait limité la bande de dépassement de la valeur limite en milieu périurbain (transects de Vendenheim et de Souffelweyersheim) mais n'aurait pas influé sur les constats réalisés en milieu urbain

(pour la bande d'environ 150 m de part et d'autre des axes autoroutiers considérée dans le cadre de cette campagne).

A la différence du dioxyde d'azote, **les concentrations en benzène** les plus élevées ne sont pas systématiquement rencontrées en proximité immédiate de l'autoroute mais également à distance de celle-ci. Les teneurs mesurées sur les transects urbains strasbourgeois montrent une certaine homogénéité. A noter que la valeur limite benzène fixée pour 2010 n'est dépassée sur aucun site.

Les mesures réalisées à la verticale sur les façades avant et arrière du bâtiment de la DRE ne montrent pas de gradient de concentrations explicite pour le NO₂ et le benzène comme attendu, les niveaux restent homogènes à 1m comme à 20m du sol.

III.5. Résultats issus des camions laboratoires

L'exploitation des résultats de mesures de la campagne est réalisée en référence aux normes en vigueur ainsi qu'au regard des niveaux observés simultanément sur les stations fixes² :

- Strasbourg Clemenceau : station de proximité trafic ;
- Strasbourg Ouest : station périurbaine ;
- Strasbourg Est : station urbaine ;
- Nord-Est Alsace : station rurale.

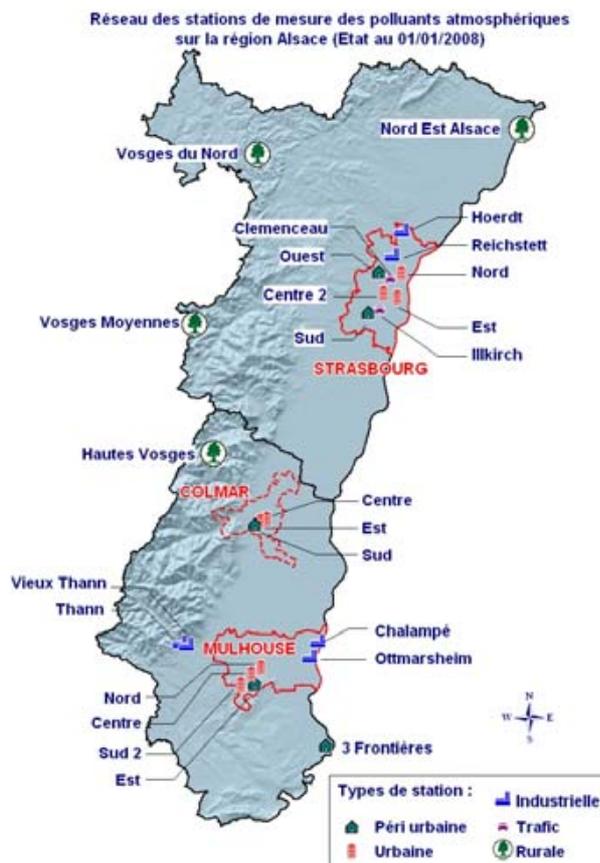
Typologie des stations

urbaine : représentative de la pollution de fond (à laquelle est soumise la majorité de la population) dans les centres urbains ;

périurbaine : représentative de la pollution de fond de la périphérie des centres urbains et de l'exposition maximale à la pollution « secondaire » (ozone) en zone habitée ;

rurale : représentative de la pollution de fond en zone rurale peu habitée ;

trafic : représentative de la pollution en proximité d'une infrastructure routière à forte circulation.



Carte 30

² Strasbourg Clemenceau : boulevard Clemenceau à Strasbourg ;

Strasbourg Ouest : rue de Madrid à Schiltigheim ;

Strasbourg Est : square de la ménagerie au Neudorf (Strasbourg) ;

Nord-Est Alsace : route du Rhin à Munchhausen.

➤ **Typologie du site de mesure**

Le chapitre « typologie du site de mesures » propose une analyse comparée globale sur l'ensemble de la campagne de mesures en vue de positionner les sites dans la typologie des stations.

Des éléments de caractérisation de la typologie des sites de mesures peuvent être obtenus à travers :

- l'analyse des profils journaliers moyens (moyenne des concentrations horaires sur la période de mesures pour chaque heure de la journée) des sites « camion laboratoire », pour le NO, le CO (indicateurs d'une pollution de proximité trafic) et le NO₂ (indicateur d'un fond de pollution sous influence du trafic routier) ;
- la comparaison de ces profils avec ceux établis pour les stations de référence précitées.

Toutes les heures sont rapportées en heures TU (en été : 8h TU = 10h légale ; en hiver : 8h TU = 9h légale)

Photos 17 et 18



Oxydes d'azote

✓ Le dioxyde d'azote

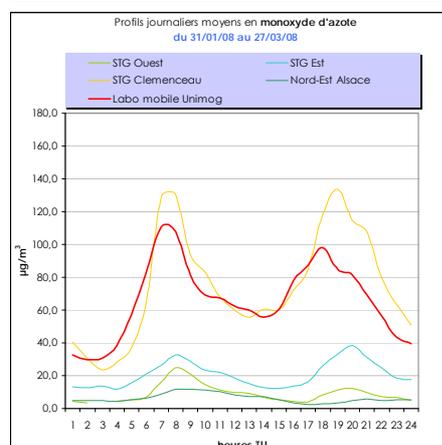
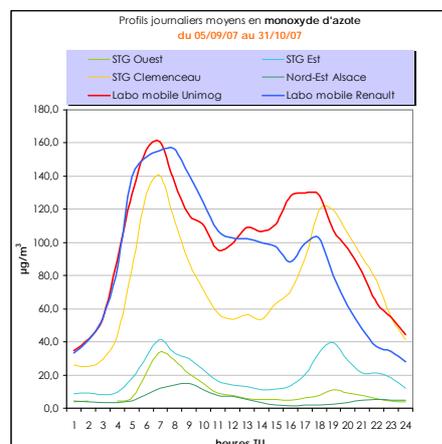
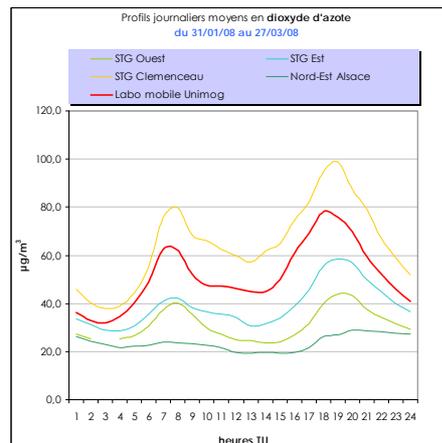
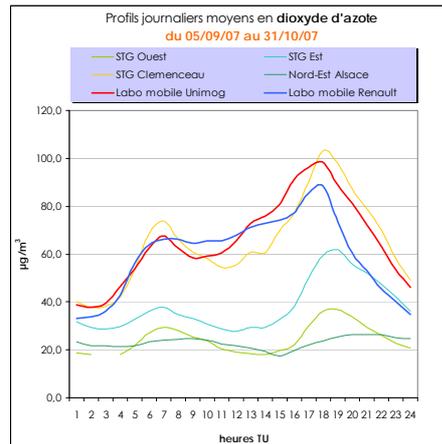
Les niveaux moyens en NO₂ observés le long de l'A35 à hauteur de Souffelweyersheim (Labo mobile Renault) et de la Porte de Schirmeck (Labo mobile Unimog) montrent :

- deux élévations caractéristiques à 6-8h TU le matin ainsi qu'à 17-19h TU en fin d'après-midi, correspondant aux heures d'intensification du trafic routier ainsi que de la stratification atmosphérique qui est la plus importante en fin de nuit ;
- une équivalence avec ceux observés sur la station de typologie trafic 'STG Clemenceau' (moins marquée en hiver).

✓ Le monoxyde d'azote

L'évolution horaire des profils pour le NO fait apparaître comme pour le dioxyde d'azote deux élévations en lien avec l'intensification du trafic routier à ces heures. Le pic du matin est le plus important et peut dépasser les 150 µg/m³ en moyenne à 7h TU comme constaté au cours de la phase automnale. Les niveaux de concentrations relevés en automne sont globalement supérieurs à ceux pouvant être mesurés en proximité trafic comme sur 'STG Clemenceau', tout du moins jusqu'à 18h TU. Dès lors, les niveaux chutent rapidement (comme constaté sur 'STG Clemenceau').

Illustrations 27 à 30



En hiver, les teneurs mesurées Porte de Schirmeck (Labo mobile Unimog) sont équivalentes à celles relevées en proximité trafic dans Strasbourg avec cependant des pics du matin et de l'après-midi moins marqués.

Particules

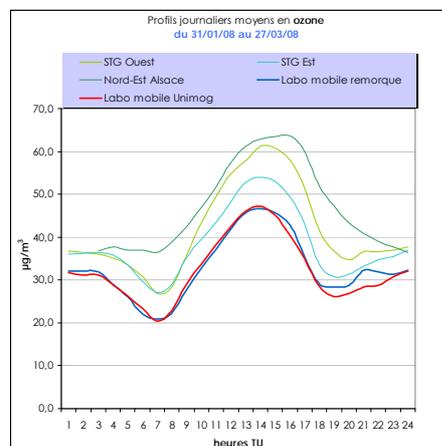
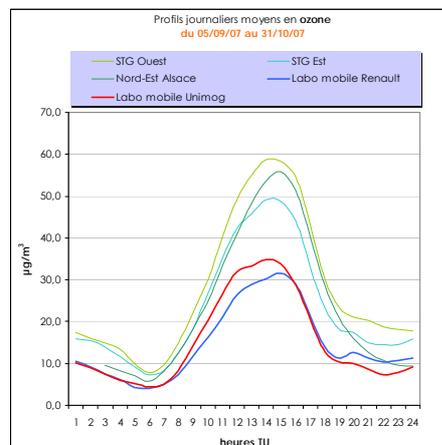
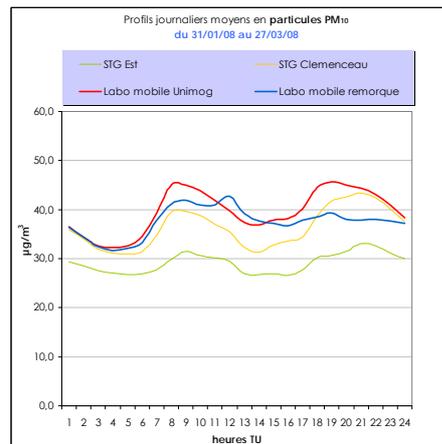
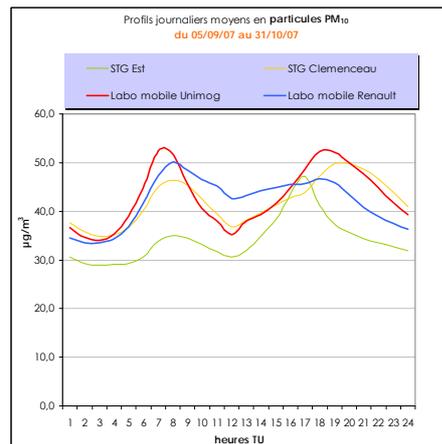
Comme pour les oxydes d'azote, l'évolution horaire des concentrations en particules PM10 montre deux élévations au cours de la journée (en automne principalement) avec des pics vers 8h et 18h TU. Au cours de la phase hivernale de mesure, ces deux pics sont moins marqués, les niveaux de concentrations étant globalement plus élevés tout au long de la journée en lien avec les émissions des installations de chauffage.

Le pic du soir est très nettement atténué voire absent au point de mesure de Souffelweyersheim (Labo mobile Renault/remorque) en hiver.

Les niveaux mesurés sur les deux sites camions sont globalement supérieurs à ceux observés sur Strasbourg Clemenceau.

Ozone

Le profil observé sur le camion laboratoire est légèrement inférieur aux profils constatés en milieu urbain et périurbain, illustrant la consommation de l'ozone par les oxydes d'azote en proximité routière.



Illustrations 31 à 34

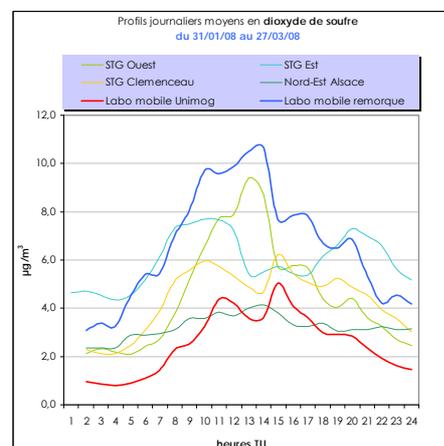
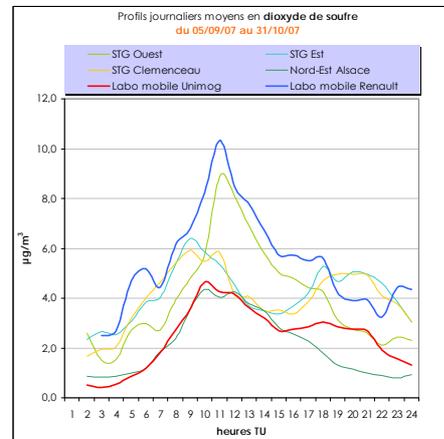
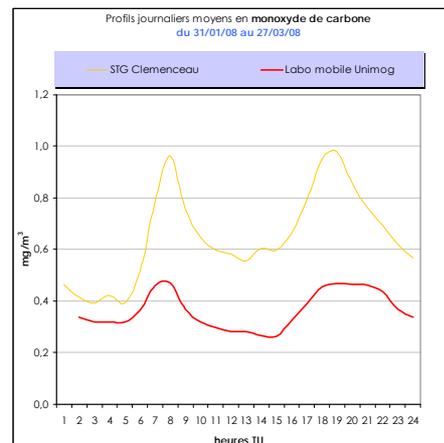
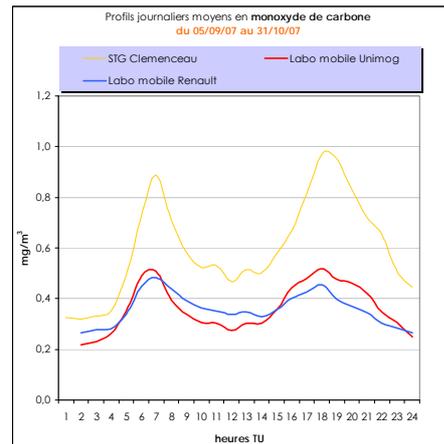
Monoxyde de carbone

L'intensité des pics de monoxyde de carbone correspondant aux heures d'élévation du trafic est moins marquée le long de l'A35 sur les deux sites camions qu'en proximité trafic à Strasbourg (illustrations 33 et 34). Ce point s'explique par le fait que :

- le CO provient de la combustion incomplète du carburant (utilisation moteur à bas régime) ;
- la circulation le long de l'A35/A351 est globalement plus fluide que sur les axes urbains de Strasbourg : un véhicule avec de bonnes conditions de circulation, avec des vitesses comprises entre 40 et 90 km/h, émet moins de polluants (notamment de CO), qu'un véhicule circulant en ville à bas régime à des vitesses inférieures à 40 km/h (cf. annexe 3 : influence de la vitesse de circulation sur les émissions). La configuration du bâti est aussi à prendre en compte : aux abords de l'A35/A351, celui-ci est moins dense qu'en centre urbain, favorisant la dispersion de ce polluant (meilleure ventilation).

Dioxyde de soufre

Les niveaux de dioxyde de soufre (SO₂) relevés sur les deux sites camions le long de l'A35 sont dans l'ordre de grandeur de ceux relevés sur des stations de fond urbaines et/ou rurales. Les niveaux sont plus élevés à Souffelweyersheim, situé à proximité de la zone d'influence de la raffinerie.



➤ Résultats issus du camion laboratoire en référence aux normes

Remarques concernant les données du camion laboratoire...

Au regard de la durée des périodes de mesures par camion laboratoire, l'ensemble des normes de qualité de l'air ne pourront servir de base de comparaison aux résultats enregistrés.

Seules les normes s'attachant à des périodes d'échantillonnage courtes (1h, 8h ou 24h) et concernant donc des phénomènes de pics de pollution plutôt que le fond permanent de pollution pourront être considérées.

Les normes prises en compte sont les suivantes :

De manière générale, la comparaison aux valeurs limites et objectifs annuels de qualité de l'air ne peut pas être réalisée à partir de périodes d'échantillonnage courtes.

Polluant	Source	Type de seuil	Valeur (µg/m ³)	Pas de temps
NO ₂	Décret du 15 février 2002	Niveau de recommandation	200	1h
		Niveau d'alerte	400	1h
PM ₁₀	Arrêtés préfectoraux 1997	Seuil d'information et de recommandation	80	24h
		Seuil de risque	125	24h
		Décret 15 février 2002	Valeur limite santé	50 ⁽¹⁾
CO	Décret 15 février 2002	Objectif de qualité	10 000	8h
	OMS 1996	Seuil de recommandation	30 000	1h

⁽¹⁾ percentile 90,4 journalier

Tableau 8

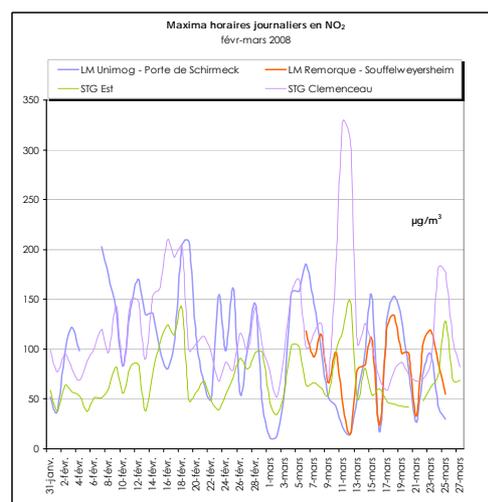
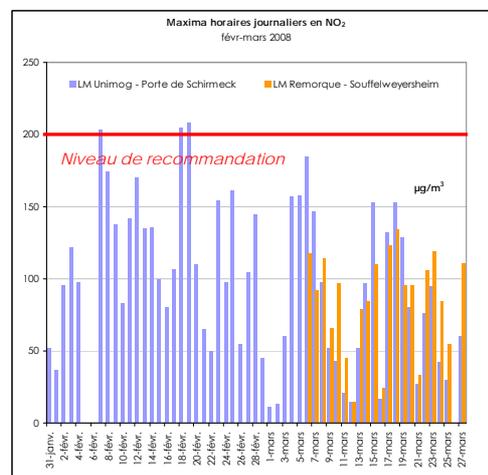
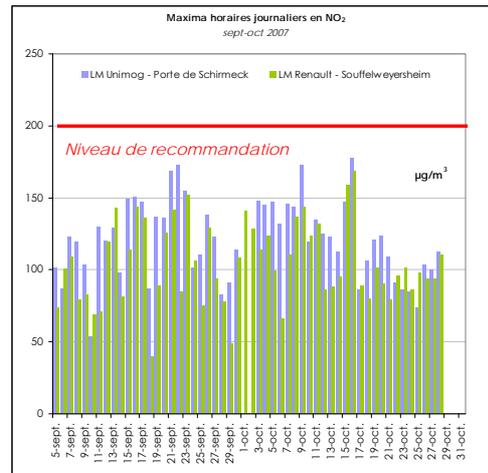
A noter que pour un percentile X, ne pas dépasser une valeur limite signifie que X% des jours (ou des heures pour un percentile horaire) ayant fait l'objet de mesures doivent présenter des valeurs journalières (ou horaires) inférieures à cette valeur limite.

Dioxyde d'azote

Entre septembre et octobre 2007, les maxima horaires enregistrés par les camions laboratoires sont compris entre 54 et 178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ relevés Porte de Schirmeck (LM Unimog) et entre 40 et 169 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à hauteur de Souffelweyersheim (LM Renault), inférieurs aux niveaux de recommandation et d'alerte (respectivement 200 et 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure).

Par contre, au cours de la phase hivernale le niveau de recommandation fixé à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure a été dépassé à 3 reprises Porte de Schirmeck, les 7, 18 et 19 février 2008 avec respectivement 203 (à 18h TU), 205 (à 18h TU) et 208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (à 20h TU).

Des dépassements ont également été observés sur la station trafic STG Clemenceau (niveau de recommandation) sur la même période mais qui concernaient des journées différentes.



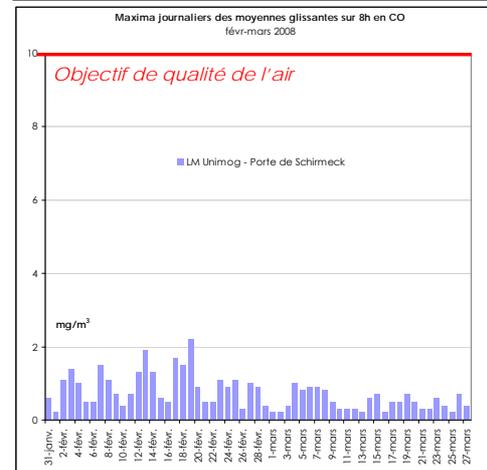
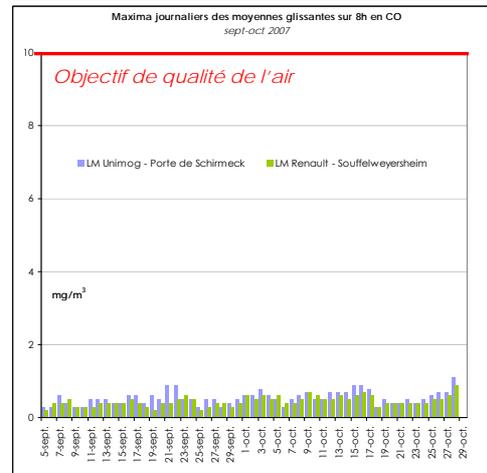
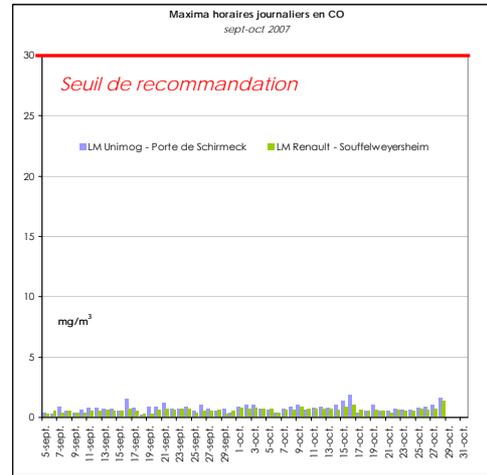
Illustrations 39 à 41

Monoxyde de carbone

Au cours de la campagne, les niveaux de monoxyde de carbone sont restés faibles.

Les concentrations mesurées sur les sites des camions laboratoires sont très largement inférieures aux seuils de recommandation de l'OMS et de l'objectif français de qualité de l'air.

Ce constat est cohérent avec l'ensemble des résultats relevés sur le réseau fixe de mesure ASPA en proximité automobile (à Strasbourg comme à Mulhouse), sur lequel aucune norme de qualité de l'air pour le CO n'a été dépassée au cours des dernières années.



Illustrations 42 à 45

Particules fines

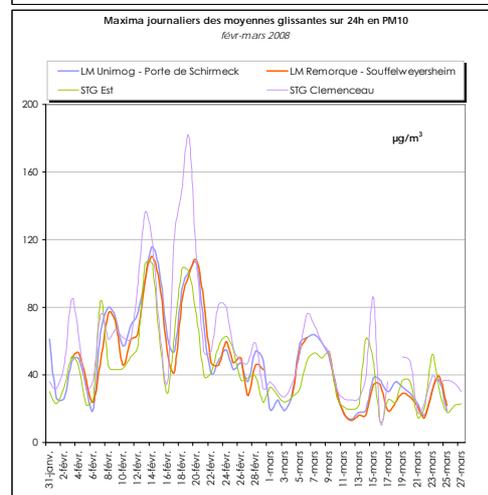
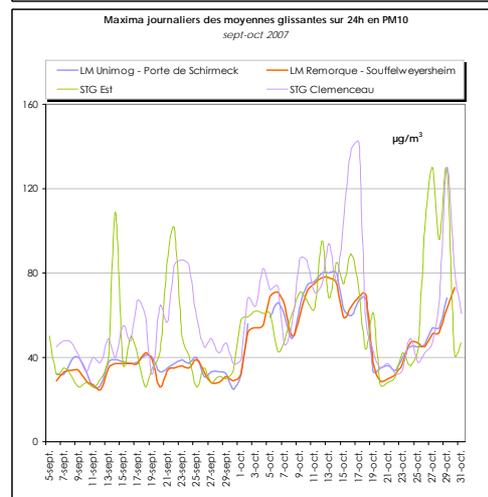
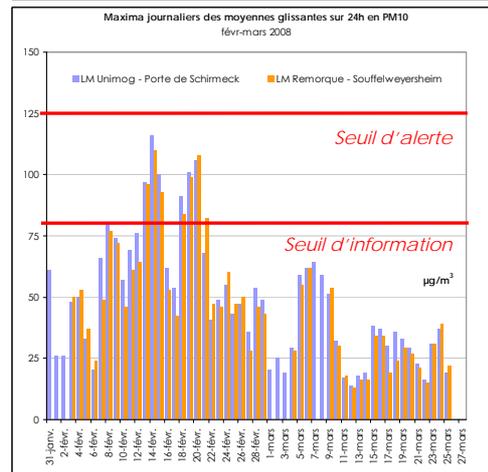
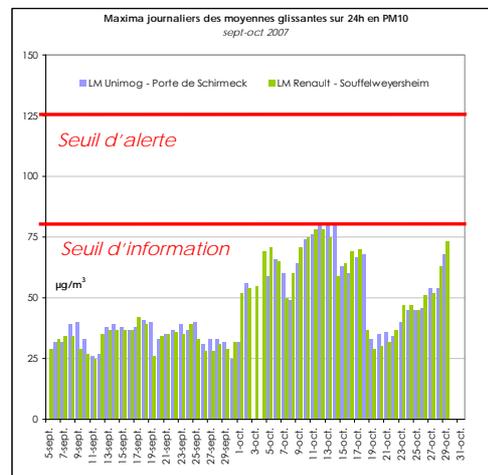
Les niveaux de particules mesurés le long de l'A35 sur Strasbourg ont été importants durant les deux phases de mesures. Les concentrations moyennes sur 24 heures glissantes observées Porte de Schirmeck ont fluctué respectivement entre 25 et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ courant septembre-octobre et entre 14 et 116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ courant février-mars. Parallèlement, à hauteur de Souffelweyersheim, les teneurs ont varié respectivement entre 25 et 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et entre 13 et 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La phase automnale de mesures présente trois dépassements du niveau de recommandation (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 24 heures = moyenne sur les 24 dernières heures de prélèvement) à hauteur de la Porte de Schirmeck entre le 12 et le 14 octobre 2007.

Des dépassements réguliers ont également été constatés courant février sur les deux sites camions (7 dépassements journaliers sur chacun des deux sites) sans jamais dépasser le niveau d'alerte fixé à 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 24 heures.

Ces pics de particules localisés le long de l'A35 sont dans la plupart du temps corrélés avec une élévation de la pollution particulaire sur Strasbourg, en lien avec des conditions climatiques locales défavorables à la dispersion des particules.

Illustrations 46 à 49



Est également fixée par le décret du 22 février 2002 une valeur limite pour la santé, exprimée en un percentile 90,4 journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser.

Cette valeur est dépassée sur les deux sites de mesures « camions » en automne comme en hiver :

Percentile 90,4 journalier	Site Bischheim-Souffelweyersheim	Site Porte de Schirmeck
<i>sur la période de mesure automnale</i>	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<i>sur la période de mesure hivernale</i>	73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tableau 9

Bilan des résultats de mesures par laboratoires mobiles

- *L'analyse des profils journaliers moyens* des moyennes journalières et des maxima horaires journaliers traduit l'influence de l'autoroute sur les taux de pollution enregistrés : pour les polluants primaires tels que les oxydes d'azote ou les particules, les profils ainsi que les niveaux de concentrations observés le long de l'A35 sont caractéristiques d'un site trafic tel que STG Clemenceau. Une différence avec cette dernière concerne le monoxyde de carbone (CO) présent dans des concentrations moindres en proximité autoroutière, expliquée par des vitesses de circulation plus élevées que boulevard Clemenceau. Les profils en ozone le long de l'autoroute, inférieurs aux niveaux urbains strasbourgeois, illustrent la consommation de l'ozone par les oxydes d'azote en proximité routière.

- Les niveaux de pollution enregistrés par les camions laboratoires font apparaître des **dépassements de normes** pour le NO₂ et les particules essentiellement en hiver :

- ✓ Dépassements du niveau de recommandation pour le NO₂ (200 µg/m³ sur 1h) à 3 reprises sur le camion laboratoire Unimog (Porte de Schirmeck) entre le 7 et le 19 février 2008 ;

- ✓ Dépassements du seuil d'information (80 µg/m³ sur 24h) à 3 reprises sur le site de la Porte de Schirmeck entre le 12 et le 14 octobre ainsi qu'à 7 reprises sur chacun des deux sites camions courant février 2008 (la plupart du temps corrélés avec une élévation de la pollution particulaire sur Strasbourg) ;

- ✓ Dépassements probables de la valeur limite pour la santé (P90,4 journalier) sur les deux sites « camions ».

IV. CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

IV.1. Analyse des données des tubes à diffusion et fondements des cartographies mises en place

La mise en place de cartographies de pollution atmosphérique à l'aide de méthodes géostatistiques intégrant des variables auxiliaires nécessite la mise en œuvre de plusieurs étapes :

- ✓ Une analyse statistique élémentaire des résultats des tubes à diffusion passive ;
- ✓ Une expertise de la corrélation de ces résultats avec les variables auxiliaires ;
- ✓ Une analyse variographique ;
- ✓ Et enfin la mise en place des cartes.

Afin de ne pas surcharger le rapport avec des éléments méthodologiques complexes, le lecteur est invité à prendre connaissance du détail de ces étapes dans le rapport référencé Géovariances / E/0808/7232/1-2 que l'ASPA tient à disposition.

Dans l'interprétation des résultats suivants, il convient de garder à l'esprit la surestimation des concentrations constatées liée aux périodes de prélèvement considérées.

IV.2. Résultats pour le dioxyde d'azote

➤ Carte des niveaux de concentrations

Les résultats cartographiques illustrent très nettement l'impact des principaux axes autoroutiers et routiers (carte 31).



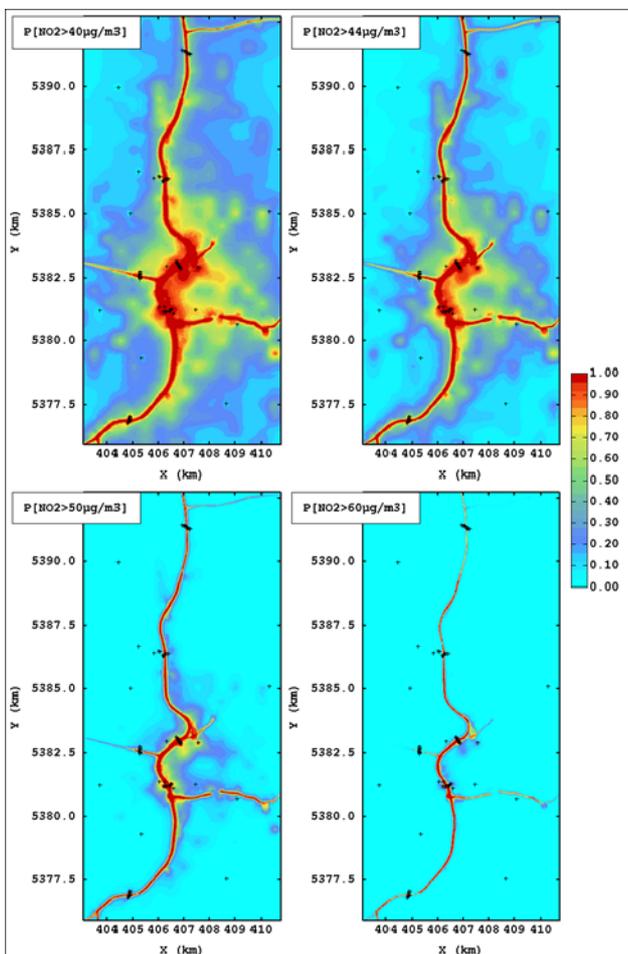
Carte 31 : concentrations en NO₂ issues de la campagne de mesures

La valeur limite 2010 est largement dépassée en proximité de ces axes mais également sur une large partie de l'hypercentre urbain de Strasbourg.

➤ Exposition potentielle des populations

Il est possible d'estimer par espérance conditionnelle le risque de dépassement des différents objectifs de qualité et valeurs limites annuelles pour le NO₂.

On constate qu'à proximité de l'autoroute et de la route du Rhin, la probabilité de dépassement de seuil reste très élevée, même si l'on considère le seuil de 60 µg/m³ qui était la valeur limite applicable en 2000.



Cartes 32 à 35 : probabilité de dépassement des valeurs limites pour le calcul de l'exposition potentielle de la population

En effet, toutes les simulations réalisées illustrent un dépassement de la valeur limite en proximité immédiate de l'autoroute.

Les populations exposées à des dépassements de valeurs limites sont les suivantes (en considérant la moyenne de toutes les simulations conditionnelles mises en œuvre et en nombre d'habitants) :

En nb d'habitants	40 µg/m ³ (VL 2010)	44 µg/m ³ (VL 2008)	60 µg/m ³ (VL 2000)
250 m de part et d'autre des axes <i>Pop totale = 22 000</i>	17 000	13 000	2000
500 m de part et d'autre des axes <i>Pop totale = 75 000</i>	52 000	37 000	2000
Zone complète <i>Pop totale = 380 000</i>	164 000	95 000	2000

En % des habitants	40 µg/m ³ (VL 2010)	44 µg/m ³ (VL 2008)	60 µg/m ³ (VL 2000)
250 m de part et d'autre des axes	77%	61%	8%
500 m de part et d'autre des axes	68%	49%	3%
Zone complète	43%	25%	1%

Tableaux 10 et 11

Au bilan, 77% de la population d'une bande de 250 m de part et d'autre des principaux axes sont potentiellement exposés à un dépassement de la valeur limite 2010. Ce pourcentage est de 43% en considérant la zone d'étude complète.

➤ **Distances d'influence des principaux axes**

Les cartes de qualité de l'air mises en place permettent de visualiser simplement les zones d'impact des axes autoroutiers et de la route du Rhin sur les dépassements de la valeur limite 2010 pour le dioxyde d'azote.

Cette zone d'influence est de l'ordre :

- ✓ D'une centaine de mètres de part et d'autre de l'axe autoroutier au niveau de Vendenheim ;
- ✓ De 200 à 350 m de part et d'autre de cet axe en s'approchant du centre urbain (Souffelweyersheim puis Hoenheim, Bischheim et Schiltigheim) ;
- ✓ Difficile à quantifier en milieu urbain, la pollution de fond urbain étant sur la période de prélèvement de la campagne de mesures déjà en partie supérieure à la valeur limite ;
- ✓ D'environ de 200 à 400 m de part et d'autre de l'axe autoroutier dans le Sud de l'agglomération (Illkirch).



Carte 36 : extension de la zone de dépassement de la valeur limite 2010

IV.3. Résultats pour le benzène

➤ Carte des niveaux de concentrations

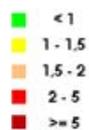
Les résultats cartographiques illustrent, comme pour le dioxyde d'azote, l'impact des principaux axes autoroutiers et routiers. Le contraste entre axes autoroutiers et milieu urbain dense est toutefois moins marqué, en raison des émissions de benzène des véhicules circulant à vitesse réduite sur les axes urbains.

Comme précisé dans l'exploitation des résultats de la campagne de mesure, il n'apparaît aucun dépassement de la valeur limite européenne 2010 ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En revanche, l'objectif national de qualité de l'air ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est dépassé à proximité immédiate de l'autoroute, de la route du Rhin et dans quelques zones urbaines.



Carte 37
concentrations en benzène issues de la campagne de mesures

Concentration de benzène
en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
été 2007 - hiver 2008



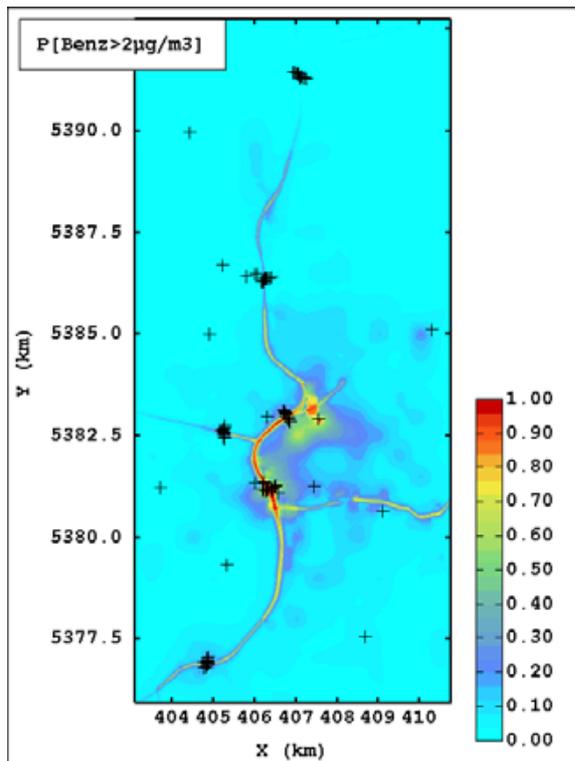
BDTOPO ©IGN 2000
Géovariance : données Isatis

➤ Exposition potentielle des populations

Il n'y a donc pas de population potentiellement exposée à un dépassement de valeur limite.

Il est toutefois possible d'estimer par espérance conditionnelle le risque de dépassement de l'objectif de qualité de l'air pour le benzène.

On constate qu'à proximité de l'autoroute la probabilité de dépassement de seuil est élevée.



Carte 38 : probabilité de dépassement de l'objectif de qualité de l'air pour le calcul de l'exposition potentielle de la population

Les populations exposées à des dépassements de l'objectif de qualité de l'air sont les suivantes (en considérant la moyenne de toutes les simulations conditionnelles mises en œuvre) :

En nb d'habitants	2 µg/m ³ (Obj QA)
250 m de part et d'autre des axes <i>Pop totale = 22 000</i>	4 000
500 m de part et d'autre des axes <i>Pop totale = 75 000</i>	10 000
Zone complète <i>Pop totale = 380 000</i>	25 000

En % des habitants	2 µg/m ³ (Obj QA)
250 m de part et d'autre des axes	18%
500 m de part et d'autre des axes	13%
Zone complète	7%

Tableaux 12 et 13

Au bilan, 18% de la population d'une bande de 250 m de part et d'autre des principaux axes sont potentiellement exposés à un dépassement de l'objectif de qualité de l'air. Ce pourcentage est de 7% en considérant la zone d'étude complète.

V. SIMULATIONS GAUSSIENNES DE LA QUALITE DE L'AIR POUR L'ANNEE 2007

V.1. Données d'entrée retenues

➤ Sources d'émissions

Deux types de données sont spécifiés dans le modèle :

- ✓ Les grands axes de circulation (A35, A4, A350, A351, N83 et N4). Leurs rejets sont calculés en utilisant la méthodologie européenne de calcul des émissions routières COPERT IV à partir des données de trafic fournies par la DDE.
- ✓ Les sources routières restantes sont introduites de manière agrégée sous la forme d'un cadastre maillé à 250m.

Des profils temporels spécifiques du secteur routier sont appliqués à ces données.



Carte 39 : tronçons routiers pris en compte dans les simulations et cadastre des émissions

➤ **Sources météorologiques et de pollution de fond**

Les données météorologiques introduites dans le modèle proviennent de la station de METEO France située à Entzheim et correspondent à l'année 2007. Elles sont fournies avec un pas de temps horaire.

Les stations STG Nord et STG Ouest du réseau de mesures de l'ASPA permettent de définir une pollution de fond pour l'année 2007.

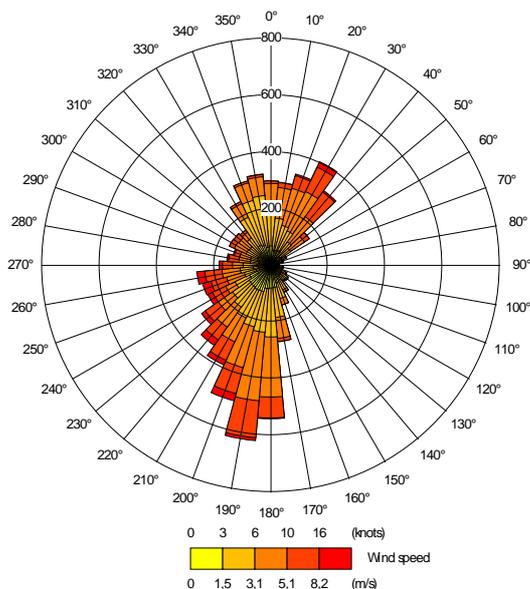


Illustration 50 : rose des vents intégrée dans la simulation

V.2. Simulations mises en œuvre

L'impact des autoroutes et de la Route du Rhin sur la qualité de l'air de la CUS a été simulé pour 3 polluants :

- ✓ Le benzène
- ✓ Le dioxyde d'azote
- ✓ Les particules

Pour chacun de ces polluants, une comparaison entre les données modélisées et les mesures provenant des stations ASPA et de la campagne autoroutière a été réalisée.

Deux points de mesures de la campagne autoroutière ont été retirés de l'échantillon de comparaison en raison de leurs caractéristiques trop particulières :

- ✓ T6_0m : ce point est situé entre la chaussée de l'A35 et le mur antibruit (surconcentration importante liée au mur qui limite fortement la dispersion) ;
- ✓ T5_0m : ce point est situé sous l'autoroute (tunnel).

Dans un second temps une évaluation de la population exposée à des dépassements de valeurs normatives est effectuée.

V.3. Résultats pour le dioxyde d'azote

➤ Comparaison mesures / modèle

Durant la campagne de mesure, 83 sites de mesures (dont T6_0m et T5_0m) ont été équipés avec des tubes passifs NO₂. La comparaison mesure/ modèle se fait donc sur 81 points.

L'incertitude moyenne entre la mesure et la simulation est de 14%. La directive européenne présente un objectif à atteindre en termes d'incertitude de 30% pour le dioxyde d'azote en moyenne annuelle. 6 points de l'échantillon de comparaison ne répondent pas aux critères de la norme. Ces 6 points sont situés soit à 1m de la chaussée, soit sur le transect 3 et par conséquent ils rentrent dans les limites de la modélisation. Le biais moyen de -7,4 µg/m³ montre que le modèle a tendance à sous-estimer la mesure en NO₂. La corrélation mesure/modèle est de 0,84.

Pour s'affranchir des limites de la modélisation, la comparaison mesure/modèle est également effectuée en enlevant les points situés à 1m de la route et le point T2E_10m situé à proximité de la voie d'accès à l'autoroute. Pour cet échantillon de 68 points, l'incertitude moyenne est de 13%. 2 points situés sur le transect 3 en proximité de la rue Georges Wodli ne répondent pas aux critères européens.

Le biais moyen passe à -6,2 µg/m³ dénotant une légère sous-estimation du modèle et la corrélation est de 0,87.

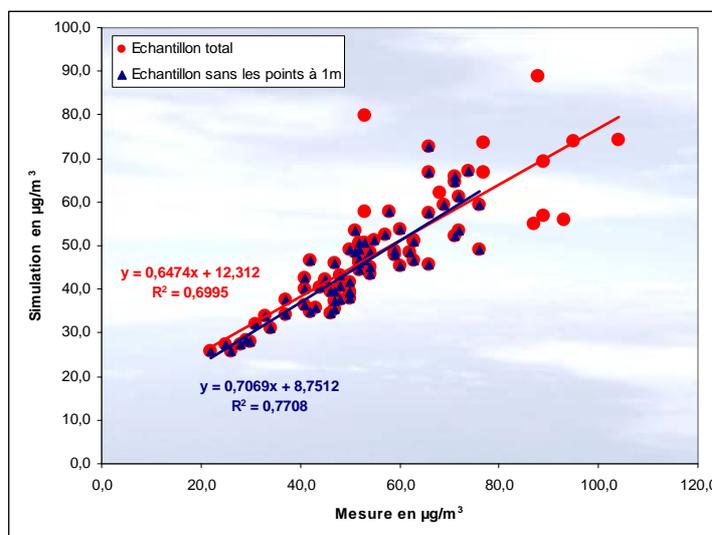
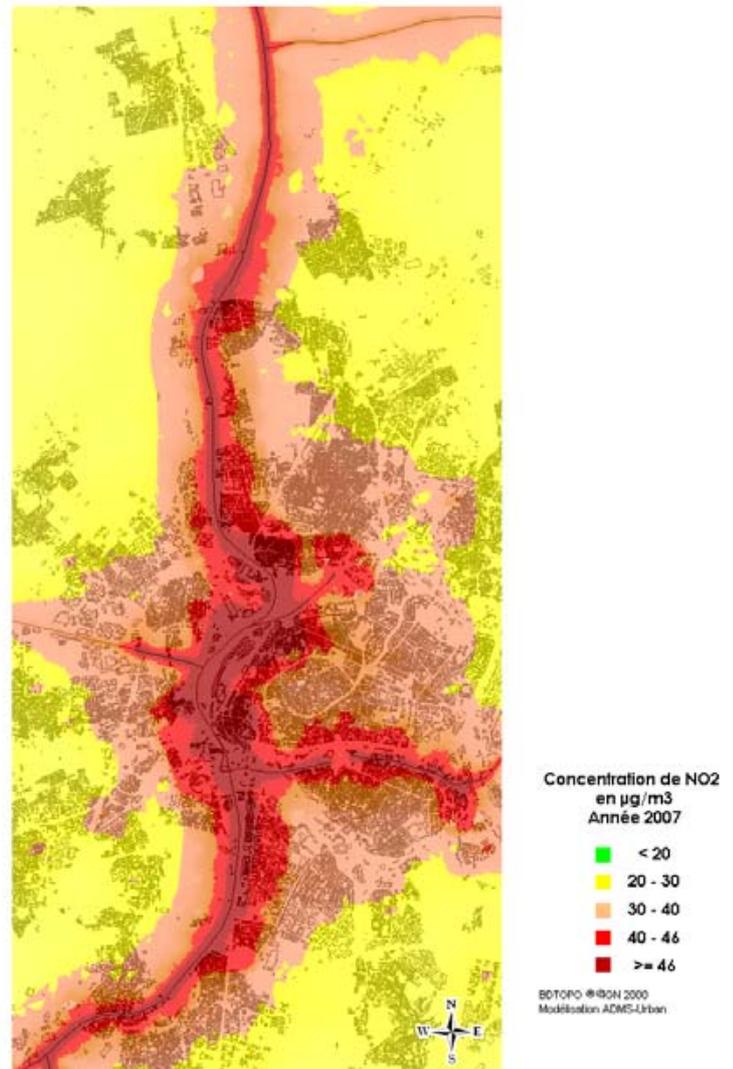


Illustration 51 : comparaison mesures / modèle pour le dioxyde d'azote

➤ **Dépassements de normes et exposition de la population**

L'objectif de qualité de l'air et la valeur limite 2010 en dioxyde d'azote de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont dépassés sur 16% de la zone.

Environ 70 000 personnes sont exposées à ce dépassement soit 18% de la population totale de la zone. Ces dépassements touchent la population située le long des principaux axes de circulation dans un périmètre de 400m à 1km de part et d'autre des routes et dans certains quartiers de Strasbourg (Wacken, Plaine des Bouchers, Neudorf, Montagne Verte et de la place de Haguenau à l'Elsau) et de Schiltigheim.



Carte 40 : concentrations en NO₂ issues de la simulation

➤ Distances d'influence des principaux axes

Comme pour les résultats issus de la campagne de mesure, les cartes de qualité de l'air mises en place permettent de visualiser simplement les zones d'impact des axes autoroutiers et de la route du Rhin sur les dépassements de la valeur limite 2010 pour le dioxyde d'azote.

Les constats sont cohérents avec les résultats issus de la campagne de mesures et exploités à l'aide de méthodes géostatistiques. La zone d'influence est toutefois légèrement moindre (ainsi que la zone de dépassement en centre ville de Strasbourg), toujours en lien avec les périodes de prélèvements de la campagne de mesures qui ont eu tendance à surestimer les concentrations en NO₂ et les cartes de qualité de l'air induites.



Carte 41 : extension de la zone de dépassement de la valeur limite 2010

V.4. Résultats pour le benzène

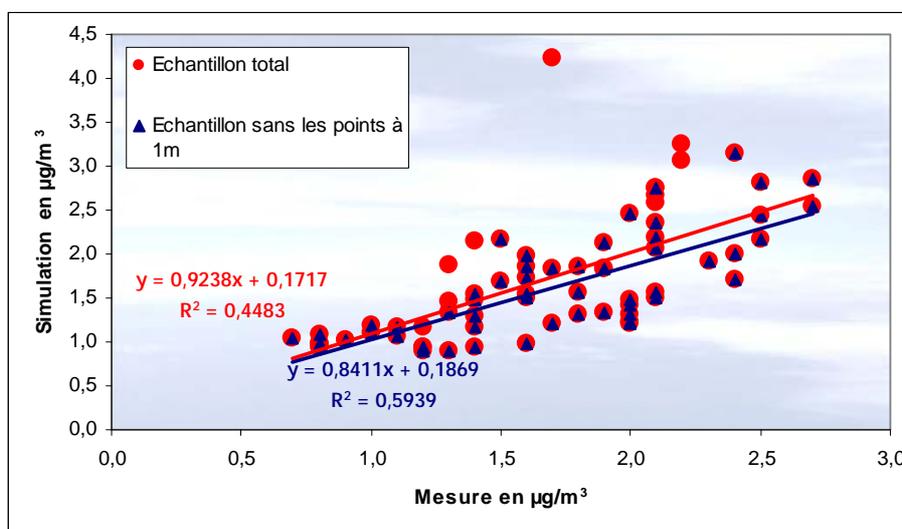
➤ Comparaison mesures / modèle

Durant la campagne de mesure, 70 sites de mesures (dont T6_0m et T5_0m) ont été équipés avec des tubes passifs BTX. La comparaison mesure/ modèle se fait donc sur 68 points.

L'incertitude moyenne entre la mesure et la simulation est de 22%. La directive européenne présente un objectif à atteindre en termes d'incertitude de 50% pour le benzène en moyenne annuelle. 2 points de l'échantillon de comparaison ne répondent pas aux critères de la norme. Ces 2 points sont situés à 1m de la chaussée et rentrent dans les limites de la modélisation. Le biais moyen de 0,04 µg/m³ montre que le modèle a tendance à légèrement surestimer la mesure en benzène. La corrélation mesure/modèle est de 0,67.

Pour s'affranchir des limites de la modélisation, la comparaison mesure/modèle est également effectuée en enlevant les points situés à 1m de la route et le point T2E_10m situé à proximité de la voie d'accès à l'autoroute. Pour cet échantillon de 57 points, l'incertitude moyenne est de 19% (tous les points répondent aux critères européens), le biais moyen passe à -0,08 µg/m³ dénotant une légère sous-estimation du modèle et la corrélation est de 0,77.

Illustration 52 : comparaison mesures / modèle pour le benzène

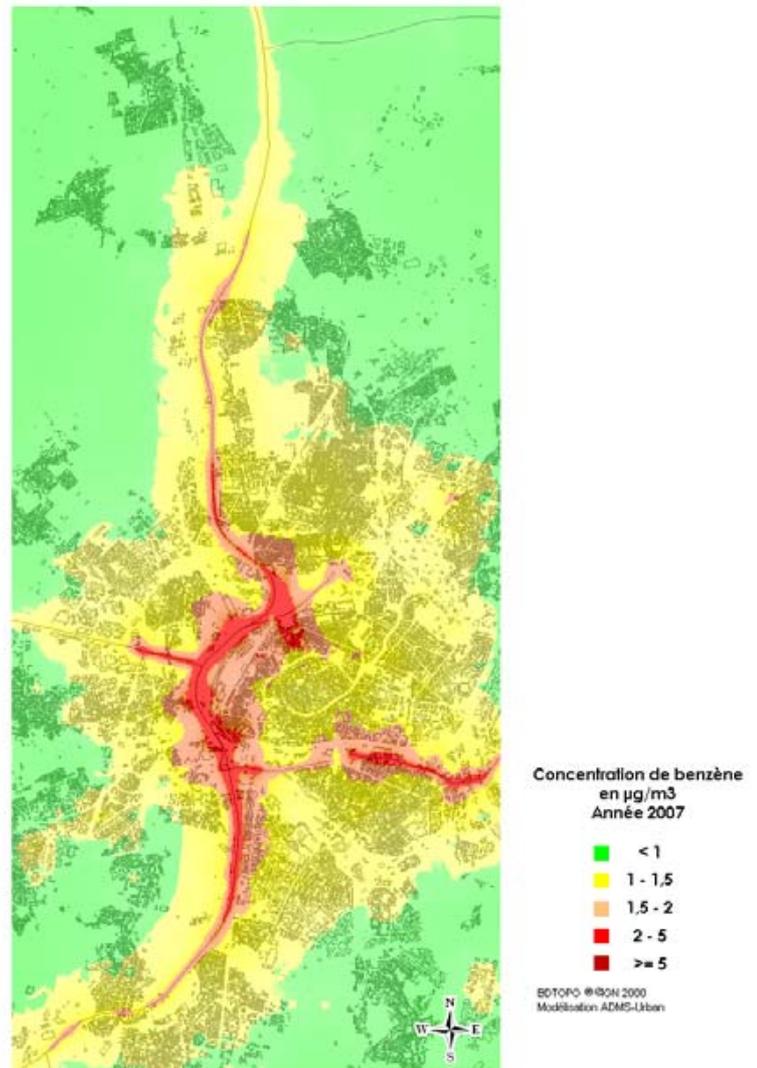


➤ **Dépassements de normes et exposition de la population**

L'objectif de qualité de l'air en benzène de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassé sur 2% de la zone. Ces dépassements sont simulés en grande partie le long de l'A4 et de l'A35 (de la sortie Bischheim à la sortie Baggersee), aux abords de la place de Haguenau, sur l'A351 et sur la route du Rhin.

Environ 5 000 personnes sont exposées à ce dépassement soit 1,4% de la population totale de la zone. Elles se situent principalement aux abords de la Place de Haguenau le long de l'A35 à hauteur de la Montagne Verte et de l'Elsau.

La zone d'étude ne présente pas de dépassement de la valeur limite de qualité de l'air en benzène de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Carte 42 : concentrations en benzène issues de la simulation

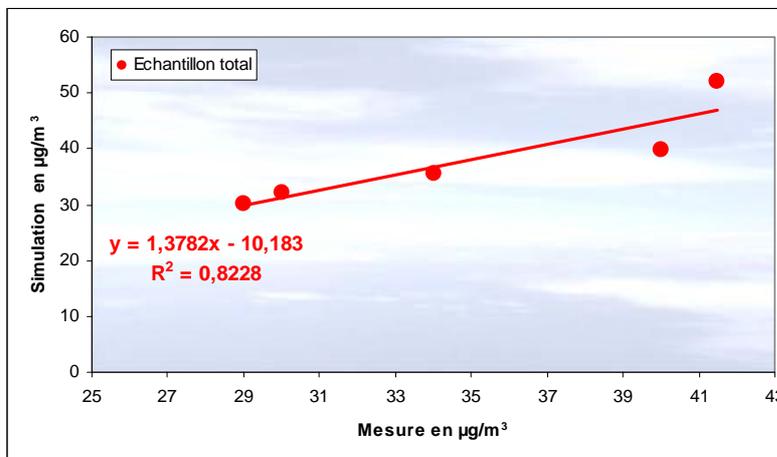
V.5. Résultats pour les particules

➤ Comparaison mesures / modèle

Durant la campagne de mesure, des mesures de PM10 ont été effectués sur 2 sites de mesures à partir de camions laboratoires. La comparaison mesure/modèle se fait sur 5 points : les 2 sites de mesures et 3 stations de mesures de l'ASPA (STG Clemenceau, STG Nord et STG Est).

L'incertitude moyenne entre la mesure et la simulation est de 8%. La directive européenne présente un objectif à atteindre en termes d'incertitude de 50% pour les PM10 en moyenne annuelle. Tous les points de l'échantillon de comparaison répondent aux critères de la norme. Le biais moyen de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ montre que le modèle a tendance à légèrement surestimé la mesure en PM10. La corrélation mesure/modèle est de 0,91.

Illustration 53 : comparaisons mesures / modèle pour les particules PM10



➤ **Dépassements de normes et exposition de la population**

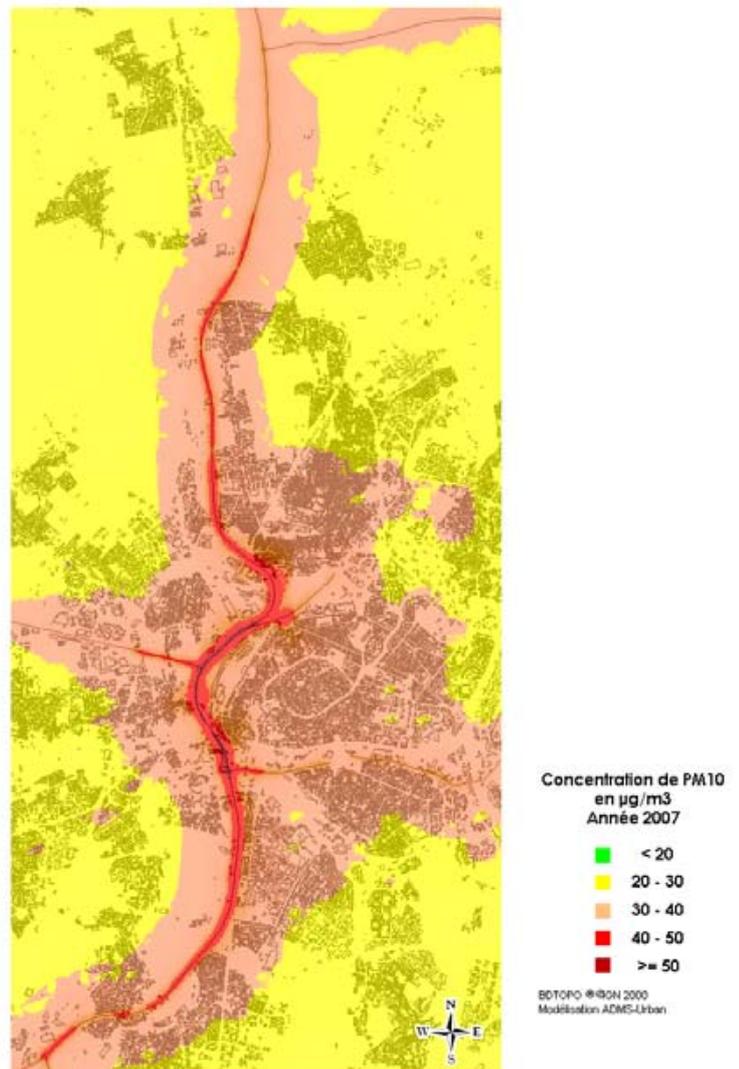
L'objectif de qualité de l'air en PM10 de 30 µg/m³ est dépassé sur 41% de la zone. La majeure partie de la zone urbanisée de Strasbourg est touchée par ce dépassement.

Environ 233 000 personnes sont exposées à ce dépassement soit 60% de la population totale de la zone.

Environ 2% de la zone d'étude présente un dépassement de la valeur limite 2005 (conservée en 2010) de qualité de l'air de 40 µg/m³. Ces dépassements sont cantonnés aux abords des principaux axes de circulation.

Environ 2 200 personnes sont exposées à ce dépassement soit 0,6% de la population totale de la zone. Ces personnes habitent à proximité de l'A35 entre les sorties place de Haguenau et Montagne Verte.

A noter que les simulations réalisées ne permettent pas de comparaison avec la valeur limite journalière qui présente des dépassements fréquents sur le réseau de stations fixes, y-compris en fond urbain.



Carte 43 : concentrations en PM10 issues de la simulation

V.5. Sensibilité des résultats aux émissions

Afin de tester la robustesse des résultats au regard de l'évaluation des émissions polluantes, des tests ont été mis en œuvre en faisant varier les rejets sur les axes routiers de + ou – 10%.

Les résultats de cette étude de sensibilité aux émissions en termes de superficie et de population exposée à des dépassements de norme de qualité de l'air sont les suivants :

- ✓ Pour le **NO₂** :
 - **Surface** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite 2010 : **13 à 19%**
 - **Population** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite 2010 : **13 à 23%**
- ✓ Pour le **benzène** :
 - **Surface** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite 2010 : **0%**
 - **Population** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite 2010 : **0%**
- ✓ Pour les **particules PM10** :
 - **Surface** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite annuelle 2010 : **2 à 3%**
 - **Population** de la zone soumise à un dépassement de la valeur limite annuelle 2010 : **0 à 1%**

Les résultats font donc apparaître qu'une variation modérée des niveaux d'émissions pour les oxydes d'azote influe de manière importante sur la population potentiellement exposée à un dépassement de valeur limite pour le dioxyde d'azote.

Les variations sont nulles (pour le benzène au regard des niveaux faibles par rapport à la valeur limite) à modérées pour les particules.

VI. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

VI.1. Synthèse

➤ Résultats de la campagne de mesures

Des tubes passifs ont été instrumentés dans une bande d'étude d'environ 300 m de large centrée sur l'autoroute. Ils ont permis une analyse spatiale des niveaux de pollution :

- ✓ Pour le dioxyde d'azote, toute la bande d'étude est concernée par des dépassements de la valeur limite 2010 en milieu urbain voire périurbain. En milieu rural, l'influence de l'axe autoroutier induit des dépassements de cette valeur limite jusqu'à une distance de quelques dizaines à cent mètres (suivant les conditions météorologiques, direction du vent en particulier) ;
- ✓ Pour le benzène, la valeur limite 2010 n'est jamais dépassée. L'objectif national de qualité de l'air, moins contraignant en termes d'obligation de gestion est en revanche dépassé en milieu urbain dense mais avec une influence moindre de l'autoroute.

Les camions laboratoires mis en place durant la campagne de mesures ont permis d'approcher la répartition temporelle de la pollution en proximité autoroutière :

- ✓ Les sites de Souffelweyersheim et de la porte de Schirmeck présentent une typologie trafic marquée avec des niveaux de pollution représentatifs du trafic pendulaire (aux heures de pointes). Les niveaux de pollution sont parfois supérieurs à ceux relevés sur la station Strasbourg Clemenceau située en milieu urbain dense.
- ✓ Les camions laboratoires ont présenté pour le dioxyde d'azote et les particules des dépassements des seuils d'information et de recommandation de la population.

➤ **Résultats de l'exploitation cartographique des résultats de la campagne de mesures**

Les cartes de qualité de l'air bâties à partir de méthodes géostatistiques (représentatives de la période de prélèvement qui surestime les niveaux de dioxyde d'azote) font apparaître :

- ✓ Des dépassements de la valeur limite 2010 en NO₂ sur une large bande autour de l'autoroute et de la route du Rhin (100 à plusieurs centaines de mètres de part et d'autre de ces axes) ainsi que sur une partie importante de l'hyper-centre urbain. Au bilan dans ces zones, environ 164 000 personnes (soit 43% de la population de la zone d'étude) sont potentiellement soumises pendant la période de la campagne de mesures à un dépassement de cette valeur limite. *A noter qu'il est précisé précédemment que les résultats de la campagne et donc des cartes induites sont surestimés d'environ 3 à 4 µg/m³ par rapport à une période de prélèvement représentative d'une moyenne annuelle. En tenant compte de cette surestimation et en la compensant, la population potentiellement exposée serait ramenée à environ 95 000 personnes (25%).*
- ✓ La confirmation de l'absence de dépassement de la valeur limite 2010 pour le benzène.

➤ **Résultats des simulations gaussiennes de qualité de l'air**

Les simulations gaussiennes permettant d'appréhender la dispersion des « panaches » de pollution des principaux axes autoroutiers et routiers pour l'année de référence 2007 font apparaître :

- ✓ Des dépassements de la valeur limite 2010 en NO₂ sur une large bande autour de l'autoroute et de la route du Rhin (environ 100 à quelques centaines de mètres de part et d'autre de ces axes). Au bilan dans ces zones, environ 70 000 personnes (soit 18% de la population de la zone d'étude) sont potentiellement soumises en 2007 à un dépassement de cette valeur limite.
- ✓ La confirmation de l'absence de dépassement de la valeur limite 2010 pour le benzène.
- ✓ Des dépassements de la valeur limite annuelle pour les particules, à proximité de l'autoroute et concernant 2 000 personnes (soit 0,6% de la population). A noter que les résultats de la campagne illustrent le fait que la valeur limite journalière sera également dépassée, résultat confirmé par les stations fixes qui présentent des dépassements en milieu urbain de fond.

VI.2. Conclusions et perspectives

Au bilan des niveaux constatés et simulés, la zone du PPA présente des niveaux de pollution importants à très importants (larges dépassements de valeurs limites) dans une zone large de 100 à quelques centaines de mètres des axes autoroutiers et de la route du Rhin). Ces dépassements peuvent aussi s'étendre sur le centre urbain en fonction des niveaux de rejets et des conditions climatiques (variabilité annuelle). *A noter que l'impact du mur antibruit d'Ostwald qui concentre fortement les polluants sur l'axe autoroutier et semble uniformiser les niveaux de part et d'autre du mur mériterait une étude complémentaire.*

Ces niveaux proviennent d'une part de l'axe autoroutier et des principaux axes routiers de la zone mais également de l'ensemble des sources de pollution (sources résidentielles, industrielles, etc...) présentes sur la zone d'étude. A titre d'information, les axes autoroutiers, la RD1083 et la Route du Rhin représentent respectivement 43% et 45% des émissions de PM10 et de NO_x du trafic routier sur la CUS. En outre, les émissions cumulées de l'industrie, des sources résidentielles/tertiaire, des autres transports et de l'agriculture représentent sur la zone respectivement 57 et 41% des rejets totaux de PM10 et de NO_x. Les principaux axes de circulation ne constituent donc qu'une partie (certes importante) des enjeux en termes de réduction des émissions pour permettre aux concentrations de repasser sous les valeurs limites, en proximité routière mais également sur l'ensemble de la zone concernée par le PPA.

Au regard de ces constats et à la suite des résultats préparatoires à cette campagne de mesures, il avait été constaté des niveaux de pollution très élevés en particulier en dioxyde d'azote et en particules en proximité immédiate de l'axe autoroutier strasbourgeois. La mise en place d'une station permanente de mesures à proximité de la porte de Schirmeck et opérationnelle depuis l'été 2008 permettra donc de suivre l'évolution des niveaux de pollution atmosphérique dans les années à venir et donc de témoigner de l'efficacité réelle des politiques européennes, nationales, régionales et locales de limitations des niveaux de pollution atmosphérique et de l'exposition associée des riverains de ces axes en particulier mais également de la population en général.

En ce qui concerne les niveaux cartographiés de pollution dans le centre ville strasbourgeois, le réseau fixe et permanent de mesure en place depuis près de 20 ans permet un suivi constant des concentrations. A noter qu'à la suite de la fermeture de la station de la place Kléber en 2007 pour cause de rénovation de la place, ce réseau doit être complété en 2008 par l'installation d'une station de remplacement rue des Hallebardes.

ANNEXE 1

Méthodes et moyens mis en œuvre

A1 - I. CAMPAGNE DE MESURE

A1 - I.1. Aspects organisationnels

La réalisation d'une campagne de mesures qui associe plusieurs systèmes de mesures (systèmes de prélèvements passifs ainsi que des camions laboratoires), suit une procédure respectant deux grandes étapes :

✓ *Etape d'initialisation de la campagne*

Commune aux deux séquences de mesures (phase automnale et hivernale), cette étape n'est effectuée qu'une seule fois en début de séquence et consiste à définir, selon les objectifs fixés, la stratégie de mesures (dont l'emplacement des sites). A noter qu'avant l'installation, les sites de mesures ont fait l'objet d'une demande d'autorisation auprès des communes et des collectivités concernés.

✓ *Etape d'installation et de désinstallation des sites de mesure*

Le déclenchement des prélèvements sur les sites de mesures doit se dérouler sur une période la plus réduite possible afin de veiller à la cohérence des résultats de mesure des différents sites instrumentés (comparabilité), les niveaux de pollution étant variables d'une journée à l'autre.

A1 - I.2. Aspects techniques

Le choix des sites a fait l'objet d'un examen détaillé sur carte et sur terrain afin de remplir les objectifs fixés.

Au delà des critères de choix des sites, la plupart des systèmes tubes passifs ont été installés sur des poteaux ou lampadaires dégagés de tout obstacle, afin de permettre une libre circulation de l'air autour du point d'échantillonnage. La hauteur de mesures (environ 3-4m) a été choisie de manière à caractériser le plus possible l'exposition des personnes au sol, en se préservant toutefois des risques de dégradation.

La campagne de mesures s'est déroulée en deux temps :

- une phase automnale réalisée entre le 5 septembre et le 31 octobre 2007 ;
- une phase hivernale qui a débuté le 31 janvier et s'est achevée le 27 mars 2008 ;

Chaque phase correspondant à une période de mesures de 56 jours (4 séries de 14 jours) au cours desquels 91 et 79 sites ont été équipés d'échantillonneurs passifs respectivement pour la mesure du NO₂ et des BTEX. Deux laboratoires mobiles ont mesuré durant une période minimale de 15 jours au cours de chacune des deux phases qui composent la campagne.

A1 - I.3. Systèmes de prélèvements temporaires mis en place

□ *Tube passif à diffusion*

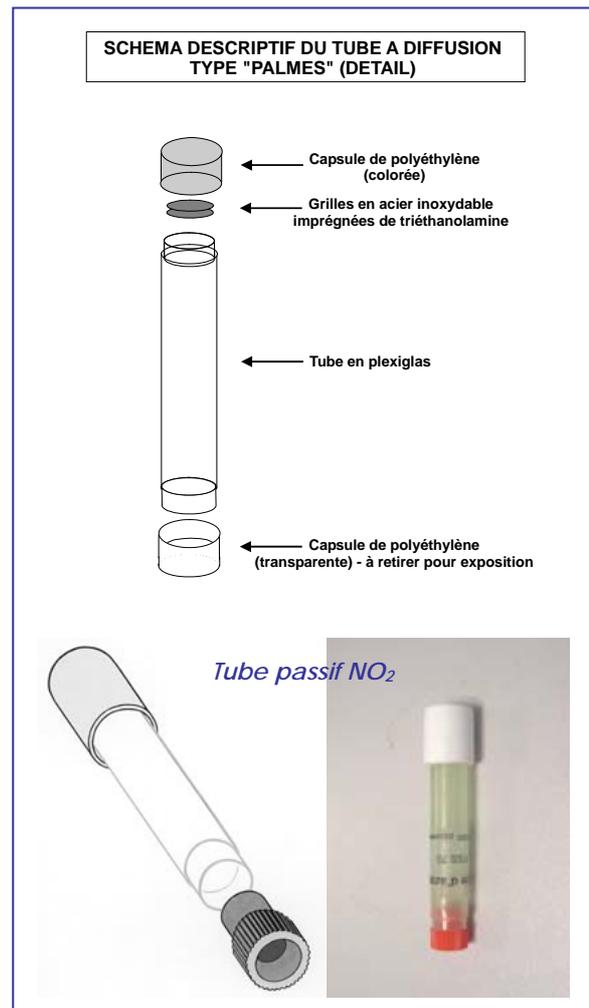
Les systèmes de prélèvement temporaires utilisés pour la mesure du dioxyde d'azote et des BTEX sont des tubes passifs à diffusion.

Ces systèmes permettent de spatialiser l'information relative à la qualité de l'air et, à un moindre coût, de définir la typologie d'un nombre important de sites de mesures.

Le principe de fonctionnement de ce mode de prélèvement est basé sur celui de la diffusion passive de molécules sur un adsorbant ou un absorbant (support solide imprégné de réactif chimique) adapté au piégeage spécifique du polluant gazeux. La quantité de molécules piégées est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est déterminée par analyse des échantillons différée en laboratoire :

- concernant les oxydes d'azote, les tubes passifs sont envoyés à un prestataire extérieur pour être analysés en laboratoire par colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzmann ;
- l'analyse des BTEX est réalisée à l'ASPA au LIC par désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse (détection par ionisation de flamme).

Ce mode de prélèvement fournit une moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition.



Illustrations A et B



□ *Laboratoire mobile*

L'utilisation d'un camion laboratoire permet d'appréhender l'évolution horaire des niveaux de pollution atmosphérique dans l'air.

Les camions laboratoires LM Unimog, LM Renault (automne), LM Remorque (hiver) utilisés au cours de la campagne sont équipés de capteurs mesurant en continu (pas de temps de ¼ heure, les données étant agrégées en valeurs horaires) les concentrations en dioxyde de soufre (SO₂), en monoxyde de carbone (CO), en ozone (O₃), en monoxyde et dioxyde d'azote (NO et NO₂) et en particules (PM₁₀). Un analyseur pour le suivi des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) a été installé dans le camion laboratoire Unimog spécifiquement pour cette étude (avec une acquisition des données toutes les heures et non tout les ¼ heures comme c'est le cas pour les polluants pré-cités).

En plus de ces polluants chimiques, les paramètres météorologiques relatifs à la température, à l'humidité relative, ainsi qu'à la vitesse et la direction du vent sont également relevés sur les deux camions.

Les données élémentaires de pollution en SO₂, NO, NO₂, O₃ et CO font l'objet d'une accréditation COFRAC (Comité français d'Accréditation) section Essais – n°1-0718 – du programme 97 basé sur la norme EN 17025, reconnaissant à l'ASPA une aptitude à effectuer des analyses et des prélèvements spécifiés dans l'air ambiant.

Photos A à D



LM Renault



LM Unimog



LM Remorque



Le suivi du dioxyde d'azote et du benzène a été réalisé sur 6 transects de mesures, placés le long de l'A35 et de l'A4, à la fois en milieu urbain dense mais également en milieu périurbain voire à dominante rurale. Les transects de mesures sont composés de 12 points de mesures pour le NO₂ et 10 pour le benzène :

- deux points situés de part et d'autre de l'axe routier ;
- puis des points situés à 10m, 20m, 50m, 100m et 150m (distance respectée au mieux selon les contraintes du terrain) de cet axe.

Dispersion verticale...

Afin d'étudier l'exposition des populations riveraines aux axes autoroutiers selon la hauteur de l'habitat, 9 points de prélèvement par tubes passifs ont été installés à différents étages de la Direction Régionale de l'Équipement (à l'avant et à l'arrière du bâtiment) implantée route d'Oberhausbergen à Strasbourg (situé à 150/200m de l'autoroute A35).

Contrôle qualité...

Trois points de prélèvement par tubes passifs ont été implantés sur les stations STG Ouest, STG Clemenceau et sur le camion laboratoire Unimog à des fins de validation. Concernant ce dernier dispositif, la mesure du NO₂ a également été réalisée via un autre prestataire que PASSAM (laboratoire qui fournit les préleveurs et réalise habituellement les analyses) afin de

pouvoir confronter et conforter les résultats les plus élevés.



Observation de pics de pollution

Les camions laboratoires ont été implantés à proximité de l'autoroute afin de pouvoir évaluer les comportements horaire et journalier des polluants et approcher l'exposition des populations riveraines à des phénomènes de pollution de courte durée : dans la rue de l'Abbé Lemire à Koenigshoffen concernant le 'LM Unimog' (échangeur de la porte de Schirmeck – milieu urbain) et à hauteur de l'échangeur de Hoenheim en milieu périurbain concernant le laboratoire mobile 'Renault' (phase automnale) et le laboratoire mobile 'Remorque' (phase hivernale).

Validation des cartes produites par méthodes géostatistiques

En complément du dispositif présenté ci-dessus, 5 points de mesures ont été équipés de capteurs pour le suivi du NO₂ et des BTEX et installés à distance des axes autoroutiers, dans des zones non couvertes par le dispositif initial et par le réseau de stations de mesure fixes de l'ASPA. Ces mesures ont permis d'acquérir un jeu de données hétérogènes, nécessaire à la mise en œuvre de cartographie à l'aide d'outils géostatistiques (capteurs installés dans les communes de Lampertheim, Niederhausbergen, Eckbolsheim, Ostwald ainsi qu'au Neuhof).

Tableau A : localisation des sites de mesure

N°	Indice	Numéro du site	Adresse du site	distance réelle à la voie	support	NO ₂	BTEX
1	T1	T1E_150m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	150m	piquet	X	
2	T1	T1E_100m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	100m	piquet	X	X
3	T1	T1E_50m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	50m	piquet	X	X
4	T1	T1E_20m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	20m	piquet	X	X
5	T1	T1E_10m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	10m	piquet sur clôture	X	X
6	T1	T1E_1m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Est de l'A35	1m	panneau "eau 473.16"	X	X
7	T1	T1O_1m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	1m	panneau	X	X
8	T1	T1O_10m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	10m	piquet	X	X
9	T1	T1O_20m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	20m	piquet	X	X
10	T1	T1O_50m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	50m	piquet	X	X
11	T1	T1O_100m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	100m	piquet	X	X
12	T1	T1O_150m	Sur la D226 - route de Hoerd, à l'Ouest de l'A35	150m	piquet	X	
13	T2	T2E_150m	Souffelweyersheim - dans le prolongement de la rue des tuileries, en face du garage BMW	150m	candélabre	X	
14	T2	T2E_100m	Souffelweyersheim - dans le prolongement de la rue des tuileries, entre les garages BMW et Seat/Audi	100m	piquet sur clôture	X	X
15	T2	T2E_50m	Souffelweyersheim - dans le prolongement de la rue des tuileries, entre les garages BMW et Seat/Audi	50m	piquet sur clôture	X	X
16	T2	T2E_20m	Souffelweyersheim - dans le prolongement de la rue des tuileries, entre les garages BMW et Seat/Audi	20m	piquet sur clôture	X	X
17	T2	T2E_10m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	10m	piquet sur panneau rétrécissement à 200m sur une seule voie	X	X
18	T2	T2E_1m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	1m	piquet sur panneau rétrécissement à 200m sur une seule voie	X	X
19	T2	T2O_1m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	1m	piquet sur panneau signalant le virage à droite	X	X
20	T2	T2O_10m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	10m	piquet sur panneau signalant le virage à droite	X	X
21	T2	T2O_20m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	20m	piquet sur clôture de jardin	X	X
22	T2	T2O_50m	Souffelweyersheim - sortie d'autoroute A35 en direction de Niederhausbergen	50m	piquet sur panneau signalant le virage à droite	X	X
23	T2	T2O_100m	Souffelweyersheim - D184 / rue de la Fontaine	150m	structure du pont	X	X
24	T2	T2O_150m	Souffelweyersheim - rue du triage, à proximité de la porte de sécurité SNCF n°4a	430m	piquet sur clôture	X	
25	T3	T3E_150m	Strasbourg - Rue Georges Wodli	159m	candélabre n°109	X	
26	T3	T3E_100m	Strasbourg - Rue Georges Wodli	99m	candélabre n°111	X	X
27	T3	T3E_50m	Strasbourg - Rue Georges Wodli	68m	candélabre n°112	X	X
28	T3	T3E_20m	Strasbourg - Rue Georges Wodli	30m	candélabre n°113	X	X
29	T3	T3E_10m	Strasbourg - Rue Georges Wodli	13m	candélabre n°114	X	X
30	T3	T3E_1m	Strasbourg - sur l'A35	0m	panneau relatif au poids lourds	X	X
31	T3	T3O_1m	Cronembourg - sur l'A35, avant sortie Wacken / Robertsau	0m	panneau cedez le passage	X	X
32	T3	T3O_10m	Cronembourg - Rue de la Gare aux marchandises	10m	piquet sur terre plein entre la rue de la Gare et la route d'Oberhausbergen	X	X
33	T3	T3O_20m	Cronembourg - Rue de la Gare aux marchandises	21m	candélabre W21	X	X
34	T3	T3O_50m	Cronembourg - Rue de la Gare aux marchandises	49m	piquet sur panneau "voie pour vélo"	X	X
35	T3	T3O_100m	Cronembourg - Intersection Rue de la Gare aux marchandises et rue du marché Gare	98m	piquet sur panneau "voie pour vélo"	X	X
36	T3	T3O_150m	Cronembourg - Rue de la Gare aux marchandises	128m	piquet sur panneau "fin de voie pour vélo", en face de la CTS	X	
37	T4	T4N_150m	Hautepierre - Rue des Ducs	147m	candélabre 128	X	
38	T4	T4N_100m	Hautepierre - Rue des Ducs	114m	candélabre 127	X	X
39	T4	T4N_50m	Hautepierre - Rue des Ducs	82m	candélabre 126	X	X
40	T4	T4N_20m	Hautepierre - Rue des Ducs	48m	candélabre 125	X	X
41	T4	T4N_10m	Hautepierre - Rue des Ducs	15m	candélabre 124	X	X
42	T4	T4N_1m	Hautepierre - Sur l'A351	1m	panneau de sortie 3 "CHU Hautepierre - Athéna"	X	X
43	T4	T4S_1m	Koenigshoffen - Rue Paul Verlaine (parallèle à l'A351)	1m	piquet sur panneau de limitation à 110	X	X
44	T4	T4S_10m	Koenigshoffen - Entre la rue Paul Verlaine et l'A351	13m	piquet sur panneau "voie pour vélo"	X	X
45	T4	T4S_20m	Koenigshoffen - Rue des Comtes	24m	candélabre 122	X	X
46	T4	T4S_50m	Koenigshoffen - Rue des Comtes	56m	candélabre 121	X	X

Tableau A : localisation des sites de mesure

N°	Indice	Numéro du site	Adresse du site	distance réelle à la voie	support	NO ₂	BTEX
47	T4	T4S_100m	Koenigshoffen - Rue des Comtes	92m	candélabre 120	X	X
48	T4	T4S_150m	Koenigshoffen - Rue des Comtes	128m	candélabre 118	X	
49	T5	T5E_150m	Strasbourg - Rue de Molsheim, à hauteur du n°29	150m	sur panneau "Interdit à tous véhicules"	X	
50	T5	T5E_100m	Strasbourg - Rue de Molsheim, à hauteur du n°33	110m	candélabre n°83	X	X
51	T5	T5E_50m	Strasbourg - Au croisement de la Rue de Molsheim et de la Rue de Fouday	47m	candélabre n°5	X	X
52	T5	T5E_20m	Strasbourg - Rue de Molsheim	36m	candélabre n°4	X	X
53	T5	T5E_10m	Strasbourg - Rue de Molsheim	15m	candélabre n°2	X	X
54	T5	T5E_1m	Strasbourg - Dans la rampe d'accès à l'A35	1m	candélabre	X	X
55	T5	T5E_Ecole	Strasbourg - 3, rue Fouday / Ecole maternelle L. Scheppeler	-	candélabre	X	X
56	T5	T5_0m	Strasbourg/Koenigshoffen - sous l'A35	0m	pilier supportant l'autoroute	X	X
57	T5	T5O_1m	Koenigshoffen - Rue de l'Abbé Lemire / Emplacement du camion laboratoire	1m	laboratoire mobile Unimog	X	X
58	T5	T5O_10m	Koenigshoffen - Route de Schirmeck	9m	candélabre n°39	X	X
59	T5	T5O_20m	Koenigshoffen - Route de Schirmeck	19m	candélabre n°40	X	X
60	T5	T5O_50m	Koenigshoffen - Route de Schirmeck	50m	candélabre n°42	X	X
61	T5	T5O_100m	Koenigshoffen - Route de Schirmeck	100m	candélabre n°48	X	X
62	T5	T5O_150m	Koenigshoffen - Route de Schirmeck	150m	candélabre n°54	X	
63	T6	T6N_150m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	137m	candélabre	X	
64	T6	T6N_100m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	103m	poteau téléphonique	X	X
65	T6	T6N_50m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch, en face du n°39	50m	candélabre	X	X
66	T6	T6N_20m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	23m	poteau téléphonique	X	X
67	T6	T6N_10m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	16m	candélabre	X	X
68	T6	T6N_1m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	1m	structure métallique du mur anti-bruit	X	X
69	T6	T6_0m	Ostwald - entre A35 et le mur anti-bruit	0m	mât supportant video surveillance de l'A35	X	X
70	T6	T6S_1m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	1m	structure métallique du mur anti-bruit	X	X
71	T6	T6S_10m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	12m	candélabre	X	X
72	T6	T6S_20m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch, en face du n°45	24m	poteau téléphonique	X	X
73	T6	T6S_50m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch, en face du n°47	43m	candélabre	X	X
74	T6	T6S_100m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch	86m	candélabre	X	X
75	T6	T6S_150m	Ostwald - Rue du Maréchal Foch, en face du n°57	141m	candélabre	X	
76	SF_INTER	STG Ouest	Schiltigheim - 5, rue de Madrid / station fixe de mesure ASPA		station fixe ASPA	X	X
77	SF_INTER	STG Clemenceau	Strasbourg - boulevard Clemenceau / station fixe de mesure ASPA		station fixe ASPA	X	X
78	DRE	DRE_AVANT_niv 1	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
79	DRE	DRE_AVANT_niv 2	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
80	DRE	DRE_AVANT_niv 3	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
81	DRE	DRE_AVANT_niv 4	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
82	DRE	DRE_AVANT_niv 5	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
83	DRE	DRE_AVANT_niv 6	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
84	DRE	DRE_AVANT_niv 7	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
85	DRE	DRE_ARRIERE_niv 2	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
86	DRE	DRE_ARRIERE_niv 6	Strasbourg - Route d'Oberhausbergen	230m	structure du bâtiment	X	X
87	FOND	LAMPER	Lampertheim - Au croisement de la rue Albert Schweitzer et Louis Pasteur / proche école maternelle		candélabre	X	X
88	FOND	NIEDER	Niederhausbergen - 4, rue des jardins		candélabre n°164	X	X
89	FOND	ECKBO	Eckbolsheim - Rue de la couronne, en face du 14A		candélabre	X	X
90	FOND	OSTWA	Ostwald - 3, rue des Champs		candélabre	X	X
91	FOND	NEUHO	Neuhof - 11, rue des linottes		candélabre n°47	X	X

Nb de sites : 91 79

A1 - II. CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE

A1 - II.1. Cartographie géostatistique

➤ Analyse de la structure spatiale

L'objet de l'analyse, fondement de la géostatistique, est de caractériser le degré de corrélation entre deux mesures de polluant, en fonction de la distance h qui les sépare. Pour un h donné, on recherche tous les couples de mesures pour lesquels on calcule leur différence et leur variance. En moyennant ces contributions par classe de distance, on obtient le variogramme expérimental. Ce variogramme expérimental est ensuite ajusté, interprété par un modèle de variogramme, fonction mathématique qui caractérise le degré de corrélation du polluant entre deux points quelconques de l'espace. Cet ajustement doit concilier information expérimentale fournie par les données et connaissance a priori de la continuité spatiale du polluant. Le variogramme est une fonction croissante de la distance jusqu'à une distance critique, appelée portée. Au-delà de la portée, le variogramme se stabilise autour d'un palier, ce qui signifie que les valeurs ne sont alors plus corrélées. Ainsi, plus la portée est grande, plus les valeurs des mesures auront une influence à grande distance.

➤ Choix de l'échelle spatiale de cartographie

Le choix de l'échelle spatiale de cartographie est important. Il dépend de la résolution de l'information disponible, que ce soit en termes de mesures de polluants ou en termes de variables auxiliaires. Dans le cas présent, les données du cadastre d'émissions sont disponibles à une résolution de 25x25m. Cette résolution permet d'étudier plus finement le lien entre émissions et mesures au niveau des transects.

Cependant la densité de population est quant à elle disponible à une résolution plus lâche de 100x100m. Les simulations sur la grille de 25x25m seront donc moyennées sur une grille de 100x100m afin de calculer l'exposition potentielle de population.

➤ Krigeage

Tout comme pour les interpolations classiques, l'estimation de la concentration en polluant en un point x_0 , notée \hat{z}_0 , est obtenue par combinaison linéaire des n concentrations aux points de mesures x_i :

$$\hat{z}_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i .$$

Le krigeage se différencie des techniques d'interpolation classiques (inverse des distances, plus proche voisin...) uniquement dans le choix des coefficients λ_i . Appelés poids de krigeage, ils dépendent :

- ✓ des distances entre les données et la cible x_0 (tout comme les interpolateurs classiques),
- ✓ des distances séparant les données entre elles (existence de regroupements de données),
- ✓ de la structure spatiale (variogramme) du polluant.

Le krigeage consiste à déterminer ces poids de krigeage. Ces poids permettent de :

- ✓ garantir le non-biais de l'estimation,
- ✓ minimiser le risque d'erreur associée à l'estimation.

En ce sens, le krigeage constitue le meilleur estimateur linéaire sans biais.

Un avantage essentiel du krigeage ordinaire par rapport aux interpolateurs classiques réside dans la quantification de l'incertitude associée à l'estimation, rendue possible par la modélisation de la structure spatiale. Cette incertitude est obtenue en remplaçant dans l'expression de la variance de l'erreur d'estimation les poids de krigeage par leurs valeurs optimales.

➤ **Intégration des variables auxiliaires**

L'utilisation dans des procédures de krigeage des variables auxiliaires identifiées lors de l'analyse des données permet d'améliorer l'interpolation lorsque les corrélations sont significatives. Le krigeage avec dérive externe et le cokrigeage colocalisé sont les deux techniques classiques d'intégration de variables auxiliaires :

- ✓ Le krigeage avec dérive externe considère les variables auxiliaires comme autant de paramètres qui représentent la tendance à grande échelle (ou dérive) du phénomène de pollution ; il s'agit donc d'une approche non stationnaire.
- ✓ Le cokrigeage colocalisé considère l'ensemble des variables, polluant et variables auxiliaires, sur le même plan et utilise leurs corrélations à toute échelle.

Ces deux techniques convergent vers le même résultat lorsque la corrélation entre polluant et variable auxiliaire devient très forte. En cas de corrélation intermédiaire, le cokrigeage colocalisé, bien que plus complexe à mettre en œuvre (modélisation bivariable), permet usuellement un meilleur contrôle des paramètres. Par contre, le krigeage avec dérive externe est bien adapté dans le cas où la variable auxiliaire est de même nature que la variable d'intérêt, comme c'est le cas si l'on considère la combinaison entre des mesures d'un polluant (variable d'intérêt) et une modélisation physico-chimique du même polluant (variable auxiliaire).

A1 - II.2. Analyse de risque

➤ Limites des techniques d'interpolation

En minimisant par construction le risque d'erreur, les techniques de (co)krigeage gommant les valeurs extrêmes, peu probables, et sont attirées vers la moyenne de la pollution sur la zone d'intérêt. C'est la propriété de lissage du krigeage : la variabilité réelle dans l'espace de la pollution n'est pas reproduite quand on interpole les données. En outre, ces techniques ne donnent accès qu'à l'erreur moyenne (nulle par construction) et à sa variance. Cette variance de krigeage ne permet par conséquent pas, en général, d'obtenir un intervalle de confiance pour

l'estimation, ni de calculer une probabilité de dépassement de seuil de pollution.

➤ Risque de dépassement de seuil

La géostatistique fournit une réponse tout à fait cohérente aux questions qui font appel à des opérateurs non linéaires comme l'application d'un seuil. Parmi les méthodes utilisables, les simulations sont les plus souples. Elles donnent la possibilité de simuler en chaque point de l'espace un scénario pour la variable étudiée de telle façon que les caractéristiques de la variabilité spatiale, prises en charge par le variogramme, soient reproduites. La simulation est, par ailleurs, dite conditionnelle lorsqu'elle est calée aux données et retrouve les valeurs des mesures en ces points. Tout l'intérêt consiste à calculer un grand nombre de scénarios, permettant ainsi de faire des raisonnements en probabilité. En chaque point du maillage, on a ainsi un histogramme des valeurs possibles, dont la moyenne converge vers le krigeage. En calculant point à point la proportion de réalisations dépassant en chaque point l'objectif de qualité, on obtient une carte de la probabilité de dépassement de ce seuil. Cette probabilité peut également être estimée directement via un calcul d'espérance conditionnelle, évitant ainsi des soucis possibles de convergence liés à un nombre de simulations insuffisant.

➤ Risque d'exposition de la population

L'estimation de la population concernée par un risque d'exposition nécessite de prendre quelques précautions. Nous supposons ici que la population, connue à l'échelle de 100m, est celle issue du dernier recensement de 2006 (voir Figure 5). Les migrations de populations d'une maille à l'autre (trajet domicile-travail, vacances) ne seront ici pas prises en compte, de même que l'évolution de la répartition spatiale de la population entre 2006 et 2008. Pour chaque simulation, on calcule la population exposée en sommant les habitants pour les points où la valeur simulée est supérieure à l'objectif de qualité. On obtient ainsi l'histogramme de la population exposée, histogramme duquel découlent les statistiques classiques : population exposée en moyenne, écart-type associé, quantiles.

A1 - III SIMULATIONS GAUSSIENNES

Les simulations gaussiennes de la qualité de l'air ont été réalisées à l'aide du modèle ADMS Urban.

A1 - III.1. Modèle mathématique de dispersion

Le modèle mis en œuvre intègre des modules couplés qui permettent de tenir compte des effets complexes sur la dispersion des polluants : topographie, effets « canyons », turbulence liée au trafic, phénomènes météorologiques complexes (inversions de température),...

Le modèle de dispersion travaille en régime stationnaire pour une situation météorologique donnée, les situations météorologiques étant réactualisées toutes les heures. Pour une étude de qualité de l'air à l'échelle d'une rocade, d'un quartier ou d'une agglomération, l'utilisation d'un schéma de dispersion fonctionnant en régime stationnaire pendant des échelles de temps de l'ordre de l'heure est adéquat, car précis en terme de dispersion et relativement peu coûteux en temps de calcul.

La grille de calcul est ajustable (discrétisation du domaine), la résolution variant du mètre à quelques centaines de mètres. A noter que le système permet un maillage « intelligent », en plaçant des points de calculs (capteurs virtuels) aux endroits où les gradients de concentration sont importants (le long et au bord des

grands axes). Il permet également de disposer des points « spécifiques » correspondant à des localisations particulières, très utiles dans le cadre d'une comparaison modèle/mesures ou dans l'élaboration de courbes de polluants en fonction de la distance à la source.

A1 – III.2. Principaux modules intégrés au système

Outre le modèle de dispersion, le système comprend de nombreux modules permettant d'étudier la qualité de l'air à l'échelle de la rue/route, du quartier ou de l'agglomération :

- ✓ Modèle de terrain : à partir de paramètres météorologiques moyens, le modèle d'écoulements fluides FLOWSTAR calcule en 3D tous les champs de vent (résolution de l'ordre de 100 m) et de turbulence en prenant en compte l'effet de la topographie et de la rugosité du sol.
- ✓ Pré-processeur météorologique : à partir de données météorologiques mesurées au sol, un pré-processeur météorologique calcule dans les 3 dimensions, les paramètres de la couche atmosphérique de dispersion (entre le sol et 2000 mètres d'altitude).
- ✓ Modèle de dépôt : calcul du dépôt sec et du lessivage par les pluies des polluants. Prise en compte de la taille des particules lors de la dispersion ;
- ✓ Modèle de trajectoire des panaches : pour les sources ponctuelles (cheminées industrielles...), un modèle dynamique calcule intégralement la trajectoire des panaches émis (sur-élévation) à partir des vitesses d'éjection et des températures des rejets ;
- ✓ Modèle de bâtiment : ce modèle dynamique calcule l'influence turbulente des bâtiments proches des sources industrielles sur la dispersion, ainsi que les effets de sillage des cheminées ;
- ✓ Modèle photochimique : intégration d'un code photochimique incluant la chimie des NO₂, NO, O₃ et COV (Schéma de 7 réactions). Il utilise notamment les données de rayonnements solaires pour calculer les taux de photolyse ;
- ✓ Modèle des effets « canyon » : prise en compte des phénomènes de recirculations dans les rues, et de la turbulence provoquée par le passage des véhicules entre les bâtiments ;

A1 – III.3. Principales données d'entrée

- ✓ Météorologie : Données météorologiques de surface, mesurées de préférence à fréquence horaire (format Météo France): vitesse et direction du vent, température sous abri, nébulosité, précipitations...
- ✓ Les paramètres d'émission : localisation des sources et tronçons, taux d'émission (horaires ou TMJA, profils quotidiens), largeur des voies et hauteur du bâti, émissions industrielles (position et caractéristiques des cheminées) et diffuses (tertiaire, COV)...
- ✓ Topographie de la zone d'étude: relief et occupation des sols (milieu urbain, hauteur moyenne du bâti...).

ANNEXE 2

Principaux effets des indicateurs de pollution pris en compte



Effets des principaux polluants sur la santé

NO₂ : irritant pour les bronches, augmente la fréquence et la gravité des crises d'asthme, favorise les infections pulmonaires chez l'enfant ;

CO : se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux ; l'exposition prolongée à des taux élevés peut conduire au coma et à la mort ;

Benzène : effets sur le système nerveux, les globules et plaquettes sanguins pouvant provoquer une perte de connaissance ; agent mutagène et cancérigène ;

Autres COVNM : effets très variables selon le polluant envisagé. Ils peuvent générer une gêne olfactive, une irritation voire une diminution de la capacité respiratoire ;

PM₁₀ : irritant des voies respiratoires et altération de la fonction respiratoire ; certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes ;

SO₂ : irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures ;

O₃ : gaz agressif pénétrant dans les voies respiratoires provoquant toux, altération pulmonaire et irritations oculaires.



Effets des principaux polluants sur l'environnement

NO₂ : pluies acides, formation d'ozone troposphérique (gaz à effet de serre indirect), altération de la couche d'ozone ;

CO : formation d'ozone troposphérique, gaz à effet de serre indirect (oxydation en CO₂) ;

COVNM : formation d'ozone troposphérique ;

PM : salissure des bâtiments et des monuments ;

SO₂ : pluies acides, dégradation de la pierre, altération des monuments ;

O₃ : effet sur la végétation (baisse des rendements de culture), effet de serre, pluies acides.

ANNEXE 3

Influence des vitesses de circulation sur les émissions routières

Emissions en fonction de la vitesse

Calculées pour 1 000 véhicules en utilisant la méthodologie COPERT IV

