



**Laboratoire Central
de Surveillance de la Qualité de l'Air**



**ADAPTATION DES PLANS D'ÉCHANTILLONNAGE
AUX OBJECTIFS DES CAMPAGNES :**
Echantillonnage spatial – Guide de recommandations

A.WROBLEWSKI, V. RIFFAULT, E. PERDRIX
et L. MALHERBE
Décembre 2006
Version finale





Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.



ADAPTATION DES PLANS D'ÉCHANTILLONNAGE AUX OBJECTIFS DES CAMPAGNES :

Echantillonnage spatial – Guide de recommandations

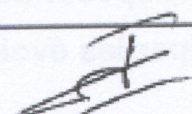
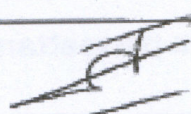
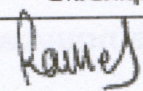
Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Thème : Traitements numériques

Programme financé par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques (DPPR)

Décembre 2006

Personnes ayant participé à l'étude : Giovanni Cárdenas

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	J.-Y. CHATELIER	J.-Y. CHATELIER	M. RAMEL
Qualité	Responsable de l'Unité Informatique et Instrumentation pour l'Environnement	Responsable de l'Unité Informatique et Instrumentation pour l'Environnement	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

ECOLE DES MINES DE DOUAI

DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

ADAPTATION DES PLANS D'ÉCHANTILLONNAGE AUX OBJECTIFS DES CAMPAGNES :

Echantillonnage spatial – Guide de recommandations

Convention 000070

André WROBLEWSKI, Véronique RIFFAULT et Esperanza PERDRIX

Décembre 2006

Résumé de l'étude EMD/INERIS 2006

ADAPTATION DES PLANS D'ÉCHANTILLONNAGE AUX OBJECTIFS DES CAMPAGNES : ÉCHANTILLONNAGE SPATIAL – GUIDE DE RECOMMANDATIONS

Cette étude traite de la stratégie d'échantillonnage spatial et du dimensionnement des campagnes de mesure du dioxyde d'azote, de l'ozone ou du benzène, par échantillonnage passif, en fonction des objectifs des campagnes :

- surveillance des zones rurales non couvertes par les stations de mesures (couverture hors zone agglomération) ou de domaines régionaux incluant de telles zones ;
- surveillance des villes de 10 000 à 100 000 habitants ;
- implantation d'une nouvelle station de mesure ;
- alimentation ou validation de modèles.

Compte tenu de la répartition spatiale des concentrations, plus ou moins homogène selon les polluants, cette étude a été menée polluant par polluant. Elle fait suite aux travaux commencés en 2005, qui portaient uniquement sur l'échantillonnage régulier du dioxyde d'azote.

La méthodologie suivie repose sur l'exploitation de données issues de campagnes de mesure ou, à défaut, de simulations déterministes. Les données sélectionnées auprès des AASQA présentent les caractéristiques suivantes :

- durée d'échantillonnage supérieure ou égale à une semaine ;
- nombre de points de mesure supérieur ou égal à trente.

Ce dernier critère correspond à la condition nécessaire pour qu'une exploitation géostatistique des données soit possible.

La démarche a consisté à tester deux types de maillages : le maillage régulier d'une part, et, pour le dioxyde d'azote, le maillage irrégulier (ou stratifié ou déstructuré) d'autre part.

Un maillage régulier peut être conçu sans rien connaître du territoire à surveiller. En revanche, le maillage irrégulier s'appuie sur la connaissance d'une information additionnelle (ou variable auxiliaire) relative au territoire à surveiller : altitude, densité de population, réseau routier, etc. Etant donné que l'inventaire national des émissions est en cours de réalisation, nous avons pris comme hypothèse, pour cette étude, que toutes les AASQA disposeraient, dans un futur proche, d'un cadastre spatialisé des émissions à l'aide duquel elles pourraient définir des stratégies d'échantillonnage irrégulier.

Pour chaque polluant, le maillage régulier, et pour le dioxyde d'azote le maillage irrégulier, différentes tailles de maille et différentes variables auxiliaires ont été testés. Chaque nouveau plan d'échantillonnage a été évalué par rapport à un scénario de référence, correspondant au jeu de données le plus complet possible. La comparaison porte sur les paramètres statistiques des données et sur la qualité des variogrammes expérimentaux et modélisés. On confronte également la carte de

krigeage à l'estimation de référence. L'objectif est de mettre en évidence des stratégies d'échantillonnage conduisant au plus petit nombre de points de mesure (et donc au moindre coût), sans nuire à la qualité (justesse) de la représentation cartographique du phénomène de pollution.

- Les jeux de données considérés proviennent de différentes AASQA,
- pour le dioxyde d'azote : LIG'AIR, ATMO Champagne-Ardenne, ATMO Poitou-Charentes, Air C.O.M., MADININAIR ;
 - pour l'ozone : AIRAQ, ATMO Auvergne et le GIERSA (Rhône-Alpes) ;
 - pour le benzène : ATMO Nord-Pas-de-Calais, ATMO Champagne-Ardenne, AIRAQ, LIG'AIR.

Les résultats de l'étude sont présentés sous forme d'un :

« Guide de recommandations pour l'échantillonnage spatial du dioxyde d'azote, de l'ozone et du benzène, par diffusion passive, en vue de réaliser des cartographies par géostatistique – Version 1 ».

Ce guide comprend cinq chapitres : les trois premiers correspondent aux recommandations sur les plans d'échantillonnage en zone rurale ou régionale ou dans les villes de 10.000 à 100.000 habitants, respectivement pour le dioxyde d'azote, l'ozone et le benzène ; les deux derniers correspondent aux recommandations sur l'implantation d'une station fixe et la validation de modèles ou l'assimilation de données. Les trois premiers chapitres rassemblent les recommandations issues de l'étude de plusieurs jeux de données. Les études détaillées de ces différents jeux de données sont accessibles sur le site Internet du LCSQA (www.lcsqa.org) sous le titre : « Adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs des campagnes : Echantillonnage spatial – Annexes ».

Ce guide pourra être complété en 2007 par de nouveaux chapitres, relatifs à d'autres objectifs de campagne tels que l'échantillonnage autour d'une zone aéroportuaire ou autour d'un axe de circulation.

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

GUIDE DE RECOMMANDATIONS
POUR L’ECHANTILLONNAGE SPATIAL
DU DIOXYDE D’AZOTE, DE L’OZONE ET DU BENZENE,
PAR DIFFUSION PASSIVE,
EN VUE DE REALISER DES CARTOGRAPHIES
PAR GEOSTATISTIQUE

VERSION 1

Laure MALHERBE, André WROBLEWSKI,
Véronique RIFFAULT, Esperanza PERDRIX

DECEMBRE 2006

SOMMAIRE

PREAMBULE.....	10
1. CARTOGRAPHIE DU NO₂.....	12
1.1 INTRODUCTION	12
- Caractéristiques physico-chimiques du dioxyde d'azote	
- Echantillonnage passif du dioxyde d'azote	
- Caractéristiques des sites d'échantillonnage du dioxyde d'azote	
- Caractéristiques géostatistiques du dioxyde d'azote	
- Réglementation relative au dioxyde d'azote :	
o Valeurs limites réglementaires	
o Qualité requise des cartes	
o Recommandations générales	
1.2 ZONES RURALES OU RÉGIONALES	15
- Liste des jeux de données traités	
- Recommandations :	
o Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
o Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
o Avec variables auxiliaires - échantillonnage stratifié en fonction des émissions	
- Limites	
1.3 ZONES URBAINES.....	16
- Liste des jeux de données traités	
- Recommandations :	
- Limites	
2. CARTOGRAPHIE DE O₃.....	17
2.1 INTRODUCTION	17
- Caractéristiques physico-chimiques de l'ozone	
- Echantillonnage passif de l'ozone	
- Caractéristiques des sites d'échantillonnage de l'ozone	
- Caractéristiques géostatistiques de l'ozone	
- Réglementation relative à l'ozone :	
o Valeurs limites réglementaires	
o Qualité requise des cartes	
- Recommandations générales	
2.2 ZONES RURALES OU RÉGIONALES	20
- Liste des jeux de données traités	
- Recommandations :	
o Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
o Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
- Limites	
3. CARTOGRAPHIE DU BENZÈNE	21
3.1 INTRODUCTION	21
- Caractéristiques physico-chimiques du benzène	
- Echantillonnage passif du benzène	
- Caractéristiques des sites d'échantillonnage du benzène	
- Caractéristiques géostatistiques du benzène	
- Réglementation relative au benzène :	
o Valeurs limites réglementaires	
o Qualité requise des cartes	
- Recommandations générales	

3.2	ZONES URBAINES	23
-	Liste des jeux de données traités	
-	Recommandations :	
o	Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
o	Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier	
-	Limites	
4.	IMPLANTATION OU VALIDATION D'UNE STATION FIXE	24
5.	VALIDATION DE MODÈLE, ASSIMILATION DE DONNÉES	24
5.1	VALIDATION DE MODÈLE	25
5.2	ADAPTATION STATISTIQUE DE SIMULATIONS.....	27
6.	CONCLUSION.....	28
7.	BIBLIOGRAPHIE	29
8.	GLOSSAIRE.....	32

PREAMBULE

Cette première version du guide rassemble des **RECOMMANDATIONS** concernant la **STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE SPATIAL** des polluants :

- **dioxyde d'azote (NO₂)**
- **ozone (O₃)**
- **benzène (C₆H₆)**

PAR ECHANTILLONNAGE PASSIF, EN FONCTION DES OBJECTIFS DES CAMPAGNES :

- **surveillance de zones rurales non couvertes par des stations fixes de mesures** (couverture hors zone agglomération) ou de domaines régionaux incluant de telles zones ;
- **surveillance de villes de 10.000 à 100.000 habitants ;**
- **implantation d'une nouvelle station de mesure ;**
- **alimentation ou validation de modèles.**

L'objectif est de proposer des recommandations sur le **NOMBRE DE POINTS D'ECHANTILLONNAGE** nécessaires et sur leur **REPARTITION SPATIALE EN 2D**, de façon à faciliter le dimensionnement des campagnes.

Pour les deux premiers points, ce guide se limite au cas de **campagnes menées par échantillonnage passif et destinées à être valorisées sous forme de CARTOGRAPHIES PAR GEOSTATISTIQUE**. La géostatistique permet d'estimer les concentrations en polluant en tout point d'un domaine, à partir d'un ensemble limité de concentrations mesurées sur ce domaine. Néanmoins pour que l'exploitation par géostatistique soit assurée¹,

il faut que le nombre de points de mesure soit au moins égal à 30.

Deux stratégies d'échantillonnage sont considérées et discutées :

- le **MAILLAGE REGULIER**, qui peut être élaboré sans rien connaître du territoire à surveiller ;
- le **MAILLAGE IRRÉGULIER** (ou stratifié ou déstructuré), testé à l'échelle régionale et rurale pour le dioxyde d'azote, et qui repose sur une certaine connaissance du territoire à surveiller (connaissance ici apportée par l'inventaire des émissions de NO_x).

L'information additionnelle nécessaire pour concevoir un maillage irrégulier peut être de nature diverse : altitude, densité de population, réseau routier, occupation des sols, etc. Etant donné que l'inventaire national des émissions est en cours de réalisation, il est admis dans ce guide que :

¹ Voir notamment Malherbe et Rouil, 2003 ou Cárdenas et Malherbe, 2002 et 2003.

toutes les AASQA disposeront d'un cadastre spatialisé des émissions sur lequel elles pourront baser leurs plans d'échantillonnage irréguliers.

Les recommandations reposent sur l'expérience acquise par les AASQA et le LCSQA dans ce domaine. L'expérience des AASQA a été recueillie au travers de rapports d'étude, disponibles sur les sites Internet des AASQA ou transmis par les AASQA. Celle du LCSQA se fonde sur ses études passées, ainsi que sur des travaux complémentaires réalisés en 2005 et 2006 et portant sur l'« adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs des campagnes ».

Ces travaux complémentaires ont permis de tester systématiquement des plans d'échantillonnage réguliers et irréguliers sur des jeux de données issus de campagnes de mesures menées par les AASQA ou de simulations numériques, en faisant varier le nombre de points de mesure (dans un souci de limiter l'investissement humain et financier). Chaque plan d'échantillonnage a été évalué par rapport à un scénario de référence correspondant au jeu de mesures complet. La comparaison a porté sur le respect des paramètres statistiques des données et des variogrammes (fonctions géostatistiques servant à décrire le comportement spatial du polluant), ainsi que sur la qualité de l'estimation par krigeage et de la cartographie associée. Ces travaux ont permis d'affiner les recommandations relatives aux stratégies d'échantillonnage conduisant au plus petit nombre de points de mesure (moindre coût) tout en garantissant la qualité (justesse) de la représentation cartographique du phénomène de pollution.

Les jeux de données étudiés proviennent des AASQA suivantes :

NO₂ : LIG'AIR, ATMO Champagne-Ardenne, ATMO Poitou-Charentes, Air C.O.M., MADININAIR.

Ozone : AIRAQ, ATMO Auvergne et le GIERSA (Rhône-Alpes) ;

Benzène : ATMO Nord-Pas-de-Calais, ATMO Champagne-Ardenne, AIRAQ, LIG'AIR.

Le détail de ces travaux complémentaires est fourni dans un document annexe disponible sur le site Internet du LCSQA (Adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs des campagnes : Echantillonnage spatial – Annexes. www.lcsqa.org).

Compte tenu des différences de comportement spatial des polluants observées, les recommandations sont spécifiques à chaque polluant.

Ce guide comprend cinq chapitres. Les trois premiers correspondent aux recommandations concernant les plans d'échantillonnage pour la surveillance des zones rurales ou urbaines de 10.000 à 100.000 habitants, respectivement pour le dioxyde d'azote, l'ozone et le benzène. Les deux derniers correspondent aux recommandations concernant les plans d'échantillonnage en vue de l'implantation d'une station fixe ou pour valider ou ajuster des modèles.

Ce guide pourra être complété ultérieurement par de nouveaux chapitres, relatifs à d'autres objectifs de campagne tels que : l'échantillonnage autour d'une zone aéroportuaire ou autour d'un axe de circulation.

1. CARTOGRAPHIE DU NO₂

1.1 Introduction

- Caractéristiques physico-chimiques du dioxyde d'azote

Les oxydes d'azote (NO et NO₂) sont produits lors des combustions à hautes températures (chaudières, moteurs,...), notamment par combinaison de l'azote (N₂) et de l'oxygène (O₂) de l'air. Le NO se transforme en présence d'oxygène en NO₂ (de 0,5 à 10 %) dans le foyer. Cette réaction se poursuit lentement dans l'atmosphère et explique l'augmentation des teneurs en NO₂ et la diminution conjointe des teneurs en NO au fur et à mesure que l'on s'éloigne des zones d'émission.

En France, environ 30% des NO_x sont émis par l'industrie et le chauffage domestique, et 70% par les véhicules à moteur. A ce titre, les NO_x sont des indicateurs de la pollution automobile.

Leur concentration est plus élevée en hiver qu'en été, en raison notamment d'un accroissement hivernal des émissions (chauffage urbain), d'une stabilité accrue de l'atmosphère et des faibles teneurs en ozone en hiver.

- Réglementation relative au dioxyde d'azote :

o Valeurs limites réglementaires

La directive européenne 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 impose des valeurs limites horaires ou annuelles, pour la protection de la santé humaine ou des écosystèmes :

Tableau 2. Valeurs limites réglementaires pour le dioxyde d'azote (directive européenne 1999/30/CE).

Polluant	Période de base	Valeur-limite en µg/m ³ (à 293°K et 101,3 kPa)	Objectif	Date d'entrée en vigueur
NO ₂	1 h	200 (< 18 dépass./an)	santé	01/01/2010
NO ₂	1 an	40	santé	01/01/2010
NO + NO ₂	1 an	30	écosystèmes	19/07/2001

o Qualité requise des cartes

La qualité requise pour la cartographie du NO₂ peut se déduire, indirectement, de l'Annexe VIII de la Directive Européenne 1999/30/CE (SO₂, NO₂, NO_x, PM, Pb) qui fixe, en ce qui concerne l'incertitude :

- dans le cas d'une modélisation de la moyenne annuelle, un objectif de qualité de 30% ;
- dans le cas d'une estimation objective, quel que soit le type de moyenne considéré, un objectif de qualité de 75%.

Cette incertitude se définit comme l'écart relatif entre le modèle et la mesure.

- Echantillonnage passif du dioxyde d'azote

Le dioxyde d'azote peut être mesuré par échantillonnage passif, au moyen de systèmes à diffusion axiale ou radiale. Suivant le type d'échantillonneur utilisé, les durées d'exposition varient de 8 heures à 4 semaines. De nombreuses campagnes de mesure sont effectuées avec une durée d'exposition de 2 semaines.

L'analyse se fait par spectrophotométrie ou chromatographie ionique.

L'incertitude sur les faibles concentrations a été estimée à 5 à 7 µg/m³.

L'incertitude relative de mesure est de l'ordre de 20 à 35%.

Un ouvrage collectif « Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote » synthétise l'expérience française dans ce domaine (ADEME/LCSQA/Fédération ATMO, 2004).

- Caractéristiques des sites d'échantillonnage du dioxyde d'azote

Du fait de la multiplicité de ses sources (urbaines, industrielles) et de ses effets (sur la santé humaine, les écosystèmes), le dioxyde d'azote est un polluant surveillé dans tous les types de sites : urbains, industriels et ruraux. La cartographie du NO₂ concerne toutes les échelles : rue, ville, campagne, département, région, pays.

- Caractéristiques géostatistiques du dioxyde d'azote

Dans le cadre de la géostatistique, l'étude du variogramme expérimental permet d'apprécier la structure spatiale d'un phénomène de pollution atmosphérique, notamment son extension et sa variabilité spatiale. L'extension est caractérisée par une dimension caractéristique, la portée, généralement exprimée en kilomètres.

Pour le dioxyde d'azote, celle-ci varie suivant la taille du domaine exploré, puisque la variabilité de ce polluant peut concerner toutes les échelles, d'une rue à un pays.

La portée varie aussi suivant les saisons, faible en période estivale et plus importante en période hivernale.

Tableau 1. Valeurs de la portée spatiale du dioxyde d'azote selon l'échelle du domaine.

Echelle	Localisation	Saison	Portée variographique (variogrammes omnidirectionnels uniquement)	Référence
Zone urbaine				
Urbaine 14,3 km ²	Cherbourg	Fév. 2000	3-4 km	Ozdowski, 2000 et Wroblewski et Malherbe, 2005
Urbaine 21,4 km ²	Rouen	Fin sept. 99	8 km	Bobbia et al., 2001
Urbaine 22,2 km ²	Mulhouse	Hiver	6-7 km	Aspa, 2002 et de Fouquet, 2003
		Été	5 km	
Urbaine 23,9 km ²	Bourg-en- Bresse	Été	2,4 km	Malherbe et Cárdenas, 2004
		Hiver	2,6 km	
Urbaine 28,4 km ²	La Rochelle	Été et hiver 2004	4 km	Wroblewski et Malherbe, 2005
Urbaine 34,8 km ²	Lille	Printemps 99	5 km	Cárdenas et Perdrix, 2005
		Hiver 2004	8 km	
Zone régionale				
Zone rurale 4.356 km ²	Zone entre Chartres et Orléans	Été 2002 et printemps 2003	30 km	Olivier, 2006
Zone urbaine 6.750 km ²	Région parisienne	1997-1999	35 km	Bobbia et al., 2000
Région 8.280 km ²	Alsace	2004	50 km	Perron et Jeannée, 2005
Région 25.606 km ²	Champagne- Ardenne	Été 2005	9km et 40 km	Cette étude
		Hiver 2005	13 km et 85 km	
Région 39.151 km ²	Centre	Hiver 2005	20,5 km	Malherbe et Cárdenas, 2005
Zone nationale				
Inter-régions 56.000 km ²	Régions du nord de la France	Été 2000	20 km (zone urbaine)	Air Normand et al., 2002
			200 km (zone rurale)	
Pays 544 000 km ²	France	Été 2003	80-100 km	Honoré et Malherbe, 2004

- *Recommandations générales :*

La cartographie du dioxyde d'azote à partir de mesures par échantillonnage passif convient, en particulier, à la surveillance du respect des valeurs-limites annuelles. Dans ce cas, il est nécessaire de conduire plusieurs campagnes de mesure au cours de l'année civile, notamment en hiver et en été, de façon à obtenir une estimation suffisamment précise de la moyenne. La question du nombre de campagnes à mener relève de l'échantillonnage temporel, thématique non traitée dans ce guide (travaux en cours dans le cadre du GT Plans d'échantillonnage et reconstitution de données).

L'espacement entre les points de mesure doit être inférieur à la portée du phénomène. Il existe à ce jour deux façons de réaliser une cartographie moyenne annuelle (Malherbe et Wroblewski, 2006) :

- l'estimation annuelle est établie à partir des données expérimentales moyennes sur l'année. Dans ce cas, il convient de mesurer le NO₂ aux mêmes points en été et en hiver. Or, la portée variant d'une saison à l'autre, il est nécessaire de considérer un espacement entre les points qui soit inférieur à la portée la plus faible, soit la portée estivale ;
- l'estimation annuelle découle des estimations saisonnières. Un plan d'échantillonnage peut être ajusté pour chaque saison mais on veillera à conserver un nombre suffisant de sites communs à l'été et à l'hiver, et cela, sur l'ensemble du domaine.

D'autre part, la réalisation d'une cartographie par géostatistique nécessite de calculer un variogramme expérimental. La partie du variogramme relative aux distances entre points inférieures à la portée est la plus importante, puisqu'elle renseigne sur la continuité du phénomène. Il est donc impératif de pouvoir la déterminer convenablement, en prévoyant notamment un nombre de couples de points suffisant pour au moins deux distances comprises entre zéro et la portée. On peut raisonnablement proposer de placer des points de mesure séparés de distances égales à :

- zéro (multiplats de points localisés au même emplacement),
- la portée / 3 (soit un tiers de la portée),
- la portée $\times$ 2 / 3 (soit les deux tiers de la portée).

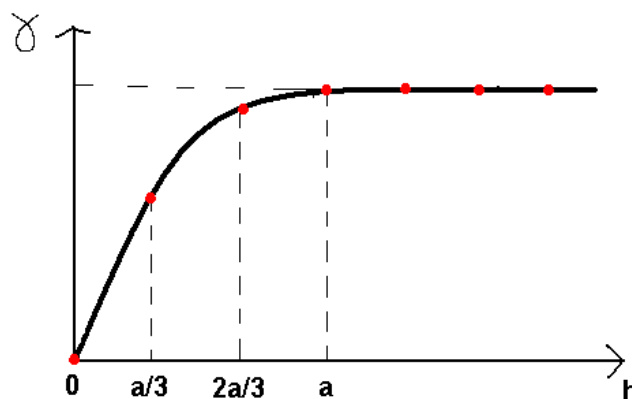


Figure 1 – Schéma d'un variogramme (en rouge, les points expérimentaux ; en noir le variogramme modélisé) renseigné pour au moins deux distances ($a/3$ et $2a/3$) entre zéro et la portée (a).

Pour des points d'échantillonnage répartis exclusivement selon un maillage régulier, il faut donc que la maille soit de taille inférieure ou égale au tiers de la portée. Dans le cas du NO₂, il convient de distinguer l'échelle de la zone surveillée : urbaine, régionale ou nationale (cf. Tableau 1).

En zone urbaine, où la portée varie entre 2,4 et 8 km, cela conduit à considérer des tailles de maille respectivement entre 800 m et 2,6 km maximum.

En zone régionale, où la portée varie entre 20 et 50 km, cela conduit à considérer des tailles de maille respectivement entre 6,5 km et 16,5 km maximum.

LCSQA

**Ecole des Mines de Douai - Département Chimie et Environnement –
INERIS, DRC-07-74775-03939A**

En zone nationale (plusieurs régions ou un pays), où la portée varie entre 80 et 200 km, cela conduit à considérer des tailles de maille respectivement entre 26 km et 66 km maximum.

Ces recommandations générales sont complétées, aux paragraphes suivants (§1.2 et §1.3), par des recommandations plus spécifiques fondées sur l'étude approfondie de plusieurs jeux de données.

1.2 Zones rurales ou régionales

- Liste des jeux de données traités

A l'échelle rurale ou régionale, deux jeux de données, suffisamment riches en points de mesure, ont été étudiés :

- une zone rurale en région Centre (données issues de simulations numériques et données de campagnes de mesure) d'une superficie de 4 356 km² ;
- la région Champagne-Ardenne (données issues de campagnes de mesure) d'une superficie de 25 606 km².

- Recommandations :

- Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier

En **zone régionale**, la taille de maille recommandée est d'environ **10 à 15 km**, soit 1 point pour 100 à 225 km². Au-delà, la carte s'altère sensiblement même si, en validation croisée comme en validation absolue, l'erreur relative peut respecter l'objectif de 30% sur au moins 90% des points.

Sur un **domaine rural plus restreint et sous influence routière**, une maille de **6 km** de côté semble nécessaire pour vérifier les critères de qualité, soit environ 100 points, ou une densité d'échantillonnage de 1 point pour environ 45 km².

- Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier

Si l'existence d'une bonne corrélation avec des variables auxiliaires, par exemple les émissions et la population, est montrée, alors un maillage plus lâche est possible. La taille de maille recommandée est de **25 à 30 km**, soit 1 point pour 625 à 900 km². Il est néanmoins recommandé de resserrer la maille si le nombre de points est inférieur à 50.

En zone rurale localisée l'apport d'une variable auxiliaire, par exemple les émissions, est important notamment lorsque la densité d'échantillonnage est assez faible, de l'ordre de 1 point pour environ 45 km².

- Avec variables auxiliaires - échantillonnage stratifié en fonction des émissions

Dans une étude à l'échelle rurale ou régionale, l'apport d'un échantillonnage stratifié comme il est défini dans le glossaire (chapitre 8) ne paraît pas flagrant, en comparaison d'un échantillonnage régulier. Cette dernière stratégie, plus rapide à élaborer, peut donc suffire. Néanmoins, si des variables auxiliaires sont utilisées dans l'estimation, on s'assurera qu'aux points de mesure, elles parcourent bien la même gamme de valeurs que sur tout le domaine.

- *Limites*

Même avec un échantillonnage relativement dense (maille de 10 km à 15 km), il se peut qu'à l'échelle régionale, en été, sans variables auxiliaires, la faiblesse des concentrations (proches de la limite de quantification) et le caractère moins structuré du variogramme rendent les résultats de l'estimation assez peu précis. Il convient alors soit de réduire la taille de la maille (~6 km), ce qui conduit à augmenter sensiblement le nombre de points, soit de rechercher des variables explicatives adaptées à l'été.

1.3 Zones urbaines

- *Liste des jeux de données traités*

A l'échelle urbaine, trois jeux de données suffisamment riches en points de mesure et correspondant à des villes dont la population est comprise entre 10000 et 100000 habitants, ont été étudiés :

- Le Robert (21 300 habitants, 47,3 km², Martinique) ;
- Cherbourg-Octeville (44 100 habitants, 14,3 km², Manche) ;
- La Rochelle (78 000 habitants, 28,4 km², Charente-Maritime).

- *Recommandations :*

La recommandation est la même selon qu'on dispose ou non d'une variable auxiliaire : 46 à 57 points, disposés selon une maille de **1 à 1,5 km** de côté, soit 1 point pour 1 à 2,25 km², sont nécessaires pour construire un modèle mono- ou multi-variable satisfaisant et restituer convenablement la variabilité spatiale de la concentration.

- *Limites*

L'étude du jeu de données du Robert montre que, dans le cas où les concentrations en polluant sont faibles (proches de la limite de quantification), l'approche géostatistique est inapplicable : la modélisation du variogramme se traduit par un effet pépitique pur.

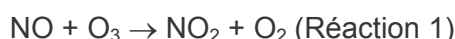
2. CARTOGRAPHIE DE O₃

2.1 Introduction

- Caractéristiques physico-chimiques de l'ozone

L'ozone (O₃) est le polluant photochimique majeur. Sa formation dans la troposphère résulte de transformations chimiques à partir de NO_x, CO et COV (les précurseurs d'ozone), sous l'effet du rayonnement solaire ultraviolet. Il se forme surtout en été.

L'ozone est un oxydant, qui réagit avec le monoxyde d'azote pour former du dioxyde d'azote :



Il en résulte que les teneurs en ozone sont généralement faibles dans les agglomérations, là où les teneurs en NO_x (et notamment en NO) sont élevées. En revanche, les teneurs en ozone sont importantes dans les zones péri-urbaines ou rurales, sous le vent des agglomérations (sources de précurseurs).

L'ozone n'est donc pas émis directement par les activités humaines. Il a cependant la particularité d'être aussi un composé naturel de l'atmosphère. La source principale d'ozone à l'échelle globale reste la formation naturelle dans la stratosphère, qui contient environ 90% de la quantité totale d'ozone de l'atmosphère. Cette source naturelle stratosphérique est à l'origine d'environ 20% de l'ozone de la troposphère, les 80% restants étant attribués à la source photochimique. Sa concentration de fond a quadruplé en un siècle pour atteindre aujourd'hui 100 µg/m³ en moyenne annuelle. L'accroissement est de l'ordre de 1 à 2 % par an. Cette augmentation est directement liée à celle des principaux précurseurs (Académie des Sciences, 1993).

- Réglementation relative à l'ozone :

- Valeurs cibles réglementaires

La Directive Européenne 2002/3/CE définit des valeurs cibles en ozone pour la protection de la santé humaine ou de la végétation :

**Tableau 4. Valeurs limites réglementaires pour l'ozone
(directive européenne 2002/3/CE).**

Polluant	Période de base	Valeur-seuil (à 293°K et 101,3 kPa)	Objectif	Date d'entrée en vigueur
O ₃	8 h	120 µg/m ³ (< 25 j/an)	santé	01/01/2010
O ₃	Mai à Juillet	AOT40 ⁽¹⁾ < 18.000 µg/m ³ .h	écosystèmes	01/01/2010

(1) AOT 40 : cumul sur une période donnée des teneurs moyennes horaires en excès d'un seuil de 40 ppb (80 µg/m³)

- Qualité requise des cartes

La qualité requise pour la cartographie de l'O₃ peut se déduire indirectement de l'Annexe VII de la Directive Européenne 2002/3/CE qui fixe, en ce qui concerne l'incertitude :

- dans le cas d'une modélisation de la moyenne annuelle, un objectif de qualité de 50% ;
- dans le cas d'une estimation objective, quel que soit le type de moyenne considéré, un objectif de qualité de 75%.

- *Echantillonnage passif de l'ozone*

L'ozone peut être mesuré par échantillonnage passif, par tube de Palmes (diffusion axiale, exposition longue d'au moins 1 semaine) ou plus généralement par tube Radiello (diffusion radiale, exposition courte). Les analyses peuvent être menées par colorimétrie (très répétable) ou HPLC (plus sensible, moins répétable).

Afin de pouvoir satisfaire à la surveillance réglementaire pour la protection de la santé humaine (valeur moyenne calculée sur 8 heures), le tube Radiello a été évalué par le LCSQA pour une durée d'exposition de 8 heures (Piechocki et al. ; 2003). En ce qui concerne la justesse, les résultats des expositions sur 8 heures montrent un très bon accord ($R^2 = 0,90$) entre les valeurs des échantillonneurs munis de cartouches Radiello et les concentrations en ozone relevées par les analyseurs automatiques. La répétabilité est de l'ordre de 5%. La limite de détection de la méthode est d'environ $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 12% de la valeur-seuil réglementaire sur 8 heures pour la protection de la santé humaine). Les incertitudes élargies associées aux mesures réalisées par les échantillonneurs munis de cartouches Radiello se situent à 23% pour une concentration en ozone de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour des raisons pratiques, notamment logistiques, de nombreuses AASQA exposent les échantillonneurs passifs sur des durées de 7 jours. Dans ce cas, les réponses des tubes munis de cartouches Radiello sont toujours en bonne adéquation avec les mesures des analyseurs. Cependant, le coefficient de corrélation ($R^2=0,87$) est légèrement inférieur à celui obtenu pour les expositions de 8 heures ; la justesse est donc un peu moins bonne. La répétabilité reste cependant excellente (4%).

- *Caractéristiques des sites d'échantillonnage de l'ozone*

L'ozone se formant principalement à la périphérie des villes ou en zone rurale, les sites de surveillance sont essentiellement de typologie périurbaine ou rurale.

A noter que le comportement de l'ozone sur un sommet ou dans une plaine est différent. Sur un sommet d'altitude supérieure à celle de la couche de mélange atmosphérique, la concentration en ozone restera constante au cours de la journée et présentera une valeur élevée (valeur de fond dans l'atmosphère libre). En revanche, dans une plaine, la concentration en ozone variera au cours de la journée, suivant la dynamique de la couche de mélange atmosphérique. Néanmoins, des valeurs très élevées peuvent être également obtenues en plaine.

Par ailleurs, en zone littorale, des phénomènes de brise de mer / brise de terre peuvent engendrer des concentrations en ozone élevées.

Les nappes d'ozone se formant et se dispersant sur de grandes étendues (50-100 km), l'échelle spatiale appropriée est celle d'une zone rurale, d'une région ou d'un pays.

- *Caractéristiques géostatistiques de l'ozone*

Dans le cadre de la géostatistique, l'étude du variogramme expérimental permet d'apprécier la structure spatiale d'un phénomène de pollution atmosphérique, notamment son extension et sa variabilité spatiale. L'extension est caractérisée par une dimension caractéristique, la portée, généralement exprimée en kilomètres. Comme dans le cas d'une pollution photochimique l'échelle du phénomène est importante, la portée l'est aussi.

Tableau 3. Valeurs de la portée spatiale de l’ozone selon l’échelle du domaine.

Echelle	Localisation	Saison	Portée variographique (uniquement variogrammes omnidirectionnels)	Référence
Département 7340 km ²	Allier	Eté 2001	20 km	Cárdenas et Malherbe, 2002
Département 7431 km ²	Isère	Eté 2001	10 km	Chaxel, 2001
Région 8.280 km ²	Alsace	Eté 2004	50 km	Perron et Jeannée, 2005
Région 41300 km ²	Aquitaine	Eté 2002	20km et 120 km	Cette étude
Région 62400 km ²	Auvergne et départements limitrophes	Eté 2005	32 km et 100 km (U+PU+R) 70 km (PU+R)	Cette étude
Région 14652 km ²	Bouches-du- Rhône, Var et Vaucluse	Eté 2003	10 km et 40-60 km	Mary, Fayet et Jeannée, 2004
Région 43700 km ²	Rhône-Alpes	Eté 2002	75-100 km	Cette étude et Atmo-Rhône-Alpes (2003)
Inter-régions 56.000 km ²	Régions du nord de la France	Eté 2000	30 km et 150 km	Cárdenas et Malherbe, 2003

- Recommandations générales :

La cartographie de l’ozone à partir de mesures par échantillonnage passif n’est généralement pas utilisée pour exercer une surveillance réglementaire, au sens strict, puisque les durées d’exposition des tubes (1 semaine) sont couramment plus longues que les périodes de base des valeurs-seuils réglementaires (1h ou 8h). Cependant, ces cartographies d’ozone présentent un réel intérêt pour discriminer les zones de fortes concentrations (périphérie des villes, zones rurales, forêts, montagnes, littoraux...) des zones de faibles concentrations (puits d’ozone).

Les campagnes sont conduites en été (entre avril et septembre), période où la population est davantage exposée à la pollution atmosphérique extérieure d’ozone.

Afin d’établir une cartographie par géostatistique, l’espacement entre les points de mesure doit être inférieur à la portée du phénomène, qui est d’environ 10-50 km à l’échelle d’un département et 70-150 km à l’échelle d’une région. De plus, pour que le début du variogramme expérimental soit calculé avec suffisamment de points, il est souhaitable que la taille de maille d’un échantillonnage régulier ne dépasse pas le tiers de la portée, soit une taille de maille d’environ 3 à 15 km maximum à l’échelle d’un département et d’environ 25 à 50 km maximum à l’échelle d’une région.

On peut noter toutefois que pour des territoires de taille importante, comprenant plusieurs noyaux urbains et plusieurs zones rurales, les deux gammes de portée (10-50 km et 70-150 km) sont observées simultanément. Un maillage irrégulier peut alors se révéler nécessaire.

Ces recommandations générales sont complétées, au paragraphe suivant (§2.2), par des recommandations plus spécifiques fondées sur l’étude approfondie de plusieurs jeux de données.

2.2 Zones rurales ou régionales

- Liste des jeux de données traités

Trois jeux de données ont été étudiés, relatifs aux régions suivantes :

- Aquitaine (41 300 km² ; peu de relief sauf une partie montagneuse au sud du domaine - Pyrénées - ; zone côtière à l'ouest ; 108 points de mesure par échantillonnage passif) ;
- Rhône-Alpes (43700 km² ; relief contrasté ; 470 points de mesure par échantillonnage passif) ;
- Auvergne et départements limitrophes (62400 km² ; relief contrasté ; 48 points de mesure par analyseur en station fixe ou moyen mobile).

- Recommandations :

- Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier

Les recommandations suivantes s'appliquent à la cartographie des principales tendances de l'ozone dans une région.

Dans des **domaines de relief contrasté, une maille de 20 km maximum de côté**, soit une densité d'échantillonnage de 1 point pour au plus 400 km², semble nécessaire pour apprécier la structure spatiale du phénomène et élaborer une cartographie conforme aux critères de qualité. En Rhône-Alpes, un tel échantillonnage représente environ 115 points de mesure. Dans des **domaines relativement homogènes**, comme la région Aquitaine (hors Pyrénées), **une maille plus lâche, de 30 km de côté**, soit 1 point pour au plus 900 km², paraît suffisante. En Aquitaine (superficie proche de celle de Rhône-Alpes), un tel échantillonnage représente environ 66 points de mesure.

Au voisinage d'hétérogénéités locales dues à l'urbanisation, au relief, à la mer, etc., une représentation plus détaillée de la pollution d'ozone nécessite un échantillonnage plus dense.

- Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier

Si l'on dispose d'une variable explicative, **une maille de 30 km maximum de côté**, soit 1 point pour environ 900 km², permet d'atteindre une précision d'estimation satisfaisante. En Rhône-Alpes, un tel échantillonnage représente environ 60 points de mesure.

- Limites :

L'altitude n'apparaît pas comme une variable auxiliaire suffisamment pertinente pour estimer correctement les concentrations d'ozone dans tous les cas (en région Rhône-Alpes, par exemple). En particulier les concentrations d'ozone à faible altitude peuvent varier dans une large gamme, en raison du mode de formation de ce polluant. Ainsi, en plaine, on mesure à la fois de faibles concentrations en zone urbaine et de plus fortes concentrations en zone rurale ou côtière, similaires à celles que l'on observe en montagne.

Il paraîtrait judicieux d'explorer d'autres variables auxiliaires potentielles dans des travaux futurs, notamment les données issues de la base Corine Land Cover gérée par l'IFEN et dont une classification opportune restera à définir à partir des données brutes, et les données de population, qui devraient toutes les deux refléter de manière plus significative le comportement spatial de l'ozone. Il serait alors possible d'étudier la dégradation d'un maillage stratifié en fonction de ces nouvelles variables.

3. CARTOGRAPHIE DU BENZENE

3.1 Introduction

- *Caractéristiques physico-chimiques du benzène*

Le benzène est un COV (composé organique volatil) de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques. C'est un produit de base de la chimie organique. La consommation française est de 700000 t par an.

Le benzène est un composé majeur de la pollution atmosphérique urbaine. Les installations de combustion, notamment pour le réseau de chauffage urbain au gaz naturel, émettent du benzène. En 2002, plus de 57% des émissions de benzène étaient d'origine résidentiel/tertiaire (CITEPA). Les émissions du trafic automobile représentent plus d'un quart (26%) des émissions totales de benzène en 2002 (CITEPA), dues notamment aux gaz d'échappement des véhicules à essence catalysés. Néanmoins la teneur en benzène des carburants est réglementée. Enfin l'industrie, où le benzène est utilisé comme solvant, représente 9% des émissions de benzène en 2002 (CITEPA).

Les teneurs en benzène dépendent plus ou moins de sources saisonnières : chauffage urbain en hiver, mais aussi évaporation des carburants (stations-services, réservoirs) en été.

- *Réglementation :*

- Valeurs limites réglementaires

La Directive Européenne 2000/69/CE impose une valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène (à 293°K et 101,3 kPa) qui entrera en vigueur le 01/01/2010. En France l'objectif de qualité de l'air est fixé à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par le décret 2002-213 du 15 février 2002.

- Qualité requise des cartes

La qualité requise pour la cartographie du benzène peut se déduire indirectement de l'Annexe VI de la Directive Européenne 2000/69/CE qui fixe :

- dans le cas d'une modélisation de la moyenne annuelle, un objectif de qualité de 50% ;
- dans le cas d'une estimation objective, quel que soit le type de moyenne considéré, un objectif de qualité de 100%.

- *Echantillonnage passif du benzène*

L'échantillonnage passif est utilisé pour la mesure du benzène par la quasi-totalité des AASQA. L'échantillonneur le plus utilisé est le tube Radiello (à diffusion radiale) code 145 (analyse par désorption thermique), suivi du tube Radiello code 130 (analyse par désorption chimique).

La durée d'exposition recommandée par le LCSQA pour le tube Radiello code 145 est d'au maximum 7 jours. Néanmoins, certaines AASQA exposent ces tubes sur des durées de 14 jours.

Des essais de répétabilité (plusieurs tubes sur un même site) montrent que, pour les tubes Radiello code 130 et code 145, les coefficients de variation sont en moyenne de 4 à 8 % avec des maxima allant de 30 à 43 % pour de faibles teneurs.

Les valeurs des blancs de terrain (tubes fermés placés dans les mêmes conditions que les tubes ouverts exposés) sont 0,1 à 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène.

La pratique française de la mesure du benzène par échantillonnage passif est décrite notamment dans les rapports de synthèse du Groupe de Travail « benzène » (Locoge et al., 2005).

- *Caractéristiques des sites d'échantillonnage du benzène*

Le benzène est un polluant essentiellement urbain, lié au secteur résidentiel/tertiaire et au trafic. Les campagnes de mesure sont donc généralement menées en zone urbaine. Elles peuvent avoir lieu tout au long de l'année : en hiver mais aussi en été, saison où une partie du benzène de l'air ambiant peut provenir de l'évaporation des carburants.

- *Caractéristiques géostatistiques du benzène*

Dans le cadre de la géostatistique, l'étude du variogramme expérimental permet d'apprécier la structure spatiale d'un phénomène de pollution atmosphérique, notamment son extension et sa variabilité spatiale. L'extension est caractérisée par une dimension caractéristique, la portée, généralement exprimée en kilomètres.

Tableau 5. Valeurs de la portée spatiale du benzène selon l'échelle du domaine.

Echelle	Localisation	Saison	Portée variographique	Référence
Urbaine 13,2 km ²	Troyes	Eté 1998	1,9 km	Cette étude
Urbaine 21,4 km ²	Rouen	1998	3 km	Bobbia et al., 2000
Urbaine 22,2 km ²	Mulhouse	-	3,5-4,5 km	Aspa, 2002
Urbaine ~ 64 km ²	Agen	Eté. 2002	1 km et 3,2 km	Cette étude
Urbaine ~ 130 km ²	Bourges	Avril 2001	1,5-2 km	Cette étude
Urbaine 150 km ²	Le Havre	hiver	3 km	Roth, 1999
Urbaine ~1.400 km ²	Orléans	Oct.-nov. 2001	4,3 km	Cette étude
Urbaine 1.580 km ²	Arrondissement de Lille	Mai-juin 2003	4 km	Sagnier et al., 2003
Régionale 8.280 km ²	Alsace	2004	35 km	Perron et Jeannée, 2005
Régionale 21.450 km ²	Ile-de-France	Hiver 1999	Anisotropie : Direction 1 : 10 km Direction 2 : 40 km	Bobbia et al., 2001

- *Recommandations générales :*

La future directive européenne imposant en 2010 une surveillance de la moyenne annuelle en benzène, la cartographie du benzène à partir de mesures par échantillonnage passif est appropriée à la surveillance de ce polluant. Il convient de mener des campagnes en saisons estivale et hivernale pour obtenir une estimation suffisamment précise de la valeur moyenne. Le nombre de campagnes à mener relève de l'échantillonnage temporel, thématique non traitée dans le cadre de ce guide (travaux en cours dans le cadre du GT Echantillonnage temporel).

Dans le but d'établir une cartographie par géostatistique, l'espacement entre les points de mesure doit être inférieur à la portée du phénomène, environ 3 à 5 km à l'échelle d'une agglomération et aux alentours de 35-40 km à l'échelle d'une région. De plus, il est

souhaitable, afin que dans chaque classe de distance le variogramme expérimental soit calculé avec assez de points, que la taille de maille d'un échantillonnage régulier ne dépasse pas le tiers de la portée, soit une taille de maille d'environ 0,5 à 1,5 km maximum à l'échelle d'une agglomération et d'environ 12-14 km maximum à l'échelle d'une région.

Ces recommandations générales sont complétées, au paragraphe suivant (§3.2), par des recommandations plus spécifiques fondées sur l'étude approfondie de plusieurs jeux de données.

3.2 Zones urbaines

- *Liste des jeux de données traités*

A l'échelle urbaine, deux jeux de données suffisamment riches en points de mesure ont été étudiés. L'un correspond à une ville dont la population est comprise entre 10.000 et 100.000 habitants (Agen), l'autre à une ville dont la population atteint près de 200.000 habitants (Lille) :

- Agen (30.170 habitants, 11,5 km², Lot-et-Garonne) ;
- Lille (178.700 habitants, 34,8 km², Nord).

Les recommandations s'appuient également sur l'étude variographique de jeux de données relatifs aux villes de Troyes, Bourges et Orléans, disponibles dans les annexes de ce guide sur le site www.lcsqa.org/.

- *Recommandations :*

- Sans variables auxiliaires - échantillonnage régulier

Dans le cas d'une **ville importante** (Lille), un maillage régulier optimal de **5 km** de côté pour les deux saisons est recommandé, soit environ 55 points répartis régulièrement sur le domaine d'étude. La densité d'échantillonnage est d'environ 1 point pour 30 km² à l'échelle du domaine.

Dans le cas d'une **ville plus petite** (Agen), **en périphérie**, l'échantillonnage adopté (un point par maille d'environ **1,5 km à 2,5 km** de côté) permet une estimation satisfaisante des niveaux de concentration.

- Avec variables auxiliaires - échantillonnage régulier

Dans le cas de Lille, les estimations effectuées à partir des mêmes maillages réguliers en tenant compte des variables auxiliaires ne nous ont pas permis d'améliorer les estimations des concentrations de benzène. Nous avons au contraire observé une dégradation de la qualité d'estimation.

Dans le cas d'Agen, nous observons en outre qu'un cokrigeage homotopique avec le NO₂ (benzène et dioxyde d'azote mesurés aux mêmes sites) n'agit pas sur la qualité de l'estimation. En revanche, le résultat est autre si l'on dispose de données de NO₂ en des points n'ayant pas fait l'objet de mesures de benzène. L'introduction de ces données dans le cokrigeage accroît la précision de l'estimation, notamment aux points de plus forte concentration en benzène. Dans le cas étudié, les mesures de NO₂ et de benzène sont concomitantes ; cependant l'utilisation de données antérieures ou postérieures de NO₂ est envisageable si les concentrations des deux polluants sont bien corrélées.

- *Limites :*

Dans le cas de Lille, les modèles de variogramme déterminés pour l'étude sans variable auxiliaire sont beaucoup plus robustes que ceux déterminés avec variable auxiliaire, et ceci peut expliquer – du moins en partie – les différences moindres entre les estimations réalisées à partir des sélections et à partir du jeu de données de référence.

Dans le cas d'Agén, la variabilité des concentrations en centre-ville fait qu'en dépit du resserrement de l'échantillonnage, certaines valeurs peuvent être mal ré-estimées par validation croisée (cette moindre précision n'apparaît pas sur les cartes d'écart-type de krigeage puisque celui-ci dépend du modèle de variogramme et de la configuration géographique des données mais non pas de la variabilité locale des concentrations).

4. IMPLANTATION OU VALIDATION D'UNE STATION FIXE

L'implantation d'une station fixe requiert, entre autres, une bonne connaissance des teneurs en polluant dans la zone considérée. Il est donc important de déterminer la variabilité spatiale et temporelle du polluant.

La stratégie adoptée par les AASQA comporte généralement deux étapes² :

1. élaboration de cartographies du polluant sur la zone considérée, à partir de campagnes par échantillonnage passif. Ces cartographies doivent permettre de refléter la variabilité spatiale du polluant et sa variabilité saisonnière (variabilité temporelle longue).
2. étude des variations horaires des concentrations en polluant pendant plusieurs jours (variabilité temporelle courte), si nécessaire pour des saisons contrastées, à partir des mesures effectuées par un analyseur généralement placé dans un laboratoire-mobile.

Cette stratégie donne en général satisfaction et peut donc être recommandée.

Pour l'élaboration des cartographies par échantillonnage passif, on se reportera aux chapitres 1 à 3 du présent Guide de Recommandations.

Pour l'étude de la variabilité temporelle du polluant, on se référera aux travaux en cours du GT Echantillonnage temporel.

5. VALIDATION DE MODELE, ASSIMILATION DE DONNEES

Cette partie aborde la question de l'échantillonnage spatial dans le cadre de la modélisation déterministe de l'ozone et du dioxyde d'azote. L'enjeu de la mesure est d'obtenir des données adaptées à la validation d'un modèle ou à la correction des valeurs simulées. Les indications fournies reposent exclusivement sur une étude

² Voir par exemple LIGAIR, 2004, 2005 ; ATMO Champagne-Ardenne, 2002, 2005

bibliographique et sur des retours d'expérience (LCSQA, AASQA). Avec le développement des modèles régionaux/urbains/de rue dans les AASQA, et les travaux sur la pollution de proximité prévus par le LCSQA³, elles pourront être ultérieurement complétées et étendues à d'autres polluants (le benzène par exemple).

5.1 Validation de modèle

De façon générale, l'implantation des données de mesure doit satisfaire le plus possible aux contraintes suivantes :

- Les points de mesure sont représentatifs vis-à-vis du modèle, c'est-à-dire que la valeur de concentration mesurée et la valeur modélisée dans la maille correspondante quantifient la même échelle de pollution ;
- La répartition spatiale des points de mesure permet de bien cerner le phénomène que le modèle est censé décrire : pollution de fond régionale ou urbaine, impact d'une source d'émissions (industrie, axe routier).

En outre, la technique de mesure doit correspondre à l'échelle de temps considérée, par exemple, selon qu'on éprouve la capacité du modèle de prévoir les variations temporelles de concentration ou qu'on teste son aptitude à estimer une moyenne annuelle. Du choix de la technique dépend aussi la stratégie d'échantillonnage spatial.

Le tableau 6 fournit des indications générales qui pourront s'enrichir avec l'expérience.

Tableau 6. Recommandations d'échantillonnage pour la validation de modèle.

Type de phénomène pour lequel le modèle est validé	Echelle de temps pour laquelle le modèle est validé	Recommandations sur la répartition des sites d'échantillonnage	Echantillonnage proposé
Pollution de fond régionale – répartition des concentrations	Heure	Choix de sites ruraux et périurbains, éventuellement de sites urbains considérés comme représentatifs de phénomènes de panache. Répartition régulière des points de mesure.	Sites temporaires (moyens mobiles avec analyseurs embarqués), en complément des stations de mesure fixe. cf. exemple a) ci-après
Pollution de fond régionale – pic journalier dans le domaine	Heure	Répartition prédéfinie des sites de mesure complémentaires (répartition régulière sur le domaine). Lieu du ou des points d'échantillonnage	Un ou plusieurs moyens mobiles se déplaçant dans le domaine (analyseurs embarqués), en complément des

³ Etude LCSQA EMD-INERIS, 2007. Evaluation des modèles de qualité de l'air à proximité des axes routiers.
LCSQA
Ecole des Mines de Douai - Département Chimie et Environnement –
INERIS, DRC-07-74775-03939A

Type de phénomène pour lequel le modèle est validé	Echelle de temps pour laquelle le modèle est validé	Recommandations sur la répartition des sites d'échantillonnage	Echantillonnage proposé
		supplémentaires décidée ensuite au jour le jour	stations de mesure fixe. cf. exemple b) ci-après
Pollution de fond à l'échelle d'une agglomération	Heure	Choix de sites urbains et périurbains de fond. La localisation du ou des moyens mobiles doit permettre d'étendre la couverture spatiale du réseau de mesure.	Moyens mobiles (analyseurs embarqués), en complément des stations de mesure fixe.
Pollution de fond à l'échelle d'une agglomération	Long terme (saison, année,...)	Répartition régulière des points de mesure. Choix de sites urbains et périurbains de fond.	Echantillonneurs passifs. Si l'on ne cherche pas à réaliser d'interpolation géostatistique, les contraintes sur le nombre de points sont moins fortes que pour le krigeage. Toutefois, la population de données doit permettre de calculer des statistiques d'erreur fiables. Une trentaine de points est ainsi suggérée.
Pollution de proximité routière	Heure	Choix de sites de proximité. Si possible, localisation des mesures à différentes distances de la route.	Moyens mobiles, (analyseurs embarqués), en complément des stations de mesure fixe
Pollution de proximité routière	Long terme (saison, année,...)	Echantillonneurs répartis sur des droites perpendiculaires à la route.	Echantillonneurs passifs

a) La campagne de mesure réalisée sur la région Auvergne et les départements limitrophes (LIMAIR, 2005) offre un exemple d'un tel échantillonnage. Durant l'été 2005, ATMO Auvergne, AMPASEL, ATMOSF'AIR, ASQUADRA, LIG'AIR et LIMAIR ont mis en commun leurs dispositifs mobiles pour enrichir le réseau fixe existant et couvrir de façon homogène l'ensemble du domaine (~13 km × 12 km). Ce regroupement de moyens a permis de mesurer l'ozone en continu en 20 sites urbains, 8 sites périurbains et 19 sites ruraux (stations fixes incluses) pendant toute la saison estivale. Cette expérience a été renouvelée en 2006, sur un domaine plus restreint. La comparaison à la modélisation déterministe et l'affinement des simulations sont notamment visés par ces campagnes.

b) Pour ce type d'échantillonnage, on peut se reporter à l'étude conduite par ORAMIP pendant l'été 2003 (ORAMIP, 2003). D'une part, 17 stations de mesure fixe ont permis de comparer sur toute la saison le modèle et la mesure. D'autre part,

l'ORAMIP a mobilisé un véhicule équipé d'un analyseur automatique. 18 communes réparties dans toute la région ont été préalablement sélectionnées comme sites possibles d'échantillonnage. La décision de conduire dans l'une ou l'autre le véhicule s'est faite au fil du temps, en fonction des pics de concentration prévus par le modèle CHIMERE.

5.2 Adaptation statistique de simulations

Actuellement, l'adaptation statistique des sorties de modélisation, telle qu'elle est pratiquée dans le système national PREV'Air (www.prevair.org) ou dans les systèmes régionaux de modélisation, est effectuée par krigeage au moins quotidiennement. Elle concerne principalement la cartographie de l'ozone et éventuellement, celle de l'indice de qualité de l'air (dans la plate-forme ESMERALDA, www.esmeralda-web.fr).

Cette production régulière de cartes, qui nécessite de disposer d'observations au jour le jour, conduit naturellement à utiliser les données des stations de mesure automatique. Néanmoins, l'échantillonnage par moyen mobile (camion laboratoire, remorque) peut trouver sa place en complément des stations fixes :

- lorsque l'adaptation statistique n'est effectuée qu'une partie seulement de l'année, notamment la saison estivale pour l'ozone. Dans ce cas, des campagnes comparables à celles qui ont été menées en Auvergne et dans les départements limitrophes peuvent être envisagées ;
- lorsque la durée d'échantillonnage est suffisante pour envisager, hors des périodes de mesure, une reconstitution relativement précise des concentrations horaires. Une telle approche a été adoptée pour l'ozone par ATMO Poitou-Charentes au sein du système SYRSO.

Comme pour la validation, les sites de mesure doivent être représentatifs par rapport à la maille du modèle. De plus, ils doivent être en nombre assez important (une cinquantaine si possible) afin de pouvoir construire un modèle de corrélation spatiale et appliquer les méthodes de krigeage (krigeage des innovations, krigeage avec dérive externe, cokrigeage) dans des conditions favorables.

A titre d'exemple,

- dans le domaine centré sur l'Auvergne, l'utilisation complémentaire de moyens mobiles a permis d'atteindre un effectif de 47 sites. Ceux-ci se répartissent en 38 points, si l'on tient compte de paires ou triplets de stations rapprochées (implantées dans même agglomération), soit 1 point pour environ 1650 km².
- dans la région Poitou-Charentes, la reconstitution de données à partir de campagnes d'échantillonnage par moyen mobile permet de compléter le réseau existant (32 stations de fond dont 18 des régions périphériques) par 18 « pseudo-stations » (Jeannée, 2004). Un effectif de 50 points de mesure est ainsi atteint.

La question de la cartographie régionale du NO₂ par adaptation statistique des sorties de PREV'Air sera traitée en 2007. On y examinera la possibilité d'exploiter des campagnes par échantillonnage passif. Cette étude s'appuiera sur les travaux du LCSQA relatifs à l'analyse (Honoré et Malherbe, 2003) et à la cartographie automatique du NO₂ (Cárdenas et Perdrix, 2006). De nouvelles recommandations pour l'échantillonnage pourront en découler.

6. CONCLUSION

Une stratégie (ou plan) d'échantillonnage spatial doit répondre aux questions suivantes :

- combien de points de mesure ?
- où les placer ?

Ce guide donne quelques recommandations, spécifiques à chaque polluant (NO₂, O₃ ou C₆H₆), afin d'aider à la mise en place d'un plan d'échantillonnage permettant de répondre à un certain objectif :

- surveillance et cartographie,
- implantation ou validation d'une station fixe,
- validation ou calage d'un modèle.

Il est clair que ce guide n'offre que des lignes directrices, qui doivent être affinées, au cas par cas, en fonction des contraintes (par exemple, financières) ou en tenant compte des expériences passées.

Cette première version du guide s'enrichira des travaux futurs prévus en 2007.

7. BIBLIOGRAPHIE

Académie des Sciences, Oct. 1993. Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère, Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, 262 pages.

ADEME et MEDD - Guide en matière d'équipements pour la surveillance de la qualité de l'air ambiant dans les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air, Décembre 2004, 34 pages.

ADEME/LCSQA/Fédération ATMO, Sept. 2002. Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, 143 pages, www.ademe.fr

Air Normand, Airparif, Atmo Nord-Pas-de-Calais et Atmo Picardie, Mars 2002. Campagne inter-régionale d'étude de l'ozone et du dioxyde d'azote sur le nord de la France par tubes à diffusion passive. Rapport, 37 pages.

AIRAQ, 2002. Campagnes de mesure par échantillonnage passif. Agglomération d'Agen. Rapport n° ET/CA/02/05, www.airaq.asso.fr.

AIRAQ, 2003. Ozone. Cartographie et bilan estival. Rapport n° ET/CA/CA/03, www.airaq.asso.fr.

ASPA, Mars 2002. Annexe au rapport final sur la répartition spatiale de la pollution atmosphérique - Méthodes d'interpolation spatiale. Rapport ASPA 02031901-I-D, 14 pages, www.atmo-alsace.net

ATMO Champagne-Ardenne, 2002. Etude des teneurs en dioxyde d'azote dans l'agglomération de Charleville-Mézières. Hiver et été 2002. Rapport disponible sur le site www.atmo-ca.asso.fr.

ATMO Champagne-Ardenne, 2005. Rapport d'activité, disponible sur le site www.atmo-ca.asso.fr.

ATMO-Rhône-Alpes, 2003, Cartographie de l'ozone estival sur la région Rhône-Alpes – Été 2002.

BOBBIA Michel, MIETLICKI Fanny et ROTH Chris, 2000. Surveillance de la qualité de l'air par cartographie : l'approche géostatistique. Poster présenté à INRETS 2000, 5-8 juin à Avignon (France), 4 pages, www.geovariances.com

BOBBIA Michel, PERNELET Valérie et ROTH Chris, 2001. L'intégration des informations indirectes à la cartographie géostatistique des polluants. Pollution Atmosphérique N°170, 251-254

CARDENAS Giovanni et MALHERBE Laure, Déc. 2002. Représentation de la qualité de l'air dans les zones peu/pas couvertes par les stations de mesure fixes : partie II, application à la problématique d'une association. Rapport LCSQA, 59 pages, www.lcsqa.org

CARDENAS Giovanni et PERDRIX Esperanza, Nov. 2005. Adaptation de méthodes géostatistiques à la cartographie automatique de NO₂. Rapport LCSQA, 89 pages, www.lcsqa.org

CARDENAS Giovanni et MALHERBE Laure, Déc. 2003. Evaluation des incertitudes associées aux méthodes géostatistiques: ANNEXE B Analyse d'un jeu des données d'ozone fourni par AIRNORMAND. Rapport LCSQA, 67 pages, www.lcsqa.org

CHAXEL E., Oct. 2001. Mise en place d'une méthodologie pour la cartographie de l'ozone à l'échelle du département de l'Isère. Rapport Ascoparg, 139 pages, www.atmo-rhonealpes.org

DE FOUQUET C., 2003. Estimation de la concentration annuelle en NO₂. Quelques exemples. Présentation au séminaire « Surveillance et cartographie », 23 octobre 2003.

HONORE Cécile et MALHERBE Laure, Nov. 2004. Application de modèles grande échelle à la problématique régionale : cartographie de l'ozone et du dioxyde d'azote. Rapport LCSQA, 84 pages, www.lcsqa.org

JEANNEE, 2004. Assistance technique à la mise en place d'une procédure de cartographie automatique en temps réel pour l'ozone. Annexe au rapport LCSQA d'assistance en modélisation, Rouil L. et Malherbe L., www.lcsqa.org

LIGAIR, 2004. Qualité de l'air, agglomération de Montargis, campagne de mesure. Rapport final disponible sur le site www.ligair.fr.

LIGAIR, 2005. Qualité de l'air, agglomération de Vierzon, campagne de mesure. Rapport final disponible sur le site www.ligair.fr.

LIMAIR, 2006. Etude ozone – été 2005. Région Limousin. Rapport référencé ETD/2005/13, disponible sur le site www.limair.asso.fr.

LOCOGE Nadine, PLAISANCE Hervé et GALLOO Jean Claude, Nov. 2005. Surveillance du benzène et des COV. Rapport LCSQA, 126 pages, www.lcsqa.org

MALHERBE Laure et WROBLEWSKI André, 2006. Synthèse des techniques de cartographie du NO₂ : valorisation des travaux 2003 – 2005. Rapport LCSQA.

MALHERBE Laure et CARDENAS Giovanni, Nov. 2005. Application des méthodes géostatistiques pour l'exploitation conjointe des mesures de fond et de proximité. Rapport LCSQA, 55 pages, www.lcsqa.org

MALHERBE Laure et CARDENAS Giovanni, Nov. 2004. Géostatistiques et prise en compte de l'aspect temporel. Rapport LCSQA, 76 pages, www.lcsqa.org

MALHERBE Laure et ROUIL Laurence, Déc. 2003. Méthodes de représentation de la qualité de l'air. Guide d'utilisation des méthodes de la géostatistique linéaire. Rapport LCSQA, 71 pages, www.lcsqa.org

MARY L., FAYET S. et JEANNEE N., 2004. Evaluation des outils de cartographie de la pollution par l'ozone dans les Bouches-du-Rhône, le Var et le Vaucluse. Rapport disponible sur le site www.airmaraix.com.

OLIVIER P., WROBLEWSKI A., 2001. Application d'un modèle de dispersion de polluants atmosphériques en zone rurale influencée. Rapport LCSQA-EMD, www.lcsqa.org

OLIVIER Philippe, 2006. Modélisation de la pollution atmosphérique en zone rurale influencée, application aux cartographies mensuelles et annuelles des oxydes d'azote. Thèse INSA de Rouen, 310 pages.

OZDOWSKI J., 2000. Etude préalable à l'implantation d'une station fixe de mesure de la pollution atmosphérique dans l'agglomération cherbourgeoise. Rapport Air C.O.M., 35 pages.

PERRON Gille et JEANNEE Nicolas, janv. 2005. Cartographie régionale NO₂, C₆H₆, O₃ en Alsace. Rapport Aspa, 47 pages, www.atmo-alsace.net

PIECHOCKI Audrey et PLAISANCE Hervé, Déc. 2003. Étude de la préparation et de l'analyse des tubes Radiello O₃ et intercomparaison des méthodes sur site. Rapport LCSQA, 59 pages, www.lcsqa.org

ROTH Chris, Déc. 1999. Etude géostatistique des données de pollution des agglomérations du Havre et de Rouen. Rapport Géovariances, 58 pages, www.geovariances.com

SAGNIER I., DUSART A., DEGUINE J., Août 2003. Cartographie de la répartition de la pollution urbaine par la méthode des échantillonneurs passifs sur l'arrondissement de Lille : campagne été. Rapport AREMA-LM, 92 pages.

WROBLEWSKI A., PERDRIX E., OLIVIER P., 2003. Cartographie de la pollution atmosphérique en zone rurale influencée au moyen d'un modèle déterministe de dispersion des polluants. Rapport LCSQA-EMD, www.lcsqa.org

WROBLEWSKI André et MALHERBE Laure, Nov. 2005. Adaptation des plans d'échantillonnage spatial aux objectifs de campagne. Rapport LCSQA, 124 pages, www.lcsqa.org

8. GLOSSAIRE

Nous rappelons ci-dessous la définition de certains termes ou de certains principes utilisés dans les études :

Analyse en composantes principales :

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle permettant de représenter synthétiquement un ensemble de données. Elle sert à identifier des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. Ces variables sont par exemple des concentrations hebdomadaires ou bihebdomadaires mesurées pendant plusieurs périodes successives sur un ensemble de tubes et des variables auxiliaires connues ou estimées en ces mêmes points.

L'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées *composantes principales*, définissent des plans factoriels sur lesquels sont projetées les variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

En ACP normée, les variables projetées sur chaque plan factoriel se trouvent à l'intérieur d'un cercle de rayon unitaire. Plus une variable est projetée vers le bord du cercle, mieux elle est représentée. Par ailleurs, deux variables bien représentées et proches l'une de l'autre sont corrélées positivement tandis que deux variables qui s'opposent sont corrélées négativement. Une orthogonalité entre deux variables traduit l'absence de corrélation linéaire.

Notons que l'ACP ne mesure que des liens linéaires entre variables. Avant de conclure sur l'existence ou l'absence de relations entre variables, il est donc utile d'examiner l'allure de leurs nuages de corrélation.

Dans le texte, sont désignés par *validation croisée* et *validation absolue* les tests suivants :

Validation croisée :

Elle a pour objet de contrôler l'adéquation entre le variogramme modélisé et les données expérimentales qui ont servi à construire ce modèle. Elle permet aussi d'évaluer relativement différents modèles.

La validation croisée consiste à éliminer temporairement un site de mesure et à y estimer la concentration par krigeage, à l'aide des données restantes et du modèle de variogramme. On dispose ainsi d'une concentration estimée Z_i^* et d'une concentration mesurée Z_i . Cette opération est répétée pour chacun des points d'échantillonnage, ce qui permet de calculer des statistiques sur l'erreur Z^*-Z .

Validation absolue (appelée parfois aussi « vérification » dans le texte) :

Elle permet de contrôler la précision de l'estimation sur un jeu de données indépendant.

Elle consiste à estimer les concentrations aux points de mesure qui n'ont pas été utilisés dans le calcul du variogramme et à comparer ces valeurs estimées aux expérimentales.

Echantillonnage stratifié :

Dans un échantillonnage stratifié, le domaine d'étude est divisé en sous-parties, les strates, à l'intérieur desquelles les concentrations de polluants sont supposées plus homogènes que dans le domaine initial. Ce découpage peut se faire selon différents critères qualitatifs ou quantitatifs et correspond ou non à des zones géographiques continues.

Dans cette étude, l'échantillonnage est stratifié en fonction des émissions de NO_x par maille kilométrique.

On commence par définir des classes d'émissions, dont les limites sont les centiles d'ordre 0, 10, 20, 30..., 100 ou 0, 5, 10, 15, ...95, 100 par exemple ; les classes extrêmes peuvent être éventuellement subdivisées. Chaque strate est constituée par l'ensemble des mailles dont les données d'émissions appartiennent à une même classe. La procédure testée consiste alors :

- à quadriller le domaine par une cinquantaine de points - ce qui, d'après l'expérience, correspond au minimum requis pour modéliser la structure spatiale de façon satisfaisante ;
- puis à ajuster ce maillage (ajout ou retrait de points) de façon que les sites d'échantillonnage se distribuent équitablement entre les strates (on cherchera à obtenir un nombre à peu près égal de sites par strate) tout en se répartissant au mieux dans l'espace.

Document de référence de l'étude

TRAITEMENTS NUMERIQUES

ETUDE N°23 : ADAPTATION DES PLANS D'ECHANTILLONNAGE AUX OBJECTIFS DES CAMPAGNES

INERIS/EMD

CONTEXTE ET OBJECTIF

Les techniques d'échantillonnage passif sont employées depuis maintenant de nombreuses années au sein des AASQA ; cependant la déclinaison en objectifs réglementaires de la demande de Surveillance de la Qualité de l'Air ainsi que les nouvelles requêtes provenant de l'élaboration des PSQA offrent l'opportunité de repenser les plans d'échantillonnage en fonction de ces différents objectifs. De plus le contexte budgétaire impose également la mise en place de méthodologies de dimensionnement des campagnes de mesure.

Les campagnes de mesure par moyens mobiles permettent d'accéder à une information sur les concentrations de polluants ou les nombres de dépassements de seuils dans des zones géographiques dépourvues de stations fixes. Considérés au sens large, ces moyens mobiles désignent aussi bien des camions laboratoires ou des remorques équipées d'analyseurs que des capteurs passifs. Le caractère partiel de ces campagnes, dans le temps comme dans l'espace, a conduit logiquement à des réflexions sur l'échantillonnage et la reconstitution d'indicateurs annuels, en particulier dans le cadre du GT Moyens Mobiles (2000-2004).

Prolongeant ces travaux, un nouveau groupe de travail intitulé « Plans d'échantillonnage et reconstitution de données » a été mis en place en décembre 2005. Dans un souci d'harmonisation des pratiques, son but est d'offrir aux AASQA les outils nécessaires pour définir des stratégies d'échantillonnage et exploiter les données en adéquation avec les contraintes de la surveillance et les exigences réglementaires.

TRAVAUX ANTERIEURS ET EN COURS

Les travaux relatifs aux plans d'échantillonnage spatial pour les campagnes de mesure par échantillonneurs passifs ont porté en 2005 sur la :

- surveillance des zones rurales peu ou pas couvertes par les stations de mesures,
- surveillance des villes de 10 000 à 100 000 habitants.

La première année d'étude, sur les oxydes d'azote, nous a permis de tester des plans d'échantillonnage réguliers à partir de données simulées sur des pas d'espace très fins, mais aussi à partir de données mesurées. Ces travaux nous ont permis de dégager des premières recommandations sur les stratégies à adopter.

Le nouveau groupe de travail pourra s'appuyer sur les travaux des GT « Echantillonneurs passifs » (1998- 2002) et « Moyens mobiles » (2000-2004) et sur l'étude LCSQA 2005 *Méthodes de reconstitution temporelle de moyennes et de nombres de dépassements de seuils prédéfinis à partir de données de campagne*. Cette dernière étude, conduite conjointement par l'EMD et l'INERIS grâce aux données fournies par AIRMARAIX, ORAMIP, ASPA, OPALAIR, AIR NORMAND et AIR APS porte sur l'utilisation et la comparaison de deux approches : la première, développée par l'EMD⁴, est fondée sur l'application de la norme « ISO 9359 – Qualité de l'air – Echantillonnage aléatoire stratifié pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant » ; la seconde, développée par ATMO Poitou Charentes⁵ et évaluée par l'INERIS, repose sur la théorie des sondages. Elle concerne spécifiquement l'échantillonnage dans le temps et l'estimation de paramètres saisonniers annuels.

⁴ Houdret J.-L., 2004. Influence des paramètres météorologiques sur la stratégie de mesure à l'aide de moyens mobiles. Rapport LCSQA.

⁵ Lavancier F., Caïni F., Gazeau A., 2003. Plan de sondage pour mesures mobiles de la pollution atmosphérique. Pollution Atmosphérique, N°180, 551-567.

TRAVAUX PROPOSES POUR 2006

- **Echantillonnage spatial :**

La phase initiale comportera la constitution d'une base de données permettant une évaluation complète des schémas d'échantillonnages réguliers et déstructurés concernant les zones d'étude pour les polluants NO₂, ozone et benzène. Ce recueil de données se fera en étroite liaison avec des AASQA volontaires. L'ozone et le benzène seront plus particulièrement étudiés en 2006, sachant que des travaux ont été engagés sur le dioxyde d'azote dès 2005.

Dans le prolongement des travaux 2005, les techniques appliquées pour le prélèvement de l'ozone et du benzène, seront expérimentées sur des maillages réguliers.

De plus, à partir des travaux réalisés sur les oxydes d'azote et sur des maillages réguliers en 2005, une analyse des échantillonnages déstructurés (stratification et resserrement de la maille autour d'un point singulier) sera menée. Une exploitation plus approfondie des données, notamment de simulation, mais aussi issues des mesures devrait nous permettre de mesurer l'apport de ces techniques et d'établir des recommandations spécifiques à l'utilisation de ce type d'échantillonnage.

Ces travaux devraient permettre d'établir un ensemble de recommandations portant sur l'utilisation de maillages réguliers et irréguliers de capteurs passifs, pour l'échantillonnage des oxydes d'azote, de l'ozone et du benzène dans le cadre de campagnes de mesure répondant aux objectifs de surveillance de Qualité de l'Air, identifiés dès 2005, à savoir :

- la surveillance des zones rurales peu ou pas couvertes par des stations fixes,
- la surveillance des villes de 10 000 à 100 000 habitants,
- l'implantation et/ou la validation de nouveaux sites de mesures
- l'alimentation de modèles (assimilation de données) et la validation de simulations.

Un guide à destination des AASQA sera rédigé en 2006 à l'issue de cette étude.

- **Echantillonnage temporel :**

Membres permanents du nouveau groupe de travail, l'EMD et l'INERIS participeront à la diffusion des méthodes d'échantillonnage aléatoire stratifié et de plans de sondage et assureront une assistance technique pour un usage approprié de ces méthodes. A l'aide de ces outils ou d'autres techniques définies par le groupe de travail, ils contribueront à l'élaboration de dimensionnements de campagne et à la rédaction du guide qui conclura les réflexions et travaux du GT. Ils veilleront à la cohérence entre les objectifs et décisions du GT et les études conduites au sein du LCSQA.

L'INERIS prendra également en charge le secrétariat du GT.

COLLABORATIONS

AASQA, ADEME

DUREE DES TRAVAUX

1 an

UNITES D'ŒUVRE IMPLIQUEES

- EMD : 750 heures : André Wroblewski, Jean-Luc Houdret
- INERIS : 950 heures ingénieur : Laure Malherbe

LCSQA

**Ecole des Mines de Douai - Département Chimie et Environnement –
INERIS, DRC-07-74775-03939A**