



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

# **Assistance en modélisation de la qualité de l'air**

Rapport final

LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE  
DE LA QUALITE DE L'AIR

*Laure MALHERBE, Laurence ROUÏL  
Unité Modélisation et Analyse Economique  
pour la gestion des Risques (MECO)*

*Direction des Risques Chroniques (DRC)*

*Convention 31/2001*

Décembre 2002

# Assistance en modélisation de la qualité de l'air

Rapport final

LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE  
DE LA QUALITE DE L'AIR

décembre 2002

LAURE MALHERBE  
LAURENCE ROUÏL

Ce document comporte 42 pages (hors couverture et annexes).

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	Laurence ROUÏL Laure MALHERBE	Michel NOMINE	Eric VINDIMIAN
<b>Qualité</b>	Ingénieurs Etudes et Recherches Direction des Risques Chroniques	Délégué Scientifique Direction des Risques Chroniques	Directeur Direction des Risques Chroniques
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>1.</b>	<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>MODELISATION DÉTERMINISTE : .....</b>	<b>4</b>
2.1	AIR DES 2 SAVOIE .....	4
2.2	AIRFOBEP.....	4
2.3	AIRMARAIX ET ASSOCIATIONS DE LA RÉGION PACA (AIR ALPES MÉDITERRANÉE).....	5
2.4	ASPA.....	5
2.5	ATMO PICARDIE.....	5
<b>3.</b>	<b>ASSISTANCE EN PREVISION.....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>ASSISTANCE EN INTERPOLATION .....</b>	<b>7</b>
4.1	FORMATION DES AASQA AUX OUTILS DE LA GÉOSTATISTIQUE.....	7
4.2	ASSISTANCE AU GROUPE DE TRAVAIL MOYENS MOBILES .....	7

## 1. RESUME

---

---

L'objet de ce document est de consigner l'ensemble des sollicitations relatives à la modélisation de la qualité de l'air, faites à l'INERIS en 2002 au titre du LCSQA par les AASQA, en 2003.

Ces actions se déclinent autour des trois axes de développement de la modélisation dans le LCSQA :

- Modélisation déterministe,
- Modélisation statistique et prévision
- Méthodes géostatistiques

Sur le premier thème (modélisation déterministe), le bilan des demandes des AASQA est conforme à ce qui avait pu être observé lors des années précédentes, avec tout de même un léger recul durant le second semestre 2002. Ce dernier s'explique par la demande de suspension des engagements de travaux de modélisation déterministe faite par le MEDD en cours d'année, dans l'attente de recommandations précises en la matière.

Dans le domaine de la prévision statistique, aucune demande officielle d'appui n'a été enregistrée. Les AASQA déjà engagées dans cette démarche poursuivent leur travaux en collaboration avec des partenaires scientifiques locaux. En revanche, l'INERIS s'est impliqué dans la spécification et le suivi du développement d'un système logiciel, AASQUARIUM, accessible par Internet et regroupant un ensemble de modèles statistiques basés sur différentes approches et dédiés à la prévision de la qualité de l'air. Les AASQA ne disposant pas encore de modèle de prévision en leurs locaux pourront utiliser ce système qui est en cours de validation (avec le concours de COPARLY et d'AIR BREIZH).

Une part importante des travaux d'assistance en 2002 porte donc sur l'usage de modèles d'interpolation et de méthodes de géostatistiques. Une partie se réfère à l'animation du groupe de Travail « Moyens Mobiles » et l'autre concerne l'évaluation de méthodes d'interpolation appliquées au domaine de la qualité de l'air.

## **2. MODELISATION DETERMINISTE :**

---

Les demandes de la part des AASQA ont été stationnaires (par rapport à l'année précédente) durant le premier semestre, et aucune sollicitation nouvelle n'a été enregistrée durant le second semestre. En fait l'appui technique délivré par le LCSQA concerne des programmes d'études déjà engagés en 2001. Ceci est conforme aux orientations souhaitées par le Ministère : à savoir l'observation d'une période de réflexion, coïncidant avec les travaux menés dans le cadre du nouveau groupe de travail « Modélisation et surveillance », avant le démarrage de nouveaux programmes de modélisation.

Les attentes des associations sont toujours ciblées sur l'expertise des programmes ou projets de modélisation en cours d'élaboration, ou mis en place. Notre rôle consiste donc à fournir un appui technique dans le choix des outils numériques et la façon de les exploiter, dans la consultation des prestataires extérieurs, mais aussi dans la conception même du programme. Une attention particulière est portée à l'optimisation des moyens et à la promotion de programmes à l'échelle régionale.

### **2.1 AIR DES 2 SAVOIE**

Le programme POVA est entré dans une nouvelle phase avec la soumission d'un projet de recherche au PRIMEQUAL/PREDIT et son acceptation. La structure de gestion du projet a été modifiée, avec la constitution de deux Comités de suivi : un Comité de Pilotage constitué essentiellement des organismes financeurs, et un Comité de Suivi Scientifique.

L'INERIS, au titre du LCSQA préside le Comité de Suivi scientifique. Il a été ainsi convié à une réunion technique organisée en avril 2002 avec l'ensemble des partenaires scientifiques réunis autour du programme. Des orientations concernant notamment la planification et les objectifs des campagnes de mesures (programmation pour l'hiver 2002 et l'été 2003) ont été discutées (cf. compte rendu joint en annexe).

### **2.2 AIRFOBEP**

En 2001, le LCSQA avait été consulté lors du choix d'un prestataire de service prenant en charge la réalisation d'une étude de pollution industrielle (SO<sub>2</sub>) autour de l'Etang de Berre. En 2002, cette étude a démarré et le LCSQA a été sollicité pour assister l'association dans son suivi technique. Ainsi, le Laboratoire fait partie de son Comité de Pilotage. Des réunions de suivi ont été organisées, formalisant les nombreux échanges entre l'association et le LCSQA sur le sujet.

### **2.3 AIRMARAIX ET ASSOCIATIONS DE LA REGION PACA (AIR ALPES MEDITERRANEE)**

Les trois AASQA de la région PACA (AIRFOBEP, AIRMARAIX et QUALITAIR06) avaient sollicité le LCSQA dès 2000, pour disposer d'un appui méthodologique lors de la mise en place d'une plate-forme régionale de modélisation. Le développement de cette entité constitue l'une des missions prioritaires de la coordination régionale. Cela concerne aussi bien les questions de pollution à méso-échelle (typiquement le problème de l'ozone), que celles relatives à la dispersion des polluants à petite échelle (la rue). L'association se doit ainsi de mener une réflexion très globale sur le sujet, tout en tenant compte des acquis issus de la campagne ESCOMPTE de 2001.

L'année 2002 a été consacrée à la spécification des missions et de l'organisation de la plate-forme régionale de modélisation, et au choix des prestataires chargés de sa réalisation. L'élaboration d'un cahier des charges consignait les attentes des AASQA en est la première étape. Le LCSQA a régulièrement été consulté par la coordination régionale sur cette question durant le premier semestre, pour déboucher sur la soumission d'un cahier des charges à un certain nombre de prestataires durant l'été 2002.

Dans un second temps, le LCSQA a été sollicité pour participer au Comité d'évaluation des prestataires, devant statuer sur le choix de l'un ou plusieurs d'entre eux pour la réalisation du système de modélisation. Notre mission dans ce cadre comprend l'analyse des propositions commerciales reçues par Air alpes Méditerranée (ayant abouti à la rédaction d'une note d'appréciation) et la participation aux réunions du Comité d'évaluation.

### **2.4 ASPA**

L'association alsacienne met en place un programme européen Interreg 3 (partenariat français/allemand/suisse) visant à remettre à jour les cadastres d'émissions et d'immissions sur le Fossé Rhénan. La mise à jour de la base de données d'émission élaborée lors du programme précédent est l'un des volets de ce projet. De plus, afin de mieux évaluer l'information relative aux concentrations atmosphériques, la partie relevant de l'utilisation de modèles est importante, avec notamment l'implication de laboratoires français (IPSL, LISA, CORIA), de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (Alain Clappier) et de l'Université de Cologne (programme EURAD). Une campagne de mesure d'envergure est également prévue durant l'été 2003, pour disposer d'une base de donnée ajustée.

L'ASPA a sollicité l'INERIS au titre du LCSQA afin d'assurer un suivi de ce programme, depuis sa mise en place (choix techniques, choix des partenaires, appréciation des propositions) jusqu'à son aboutissement (prévu pour 2004). Plusieurs réunions de suivi ont déjà eu lieu entre l'INERIS et l'ASPA, et parfois avec les différents partenaires du programme.

### **2.5 ATMO PICARDIE**

ATMO PICARDIE a été sollicitée, avec l'agence locale de l'ADEME, afin de réaliser dans le cadre du PRQA un inventaire spatialisé des émissions de la région. Ce travail a fait l'objet d'un groupe de travail animé et coordonné par l'association.

Le LCSQA a été contacté afin de rendre un avis sur le travail effectué (méthodologie et données utilisées conformes à l'état de l'art, application opérationnelle) et d'identifier des points de progrès. Une note d'évaluation établie par le LCSQA est jointe en annexe.

### 3. ASSISTANCE EN PREVISION

---

Peu de demandes ont été formalisées de la part des associations sur ce thème cette année.

De manière générale, les travaux engagés par bon nombre d'AASQA en modélisation statistique de la prévision de la qualité de l'air se poursuivent en étroite collaboration avec des partenaires scientifiques locaux.

L'INERIS, au titre du LCSQA a cependant été convié à s'impliquer dans une initiative développée dans le cadre d'un groupe de réflexion de l'association ECRIN sur l'utilisation des méthodes statistiques dans les domaines de l'environnement.

Une première expérience avait été menée en 2000 en collaboration avec COPARLY ciblée sur l'intercomparaison de différentes méthodes statistiques de prévision de la qualité de l'air. Le jeu de données avait été fourni par l'association lyonnaise, et les équipes concernées, issues pour la plupart du milieu universitaire, permettaient de disposer d'un large panel de méthodes. Les résultats avaient été rendus lors des journées ATMO2000 de Bordeaux et avaient mis l'accent sur toute la difficulté à interpréter les performances relatives de chacune des méthodes. Cette initiative avait néanmoins permis de mener un premier exercice du genre.

Afin de poursuivre l'effort entrepris dans cette direction, les partenaires scientifiques souhaitent désormais valoriser leur travail. A cette fin, ils ont entrepris de développer un site internet, le site AASQARIUM, qui proposerait aux associations un accès libre à un ensemble d'outils logiciels destinés à faciliter l'acquisition et l'usage de différents modèles statistiques, mis à disposition par les chercheurs.

Un effort a été fourni dans la phase de spécification de la structure, pour assurer sa convivialité et son aptitude à répondre aux besoins des AASQA. L'idée est de fournir une structure générique mettant à disposition des modèles statistiques de prévision, validés sur plusieurs cas, une Interface Homme Machine en permettant une exploitation aisée (analyse des méthodes statistiques, réalisation de la phase d'apprentissage, évaluation des performances), et des jeux de données de référence. L'ensemble sera téléchargeable sur le site [www.insa-rennes.fr/d-info/aasqarium](http://www.insa-rennes.fr/d-info/aasqarium). Ce site, bien que consignant un certain nombre d'éléments relatifs au projet (notamment un rapport précis de spécifications) est encore en construction.

Plusieurs réunions de cadrage et de présentation d'un prototype logiciel développé par l'IRISA de l'INSA de Rennes ont eu lieu durant cette année. Elles nous ont conduit à mieux apprécier la teneur de ce projet, à en mesurer l'intérêt pour les AASQA et à l'orienter afin d'en faire un réel outil d'appui technique.

Les développements visant à disposer d'un outil opérationnel, ainsi que la validation de ce dernier sur des jeux de données tests fournis par les associations associées à l'élaboration du programme (Coparly, Ascoparg et Air Breizh), sont désormais encadrés par une convention établie entre l'IRISA et l'INERIS/LCSQA. La description technique du programme et des produits demandés et attendus par l'INERIS est fournie en annexe. Un rapport d'étude rédigé par l'INSA de Rennes sera donc fourni aux AASQA dès le début de l'année 2003.

## 4. ASSISTANCE EN INTERPOLATION

---

### 4.1 FORMATION DES AASQA AUX OUTILS DE LA GEOSTATISTIQUE

En 2000/2001, plus d'une quinzaine d'AASQA ont acquis le logiciel d'interpolation géostatistique ISATIS (Géovariances) en vue de réaliser des cartographies de la qualité de l'air. Des sessions de formation organisées par la société Géovariances ont donné la possibilité aux futurs utilisateurs de s'initier aux concepts de la géostatistique et à l'usage de ce logiciel.

La réalisation de campagnes par tubes passifs a permis à de nombreuses AASQA de mettre ces notions en pratique et d'élaborer à l'aide d'Isatis des cartographies de la pollution atmosphérique (cartographies de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, BTEX sur une ou plusieurs agglomérations, un département ou une région). Différentes questions d'ordre théorique et pratique se sont posées à cette occasion. Afin de trouver une réponse à leurs questions et d'affiner les représentations cartographiques qu'elles produisent, quatre Associations - AIRAQ, AIR Pays de la Loire, ATMO Poitou-Charentes et LIG'AIR - ont souhaité se regrouper pour recevoir de Géovariances une formation complémentaire adaptée à leurs besoins. Une réunion préparatoire s'est tenue en présence de l'INERIS dans les locaux d'ATMO Poitou-Charentes à La Rochelle les 7 et 8 novembre 2001 (cf. Rapport *Assistance aux outils de modélisation* 2001). A la suite de cette réunion et d'échanges téléphoniques avec les participants, l'INERIS a pu mettre en évidence un certain nombre de points à approfondir, et les communiquer à Géovariances avant la formation. Celle-ci a eu lieu à La Rochelle les 29 et 30 janvier 2002 dans les locaux d'ATMO Poitou-Charentes. Elle a consisté à traiter avec Isatis différents jeux de données fournis par les participants, et à discuter pour chacun de ces jeux des points les plus problématiques et des solutions possibles. De nombreux aspects liés aussi bien au logiciel qu'aux méthodes d'analyse exploratoire de données et d'interpolation ont été abordés. Certaines questions propres à la qualité de l'air n'ont pas encore trouvé de réponse satisfaisante et leur étude mérite d'être poursuivie. Le document préparatoire et le compte-rendu de la formation, rédigés par l'INERIS, figurent en annexe de ce rapport.

### 4.2 ASSISTANCE AU GROUPE DE TRAVAIL MOYENS MOBILES

La question de l'échantillonnage temporel (définition de la durée et de la fréquence des campagnes mobiles) et du traitement statistique des données (estimation d'une concentration moyenne ou de centiles, calcul de l'erreur commise sur ces estimations, reconstitution de séries temporelles) a été jugée prioritaire par le groupe de travail *Moyens Mobiles*. Différentes voies sont actuellement explorées pour aborder ce problème (rapport *Représentativité des mesures et exploitation statistique*, LCSQA, 2001).



Une réunion de travail du GT Moyens Mobiles s'est tenue le 19 mars 2002 dans les locaux de l'INERIS. Elle a rassemblé des représentants des AASQA (ATMO Poitou-Charentes, AIRPARIF, AIR NORMAND, AIRMARAIX, AIR Pays de la Loire, ASPA) et du LCSQA (EMD, INERIS) impliqués dans des travaux relatifs à la définition de stratégies d'échantillonnage et à l'exploitation statistique et géostatistique des données de campagnes de mesure. Le but de cette réunion était de présenter diverses méthodes permettant de traiter, partiellement ou en totalité, le problème de l'échantillonnage dans le temps et de l'estimation de moyennes, et de discuter sur l'évaluation et la diffusion ultérieure de ces méthodes.

Quatre méthodes ont été présentées :

- Etude de la norme ISO/DIS 11222 (Détermination de l'incertitude de mesurage de la moyenne temporelle de mesurages de la qualité de l'air) par M.Bobbia (AIR NORMAND)
- Reconstitution d'une moyenne annuelle à l'aide d'un modèle temporel empirique par C. Roth (AIRPARIF)
- Influence des paramètres météorologiques sur la stratégie de mesure à l'aide de moyens mobiles par J.-L.Houdret (EMD)
- Plans de sondage (échantillonnage stratifié, échantillonnage par grappes, estimation d'une moyenne ou d'un centile, incertitude sur la moyenne), reconstitution de séries temporelles à l'aide d'un modèle neuro-flou par F.Caïni et F.Lavancier (ATMO Poitou-Charentes)

Enfin, un projet de base de données alimentée par les AASQA et destinée à l'évaluation de ces méthodes a été présenté par l'INERIS.

A l'issue de la réunion, il a été décidé de consigner dans des fiches les objectifs, le principe et des exemples d'application des méthodes exposées par les participants. Une trame de fiche préparée par l'INERIS leur a été envoyée (cf. annexe). Ces fiches, que l'INERIS se charge de collecter, pourront être ensuite diffusées aux membres des AASQA ou du LCSQA volontaires pour tester ces méthodes. La constitution d'une base de données test est une tâche particulièrement lourde que les participants n'ont pas considérée comme une priorité. L'accent sera mis sur l'étude des méthodes statistiques.

ATMO Poitou-Charentes a développé en particulier une technique fondée sur la théorie des sondages. Le but de cette méthode est de déterminer l'échantillonnage qui permet d'estimer au mieux la concentration moyenne annuelle ou saisonnière du polluant, et de fournir une estimation de cette moyenne avec un intervalle de confiance.

On peut exploiter à cette fin des données d'une station fixe auxiliaire supposée de mêmes caractéristiques que le site étudié, et établir un ou plusieurs plans de sondage permettant d'estimer la moyenne avec une précision fixée. Les plans ainsi définis valent pour la station auxiliaire et pour la ou les années qui ont servi à les élaborer, mais ils fournissent des indications utiles sur le nombre de données qu'il convient de collecter. Lorsque l'échantillon a été tiré selon le plan choisi, la moyenne est estimée ainsi que l'intervalle de confiance autour de cette moyenne. Ces estimations peuvent être corrigées à l'aide d'une série complète de données issue d'une station auxiliaire. La théorie des sondages permet aussi d'évaluer le pourcentage de temps pendant lequel une valeur seuil est dépassée.

La méthode développée par ATMO Poitou-Charentes est une réponse intéressante à la question de l'échantillonnage comme à celle de l'estimation. Pour de nombreuses associations, elle pourrait se révéler une aide efficace dans l'organisation des campagnes de mesure et l'exploitation des données. Avant qu'elle ne soit diffusée dans l'ensemble des AASQA, des tests complémentaires ont été jugés nécessaires. C'est cette évaluation qu'a proposé de faire l'INERIS. Une réunion entre ATMO Poitou-Charentes et l'INERIS a été organisée dans ce but au mois de juin. Une nouvelle réunion au mois de décembre avec la participation d'AIR NORMAND a permis de discuter des résultats préliminaires de ce travail. Celui-ci s'est déroulé en deux temps :

- Les programmes développés avec MATLAB par ATMO Poitou-Charentes ont été modifiés afin de pouvoir être exécutés par R, code de statistique largement utilisé par la communauté scientifique et en libre service sur Internet. Cela pourra en effet faciliter la diffusion ultérieure de la méthode auprès des AASQA. Des tests préliminaires ont permis de vérifier la cohérence entre les résultats obtenus par ces programmes et les résultats attendus théoriquement.
- Des simulations ont été réalisées à partir de jeux de données fournis par des membres du GT Moyens Mobiles (AIRMARAIX, ORAMIP) et différents de ceux qu'avait utilisés ATMO Poitou-Charentes :

Dans un premier point, plusieurs plans d'échantillonnage ont été préalablement définis. Des échantillonnages selon ces plans ont été simulés sur des séries annuelles de données afin de tirer des recommandations générales sur :

- les plans d'échantillonnage qui permettent d'atteindre une bonne précision d'estimation, grâce aux estimateurs proposés par la théorie des sondages,
- les estimateurs qui pour un polluant donné semblent conduire aux meilleurs résultats et ceux auxquels il est préférable de ne pas recourir.

Les exemples proposés dans un second point illustrent plus concrètement la façon dont on peut employer la méthode des plans de sondage pour :

- élaborer un plan d'échantillonnage en fonction de la précision recherchée,
- estimer une concentration moyenne et son intervalle de confiance.

Tout en montrant les possibilités de cette méthode, ils mettent en évidence les difficultés que l'on peut rencontrer dans son application.

Ces deux parties nous conduisent à définir un cadre d'application et un mode d'emploi de la méthode des plans de sondages.

De nouveaux calculs jugés nécessaires lors de la réunion de décembre sont actuellement en cours et permettront d'enrichir les résultats obtenus. La description de la méthode et des calculs effectués et les conclusions de ce travail feront l'objet d'un rapport spécifique qui sera disponible à la fin du premier trimestre 2003.



# Compte rendu

## Réunion partenaires techniques de POVA

### Grenoble – le 11 avril 2002

**Présents :**

LGGE	Jaffrezo, Aymoz, Albinet, Mongin
AAPS	Chapuis, Villard
GRECA	Jacob
TEPE-LESAM	Masclet, Marchand
LEGI	Chollet, Kerbiriou, Brulfert
LSCE	Chazette, Dulac
INERIS	Rouil, Léoz, Bocquet (le matin)
LACE	George
ADEME	Poisson
MATE	Ebner
LISA	Perros

**Absent**

SEIGAD	Dumolard
--------	----------

La réunion débute à 9h00

- Présentation des budgets des années 1 et 2 concernant le financement dans le cadre des Aides Thématiques Prioritaires (ATP) de la Région Rhône-Alpes. Les différents laboratoires doivent faire parvenir leur justificatif d'investissement et de fonctionnement de l'année 1 selon le détail du tableau ci-joint pour percevoir le solde des subventions. L'acompte de 50 % de l'année 2 a déjà été versé en prenant en compte le budget initial de POVA. Entre temps, la seconde campagne intensive d'été a été repoussée ; il sera donc difficile de justifier d'autant de dépense que ce qui était prévu au cours de la période avril 2001 à décembre 2002. Pour que chaque laboratoire puisse percevoir les subventions définies, il est nécessaire qu'une convention inter-établissement soit signées entre toutes les parties.
- Présentation du budget prévisionnel de l'année 3 des ATP correspondant à l'année 1 du financement par Primequal.

- La subvention du METL pour la campagne hivernale de Janvier 2001 est acquise en totalité à la suite de la remise du rapport final. Le financement de chaque laboratoire (LGGE, GRECA, TEPE) pourra s'effectuer à réception des factures correspondantes pour cette partie par l'Air des 2 Savoie.
- L'acompte de la subvention de l'ADEME a également été perçu. Les laboratoires doivent également faire parvenir leur facture à l'Air des 2 Savoie pour cette partie afin que le reliquat puisse être demandé.
- Après en avoir longuement discuté, il est décidé de reporter la campagne de mesure intensive prévue pour cet été, en raison du trop grand doute persistant sur la réouverture du tunnel du Mont-Blanc à l'ensemble des poids-lourds pour cette période. Cette décision permet de simplifier l'exercice budgétaire de la première année de Primequal, puisque la campagne aurait eu lieu sans que les financements soient mis en place. Il est nécessaire que cette décision soit discuté avec le Conseil Régional afin que le financement de l'année 3 puisse être reporté sur une 4<sup>ème</sup> année. Sans leur accord, cela pourrait signifier la perte du financement de la campagne estivale de l'année 3.
- Le report de la campagne de terrain nécessite d'être discuté avec les financeurs et les membres du comité de pilotage (qui doit être réuni rapidement). Il est également nécessaire de prévenir les personnes connexes intervenant dans le programme (Degreanne, pilote ULM, INERIS (DOAS), Coparly, ...).
- Une campagne pourrait tout de même être réalisée cet été sur fonds propres, pour l'intérêt scientifique de ces mesures, par les laboratoires qui le souhaiteraient (apparemment cela concernerait L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie et l'INERIS dans le cadre d'une fiche LCSQA), ainsi que le LGGE et éventuellement GRECA et TEPE. Le METL serait apparemment favorable à ce que des mesures se poursuivent même si le tunnel n'est pas complètement réouvert (cf réunion du comité scientifique de Primequal).
- La prochaine campagne de mesure du programme POVA sera donc la période hivernale suite à la réouverture du Tunnel du Mont-Blanc. Il est convenu qu'elle soit réalisée lors des 3 dernières semaines de janvier 2003, mais les dates définitives seront finalisées à la rentrée. La campagne estivale suivante devrait se dérouler courant juillet 2003.
- Le décalage du planning permet de mettre en place des actions afin d'approfondir certains thèmes :
  - o La dynamique de l'atmosphère: en plus du wind profiler et des stations Météo-France, d'autres propositions pourraient être faites pour permettre de mieux caractériser le déplacement des masses d'air. L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie pourrait mettre en place un anémomètre ultrasonique et une proposition de stage a été faite à Météo-France par le LEGI pour qu'une personne travaille à la caractérisation des journées types et de leur occurrence. Idéalement, il faudrait mettre en œuvre un ballon captif ; des contacts doivent se poursuivre dans ce sens.
  - o Contrôle qualité : il est prévu que l'ensemble des analyseurs de gaz soit calibré sur l'étalon de travail de L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie. En plus, une inter-comparaison in situ de l'ensemble des stations de mesure

devrait être réalisée. L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie se charge de rédiger un protocole pour le raccordement des analyseurs de gaz. Le TEPE se chargera de vérifier la concordance des prélèvements particuliers.

- La communication : il est nécessaire que l'ensemble des données soient, dans un premier temps, mis à disposition de toutes les équipes qui travaillent sur le programme et, dans un deuxième temps, en libre accès à tous ceux qui le souhaitent. Le moyen le plus pratique semble être un site internet sur lequel se situerait la base de données complète. Il existe une possibilité d'intégrer ces informations dans la base de données ETHER (qui regroupe les informations de différents programmes scientifiques). Des contacts doivent être pris avec le responsable de cette base (pour décider de la faisabilité, préciser les modalités et juger de l'importance du volume de données à gérer,...). Une charte commune d'utilisation des données doit être rédigée sur la base de celle existante pour ESCOMPTE et/ou ESQUIF. Le volet communication sera pris en charge par L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie avec le soutien de la cellule communication du CNRS qui sera sollicitée. Comme cela a été proposé dans la réponse d'offre Primequal, il est nécessaire de valoriser la base de données constituée dans POVA et d'avoir une stratégie de communication envers les décideurs, les médias et l'ensemble de la population avant, pendant et après les mesures de terrain. Cette deuxième partie de l'information autour de POVA devrait se faire par le biais de conférences de presse, de documents de synthèse et d'un site internet (ouvrant sur la base de données).
  - L'amélioration des facteurs d'émission sera également entreprise en concertation avec les partenaires techniques de POVA, les autres programmes nationaux et les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Des réunions seront prévues pour que chacun puisse apporter ses connaissances dans ce domaines.
- Du fait du décalage du programme et du réajustement des dates des prochaines campagnes de mesures, il est nécessaire que chaque groupe puisse rapidement confirmer sa présence pour les campagnes hivernales et estivales prochaines. Dans la mesure où le lidar particule et l'ULM pourraient être indisponibles pour les périodes concernées, des contacts doivent être pris pour une solution de remplacement.
  - Les sujets discutés au cours de cette réunion devront de nouveau l'être avec le comité de pilotage. Celui-ci devrait être réuni prochainement.

La prochaine rencontre du groupe technique est prévue le 7 et 8 octobre 2002.

La réunion se termine à 17h00.



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**AFFAIRE SUIVIE PAR :**

**ANDRE WROBLEWSKI**

**LAURENCE ROUÏL**

**TÉL : 03.27.71.26.11**

**TEL : 03.44.55.61.13**

**MEL : WROBLEWSKI@ENSM-DOUAI.FR**

**MEL : LAURENCE.ROUIL@INERIS.FR**

---

---

**RAPPORT D'ANALYSE DE L'ACTUALISATION DU CADASTRE  
DES EMISSIONS DE LA REGION PICARDIE**

---

---

André Wroblewski  
Ecole des Mines de Douai  
Département Chimie et Environnement  
19 Juin 2002

Laurence Rouïl  
INERIS  
Direction des Risques Chroniques



## Introduction

Dans le cadre des actions que mène le LCSQA dans l'assistance des réseaux de surveillance de la qualité de l'air, Le département Chimie et Environnement de l'Ecole des Mines de Douai a été sollicité par l'Association ATMO PICARDIE pour une analyse d'une étude portant sur l'actualisation du cadastre des émissions de la région Picardie.

L'AASQA nous a fourni un document de travail début 2002, une réunion de synthèse a eu lieu à Amiens, au siège d'ATMO PICARDIE, le 23 janvier 2002. Ce document rapporte les analyses éclairées par les remarques de l'AASQA.

### *Contexte :*

La Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996 prévoit l'instauration de Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA).

Le Plan Régional pour la Qualité de l'Air constitue un outil de planification, d'information et de concertation visant à réduire la pollution à moyen terme à l'échelon régional au travers d'objectifs de qualité de l'air. Il couvre l'ensemble du territoire de la région et sert de cadre aux dispositions plus spécifiques à certaines zones.

L'objectif majeur du PRQA est le respect des objectifs de la qualité de l'air. Le PRQA doit en effet fixer dans son contenu des orientations pour atteindre ces objectifs :

- Des orientations portant notamment sur la maîtrise des émissions des sources mobiles et des sources fixes, sur la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets ainsi que sur l'information du public sur la qualité de l'air.
- Des recommandations relatives à l'offre de transport, à la maîtrise des déplacements, au développement de réseaux de chaleur et de froid ainsi qu'à l'utilisation de meilleures techniques et des énergies renouvelables.

Le PRQA doit également comprendre :

- une évaluation de la qualité de l'air dans la région
- une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé, sur les conditions de vie, sur les milieux naturels et sur le patrimoine.
- Un inventaire hiérarchisé des principales émissions ainsi qu'une estimation de leur évolution
- Une présentation des organismes qui contribuent, dans la région, à la connaissance de la qualité de l'air et de son impact

Afin de mener à bien ces actions, l'élaboration du PRQA repose donc sur deux parties bien distinctes :

- Une première phase de collecte des savoirs et de synthèse des connaissances qui constituera la partie diagnostic du plan
- Une deuxième phase de formulation d'orientation visant à prévenir et réduire la pollution atmosphérique

Les travaux menés par ATMO PICARDIE s'inscrivent dans la démarche visant à renseigner la première phase.

## Caractéristiques de l'inventaire

L'inventaire réalisé par Atmo Picardie est basé sur l'inventaire CITEPA 1994. Les secteurs qui sont concernés par cet inventaire sont les suivants :

- Extraction et transformation d'énergie
- Résidentiel, Tertiaire, Commercial, Institutionnel
- Industrie et Traitement des déchets
- Agriculture
- Transport routier
- Transport non routier
- Autres secteurs, nature comprise

La partie transport routier, attribuée à la Direction Régionale de l'Équipement a fait l'objet d'une étude confiée au CETE Nord – Picardie.

Cet inventaire porte sur les polluants: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, COVNM et HCl et les émissions de l'agriculture ont été estimées pour le NH<sub>3</sub>.

L'année de référence qui a été choisie est l'année 1999.

Le domaine d'étude porte sur la région Picardie, à savoir : les départements de la Somme, de l'Oise et de l'Aisne.

La résolution spatiale est la commune,

**Ce choix permet une spatialisation raisonnable des émissions et influe fortement sur l'allègement du coût de l'inventaire.**

## Méthodologie

- La méthodologie utilisée est celle du programme EMEP/CORINAIR de l'Agence Européenne de l'Environnement.

Les émissions sont estimées pour chacune des activités émettrices élémentaires retenues pour l'inventaire en considérant séparément s'il y a lieu les différentes catégories de sources (surfaiques, grandes sources ponctuelles et grandes sources linéaires).

Les émissions d'une activité donnée sont exprimées par la formule générale et schématique suivante :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} \times F_{s,a} \quad (1)$$

avec E : émission relative à la substance "s" et à l'activité "a" pendant le temps "t"

A : quantité d'activité relative à l'activité "a" pendant le temps "t"

F : facteur d'émission relatif à la substance "s" et à l'activité "a".

Pour l'ensemble des activités, les émissions totales sont exprimées par la formule suivante :

$$E_{x,t} = \sum_{a=1}^{a=n} E_{s,a,t}$$

avec n : nombre d'activités émettrices prises en compte.

**La méthodologie appliquée est la plus répandue au niveau européen, de plus elle est fortement amendée et illustrée de l'expérience du Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (Université Louis Pasteur Strasbourg). L'option retenue est un gage d'harmonisation et de facilité de comparaison avec d'autres inventaires.**

### Secteur industriel

Les émissions issues de l'industrie ont deux origines : les sources ponctuelles et les sources surfaiques.

Pour les sources fixes ponctuelles et surfaiques liées à l'industrie, toutes les données disponibles sont exploitées : enquêtes auprès d'industriels, démarches réglementaires comme les données de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes, enquête énergie, statistiques nationales provenant des exploitants. Les sources fixes ponctuelles industrielles sont les émetteurs de plus de 150t/an des polluants ci après mentionnés :

- oxydes de soufre en équivalent SO<sub>2</sub>
- oxydes de d'azote en équivalent NO<sub>2</sub>
- composés organiques volatils

Pour les sources ponctuelles, les émissions issues de la combustion et les émissions issues des procédés industriels ont été quantifiées en croisant les données de TGAP et une enquête menée par Atmo Picardie auprès des entreprises industrielles picardes choisies en fonction de leur importance.

Les sources surfaciques industrielles comprennent toutes les installations qui ne peuvent pas être affectées aux sources ponctuelles et dont la taille est suffisamment importante pour obtenir les informations nécessaires au calcul des émissions.

Pour ce secteur, seules les émissions issues de la combustion ont été quantifiées en considérant le volume et le type de combustible utilisé :

- Gaz (gaz naturel, gaz de ville, gaz liquide)
- Fioul (fioul lourd et fioul domestique)
- Electricité
- Combustibles solides (charbon, coke de houille, bois)

**La méthodologie employée offre toute satisfaction par rapport aux objectifs visés, il faut cependant noter l'absence de prise en compte de certaines sources de polluant telle que les émissions liées aux processus secondaires (essentiellement les émissions de COVNM) par exemple :**

- **Les pressings : utilisation de solvant**
  - **Les usages de peinture**
  - **Le traitement de surface.**

De manière générale, l'évaluation des sources diffuses de CIV reste un point délicat de l'élaboration de l'inventaire, sur lequel peu de méthodologies et de références sont disponibles.

### Secteur résidentiel

Les sources fixes surfaciques liées aux émissions des secteurs résidentiel et tertiaire font l'objet d'estimations à l'aide de consommations unitaires sectorielles nationales corrigées en fonction de la température pour la Picardie et de base de données : base de données Sirène sur les activités des secteurs tertiaire et institutionnel et Recensement Général de la Population 1999. La consommation d'énergie de ces deux secteurs tient compte du chauffage des logements, de la production d'eau chaude sanitaire, des activités de cuisson et des usages spécifiques (y compris la climatisation). Les émissions polluantes sont calculées à partir d'émissions de polluants par unité de consommation d'énergie.

Quatre types d'énergie ont été distingués :

- Gaz (gaz naturel, gaz de ville, gaz liquide)
- Fioul (fioul lourd et fioul domestique)
- Electricité

- Combustibles solides (charbon, coke de houille, bois)

**La méthodologie déployée nous semble bien dimensionnée pour un recensement au niveau communal.**

### Secteur tertiaire

Pour les émissions liées au chauffage la même méthodologie que celle utilisée pour le résidentiel a été utilisée.

**La méthodologie déployée est également bien dimensionnée pour un recensement au niveau communal, cependant les données utilisées (base de données CIREN 1992, pour une référence 1999) doivent inciter à la prudence sur l'exploitation des données du secteur.**

### Secteur agricole

Le calcul des émissions de NH<sub>3</sub>, produit en très grande majorité par les activités agricoles, s'appuie sur le Recensement Général Agricole 1988 ainsi que l'estimation des apports moyens d'azote par hectare de surface labourable. En ce qui concerne la pollution liée aux épandages d'engrais, les émissions d'ammoniac ont été définies à partir de l'azote qui a été épandu avec les engrais minéraux et d'un facteur de volatilisation commun (2%).

Les émissions d'ammoniac en provenance de l'élevage d'animaux domestiques ont été déterminées à l'aide de facteurs d'émissions spécifiques aux espèces d'animaux (Source ECOTEC (European Center for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals), EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) et CORINAIR (CORE Inventory of Air Emissions) repris dans les documents français CITEPA/CORPEN.

Les données provenant du secteur agricole sont à prendre avec la plus grande prudence, en effet la base d'exploitation est relativement ancienne (1988 pour une référence en 1999) de plus les facteurs d'émissions spécifiques aux animaux sont entachés d'une très grande incertitude (+/- 200%).

### Secteur transport automobile

La méthodologie repose sur l'exploitation des comptages de circulation de la DDE. Le trafic inter-urbain a été estimé par la DDE pour ATMO-PICARDIE. Les émissions sont calculées au moyen de la méthodologies européenne COPERT III.

**Il est à noter que nous ne disposons pas de rapport sur les calculs de ce secteur. On peut cependant regretter, d'après les informations dont nous disposons, la non prise en compte des trafics urbains, qui malgré l'échelle du calcul mériteraient d'être traités, au moins, sous forme surfacique.**

### Secteur transport ferroviaire

La méthodologie repose sur les données communiquées par la SNCF et notamment sur le type de facteurs d'émission fournis : ceux ci sont en kg par heure de fonctionnement. Il a donc fallu, par tronçon, connaître le nombre annuel d'heures de fonctionnement.

**La SNCF délégation régionale Picardie a procédé à une évaluation des émissions liées à la maintenance des motrices sur la base d'un mois de juin (22 jours ouvrés). L'activité étant constante au cours de l'année pour la SNCF, les émissions mensuelles des ateliers de maintenance seront supposées constantes corrigé uniquement du prorata du nombre de jours ouvrés dans le mois.**

**Le poids de ces émissions nous semble très faible par rapport aux échelles étudiées (inférieur à 0,4 % quel que soit le polluant). Par souci d'économie il ne nous semble pas opportun de poursuivre dans le recensement de ces sources.**

### **Conclusion**

Le cadastre des émissions réalisé dans le cadre de l'actualisation du PRQA en Picardie fournit une information au niveau communal sur une année de référence 1999.

L'exploitation du cadastre permet de sectoriser les émissions, quel que soit le polluant considéré, sur les grands centres urbains (Amiens, Compiègne, Laon...) et le long des grandes vallées fluviales (vallée de l'Oise, de la Somme...). De plus les principaux émissaires sont industriels pour le SO<sub>2</sub> et provenant du trafic automobiles pour les autres polluants.

La méthodologie développée dans ce travail d'inventaire, CORINAIR-EMEP, est la plus répandue au niveau européen. Les adaptations réalisées sont celles développées sur la plupart des inventaires régionaux (Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère, Université Louis Pasteur Strasbourg) et permettent d'envisager une harmonisation et une comparaison aisée avec les régions voisines.

Il faut noter que ce travail, d'un coût relativement faible (quelques milliers d'euros) permet une description des émissions suffisamment détaillée sur la région picarde pour une exploitation dans le cadre des PRQA, mais également pour des travaux d'analyses et de cartographies régionales de la Qualité de l'Air.

L'ensemble de ce travail peut être conforté par l'ajout de certains points :

- Le travail effectué au niveau du trafic automobile devrait être affiné, avec notamment la prise en compte du trafic urbain,
- Les bases de données de quelques secteurs ne sont plus d'actualités, il faudrait veiller à les réactualiser. Les émissions biogéniques sont relativement négligées.
- Enfin il faut envisager une réactualisation régulière de cet inventaire basée en priorité sur le renouvellement des bases de données primaires.

# **Cahier des charges technique concernant le développement et l'évaluation d'un serveur web dédié à l'utilisation des méthodes statistiques pour la prévision de la qualité de l'air**

## **Contexte général**

Les AASQA possèdent, à des degrés divers, différents outils de traitement des données et de prévision des pointes de pollution. Cependant, des études récentes (Retour d'expérience en prévision, Laure Malherbe, INERIS, Janvier 2001) ont montré que leur parc logiciel est très hétérogène et présente notamment les inconvénients suivants :

- il n'y a pas ou peu de compatibilité entre les outils logiciels d'une AASQA à l'autre;
- il n'y a pas ou peu de standardisation des données;
- l'évolutivité ou le suivi des logiciels est pas ou peu prise en compte.

Par ailleurs, les niveaux d'équipement sont très variables. Dans ce contexte, il semble opportun de pouvoir proposer aux AASQA un outil logiciel à la fois générique, en termes de sites et de polluants à étudier, évolutif, en termes de type de modèle de prévision à utiliser, et ergonomique, en termes, d'aide et de documentation en ligne ou de facilité d'utilisation.

L'INSA de RENNES a récemment développé, dans le cadre de sa participation au groupe de travail "Modélisation pour l'environnement" du Club Ingénierie du traitement de l'information (ITI) de l'association ECRIN, un serveur d'application générique dédié au traitement statistique de données à des fins de prévision, dénommé AASQARIUM.

Dans ce contexte, l'objectif de l'étude est d'utiliser le serveur d'application AASQARIUM et de l'évaluer dans le cadre particulier de la mission de prévision des pointes de pollution dévolue aux AASQA. Il s'agira d'en évaluer les avantages, inconvénients et éventuelles améliorations nécessaires.

## **Nature de l'étude**

L'étude portera sur l'application, l'amélioration et l'évaluation du serveur d'application AASQARIUM déjà développé et mis au point par l'INSA de RENNES. Ce serveur sera utilisé sur deux zones distinctes : celle du réseau COPARLY à Lyon et celle du réseau AirBreihz à Rennes, pour deux types de polluants distincts l'ozone (O3) et les oxydes d'azote (NOx).

L'étude fera apparaître une comparaison entre les valeurs observées et les valeurs prévues pour sur les deux sites et pour les deux types de polluants; elle montrera les avantages et inconvénients de l'utilisation d'un serveur d'application de type AASQARIUM dans le contexte des AASQA et de leur mission de prévision des pointes de pollution ; le cas échéant, elle proposera des améliorations tirées du retour d'expérience des utilisateurs ; enfin elle conclura sur la faisabilité d'un outil logiciel de prévision statistique générique (site et polluant), évolutif (modèle de prévision) et ergonomique (aide et documentation en ligne) utilisable pour la prévision court terme des pointes de pollution dévolue aux AASQA.

En complément de cette étude ciblée sur deux zones géographiques et afin d'en augmenter la portée, il paraît souhaitable de mettre à la libre disposition de toutes les AASQA qui le souhaitent, une version fonctionnelle et adaptée à leur utilisation du serveur d'application AASQARIUM. Cela sera réalisé au moyen de la mise en place d'un site WEB accessible librement et gratuitement.

### **Les données**

Les données nécessaires aux modèles proviennent de sources diverses : relevés de capteurs, données météorologiques passées et prévues. Ces données sont actuellement enregistrées dans des formats très divers pour lesquels il n'existe encore aucun élément de standardisation.

L'utilisation de modèles de prévision statistique, générique, impose comme préalable la mise en place d'un formalisme standardisé pour l'enregistrement et le stockage des données. Un tel formalisme a déjà été mis au point à l'INSA de RENNES dans le cadre d'un travail avec le réseau COPARLY. Il est utilisé pour les données fournies en entrée du serveur d'application AASQARIUM. Au court de l'étude, ce formalisme sera utilisé et évalué sur les données du réseau AirBreihz.

D'un point de vue technique, deux types de fichiers sont normalisés et utilisés :

- les données "historiques", comportant les observations (relevés de capteurs et variables météorologiques), sur une base horaire ;
- les données "récentes", comportant les derniers relevés de capteurs et les dernières prévisions météorologiques.

Les données "historiques" servent à l'apprentissage (calage) des modèles de prévision statistique, tandis que les données "récentes" sont utilisées pour les prévisions quotidiennes en production.

Dans le cas particuliers des données manquantes, celles-ci sont identifiées par un marqueur spécial. L'étude portera également, sur l'évaluation de l'intérêt d'un pré-traitement destiné à reconstituer ces données manquantes et l'étude de son impact sur les prévisions.

### **Les modèles de prévision**

L'étude utilisera un modèle de prévision statistique déjà développé par l'INSA de RENNES dans le cadre de sa participation au benchmark "Prévision des pics de pollution" organisé par le Club ITI en 1999/2000. Ce modèle autorise une prévision court terme (le jour j pour le jour j+1). Il sera évalué sur les deux sites et pour les deux polluants retenus.



Le formalisme de description de ce modèle a également fait l'objet d'un travail de standardisation afin de s'intégrer dans le serveur d'application AASQARIUM. Il permet l'écriture de nouveaux modèles de prévision directement "insérables" dans AASQARIUM.

### **Le serveur d'application AASQARIUM**

AASQARIUM est un serveur d'application développé en langage JAVA dans le but de faciliter son portage sur différentes plates-formes (windows, macintosh, linux, etc.). Il utilise un formalisme standardisé pour la description des données d'entrées ainsi que pour celle des modèles de prévision qu'il exploite. Cette standardisation permet d'utiliser :

- sur tout type de données respectant le bon formalisme ;
- avec tout type de modèle respectant aussi le bon formalisme.

AASQARIUM propose une interface de travail simple et ergonomique, complétée par une aide et un dispositif de documentation en ligne.

Sa licence de type GPL garantit universalité, évolution et pérennité.

### **Le site WEB**

Le site web aura une double fonction :

- servir de support pour le libre téléchargement à la fois du serveur d'application AASQARIUM dans une version prête à installer et à utiliser par les AASQA et des nouveaux modèles de prévision statistique ;
- servir de banc d'essai aux laboratoires universitaires qui pourront, en complément des éléments déjà cités, y trouver des jeux de données leur permettant de tester leurs modèles statistiques.

Ce serveur sera, au moins au démarrage de l'étude, hébergé par l'INSTITUT DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET SYSTEMES ALEATOIRES (IRISA) qui se chargera de le maintenir.

## **Préparation de la formation ISATIS La Rochelle - 29 et 30 janvier 2002**

Présentation des jeux de données et des points qui pourront être abordés pour chacun d'eux.

### **AIRAQ**

#### **Données**

Données de benzène (1 mois de mesure) sur la région de Bayonne

#### **Questions/Points à étudier**

- Réflexion sur la stratégie d'échantillonnage (notamment sur la répartition des échantillons dans une zone géographique particulière, ici la côte atlantique)
- Existence de données plus incertaines (Les données indiquées en rouge dans le fichier proviennent de seulement quinze jours de mesure, et elles ont été extrapolées au mois): l'interpolation géostatistique peut-elle aider à confirmer la fiabilité ou la non fiabilité de ces données ?

### **AIR Pays de la Loire**

#### **Données**

Données de NO<sub>2</sub>, issues d'une campagne de mesures par tubes à diffusion passive sur Angers (8 périodes de 15 jours, 30 tubes) - Données auxiliaires : émissions de NO<sub>x</sub> (sortie modèle)

#### **Questions/Points à étudier**

- Etude de la stabilité d'un variogramme tout au long d'une campagne de mesure :

Un variogramme obtenu sur une période de 15 jours peut-il être réutilisé sur une autre période ? Peut-on construire un variogramme unique pour une période de 4 mois, qui serait la « moyenne » des variogrammes obtenus sur chaque période de 15 jours ?

- Comment peut-on exploiter les résultats issus d'une campagne de mesures sur le réseau fixe ?

(conserver le variogramme est-il pertinent ? peut-on faire des interpolations géostatistiques avec les données du réseau fixe, en s'appuyant sur les résultats d'une campagne de mesure ? etc).

### **ATMO Poitou-Charentes**

#### **Données**

Données de NO<sub>2</sub> sur La Rochelle - Données auxiliaires : densité de population

#### **Questions/Points à étudier**

La construction du variogramme expérimental : Faut-il conserver ou supprimer un petit nombre de points qui semblent se comporter différemment des autres et qui modifient la forme du variogramme?

Le cokrigeage : choix de la variable auxiliaire. Quelle corrélation faut-il avoir entre la variable étudiée et la variable auxiliaire ? Comment transformer éventuellement une variable auxiliaire pour obtenir une meilleure corrélation ?

Choix entre cokrigeage et krigeage avec dérive externe.

### **LIG'AIR**

#### **Données**

Données de NO<sub>2</sub>, de benzène et de toluène sur Orléans

#### **Questions/Points à étudier**

Comment traiter l'existence de deux populations?

Le problème de l'anisotropie

Le problème de la stationnarité

## Questions complémentaires

Elles concernent :

- L'effet de pépite (faut-il systématiquement prendre en compte l'erreur de mesure ?)
- Le choix du voisinage : unique/glissant/elliptique ?
  
- L'interprétation des résultats : comment interpréter une carte en fonction de l'écart-type de krigeage ?
  
- Les possibilités offertes par le logiciel Isatis :  
Quelles sont les options du logiciel qui peuvent apporter des informations intéressantes au cours de l'analyse variographique ou de l'estimation ?  
(par exemple : quel est l'intérêt des différents graphiques proposés dans l'analyse exploratoire des données, ou encore celui du *variogram map* ?)

## **COMPTE-RENDU DE LA FORMATION ISATIS**

### **La Rochelle, 29-30 janvier 2002**

Formatrice : Catherine Bleines (Géovariances)

Participants :

- Fabrice Caïni, Sébastien Morenilla (ATMO Poitou-Charentes)
- Elise Molin (AIR Pays de la Loire)
- Olivier Pétrique, Stéphane Rosa (AIRAQ)
- Corinne Robin, Abdou Yahyaoui (LIG'AIR)
- Laure Malherbe (INERIS-LCSQA)

### **Objectif de la formation**

Cette formation a été organisée avec le concours de l'INERIS à la demande des Associations AIRAQ, AIR Pays de la Loire, ATMO Poitou-Charentes et LIG'AIR qui se sont équipées en 2000/2001 du logiciel Isatis afin de réaliser des cartographies de la pollution atmosphérique. Par suite des difficultés rencontrées et des questions qui se sont posées lors de la réalisation des premières cartes, les utilisateurs d'Isatis de ces Associations ont souhaité recevoir de Géovariances une formation adaptée aux problèmes de la qualité de l'air.

L'objectif des participants était donc d'acquérir une meilleure maîtrise du logiciel Isatis et des techniques géostatistiques d'interpolation (krigeage, cokrigeage) dans l'utilisation qu'ils sont amenés à en faire.

### **Déroulement de la formation**

La formation s'est déroulée pendant une journée et demi, dans les locaux d'ATMO Poitou-Charentes.

Quatre jeux de données, fournis par les AASQA participantes, ont été successivement traités :

1. LIG'AIR :

Données de NO<sub>2</sub> sur Orléans

2. AIRAQ :

Données de benzène sur la région de Bayonne, le long de la côte Atlantique

3. ATMO Poitou-Charentes

Données de NO<sub>2</sub> et de densité de population sur l'agglomération de Poitiers

#### 4. AIR Pays de la Loire

Données de NO<sub>2</sub> sur Angers

Pour chacun d'eux, toutes les étapes de l'estimation (analyse exploratoire des données, ajustement d'un modèle de variogramme, krigeage) ont été accomplies.

Notons que les participants avaient travaillé sur les données avant leur arrivée.

### Etude des différents jeux de données

Ce chapitre mentionne, pour chaque zone étudiée, les principales remarques faites au cours de l'analyse et du traitement des données, ainsi que les problèmes mis en évidence à cette occasion.

a) Les deux premiers jeux de données (Orléans et Bayonne) permettent de passer en revue différentes questions relatives à **l'analyse des données** et à **l'ajustement d'un modèle de variogramme**.

### LIG'AIR

Données de NO<sub>2</sub> sur Orléans

(Une trentaine d'échantillons distants d'au minimum 1 km environ)

#### 1. Etude de l'histogramme

Deux classes de l'histogramme associées à de fortes concentrations se détachent. Elles sont créées par deux sites de proximité (tubes proches d'axes de circulation).

→ Ces deux points, jugés non représentatifs du comportement spatial du phénomène, ne sont pas pris en compte dans la construction du variogramme, mais ils sont conservés pour l'interpolation. Cela pose néanmoins la question de la distinction *population des sites de fond / population des sites de proximité*

L'histogramme présente par ailleurs une allure bimodale. Ces deux modes correspondent aux points situés respectivement au Nord et au Sud de la Loire.

→ Doit-on les considérer comme issus de deux populations différentes ? Par manque de données, cette distinction n'est pas faite.

#### 2. Analyse variographique - Ajustement d'un modèle de variogramme

*Etude de l'anisotropie*

La représentation spatiale du variogramme expérimental (*variogram map*) fait apparaître une direction de plus grande continuité qui coïncide avec la direction de vent dominant pendant la campagne. Un variogramme anisotrope bidirectionnel est donc construit. La direction de référence est celle de plus grande continuité. C'est dans cette direction que la portée est la plus longue. La seconde direction est la perpendiculaire à la première.

→ La modélisation de l'anisotropie permet de différencier le comportement spatial du polluant selon la direction, mais non pas selon une orientation précise. Ainsi la représentation du phénomène dans les zones au vent (par rapport aux sources d'émission) ne risque-t-elle pas d'être faussée, en particulier si ces zones sont faiblement échantillonnées ? Une possibilité serait d'introduire une faille.

#### *Comportement du variogramme à l'origine*

L'échantillonnage n'est pas suffisamment resserré pour permettre de connaître le comportement du variogramme à l'origine. En l'absence d'information aux petites distances, un modèle simple est préféré (ici une structure cubique). Un effet de pépité correspondant à l'erreur de mesure pourrait être introduit si cette erreur était connue.

### 3. Estimation

#### *Choix du voisinage*

Deux possibilités sont envisagées : un voisinage unique ou un voisinage glissant elliptique. Orienté selon la direction principale d'anisotropie, un tel voisinage permet de privilégier pour l'estimation en un point les échantillons situés dans la direction de plus grande continuité. Ce choix toutefois ne peut être généralisé à l'ensemble des situations. Dans certains cas on peut être conduit à faire coïncider le grand axe de l'ellipse avec la direction secondaire.

Il est conseillé de ne pas limiter la taille du voisinage à la portée (Des points situés au-delà de celle-ci peuvent intervenir en effet dans le calcul de la moyenne).

#### *Validation croisée*

La variance de l'erreur est relativement élevée. Elle chute très nettement lorsque les deux points de proximité sont supprimés de l'estimation. La variance s'approche alors de 2. Le modèle de variogramme est donc correct pour tous les autres points (sites de fond).

## **AIRAO**

### **Données de benzène**

(Une soixantaine d'échantillons distants d'au minimum 500 m environ, région de Bayonne, côte atlantique)

#### 1. Etude de l'histogramme

Comme précédemment un point de forte concentration est mis en évidence. De plus, l'histogramme est assez dissymétrique : une transformation logarithmique des données pourra être envisagée, en particulier si le variogramme expérimental ne présente pas de structure visible.

#### 2. Analyse variographique - Ajustement d'un modèle de variogramme

*Forme du variogramme expérimental, recherche d'une structure spatiale*

Abstraction faite du premier point, qui est dû à un seul couple, le variogramme expérimental apparaît comme un pur effet de pépite. *A priori* l'utilisation de la géostatistique n'a pas d'intérêt dans cette étude. Si toutefois le point de plus forte concentration est retiré de la construction du variogramme, une structure se dessine. Et cela d'autant mieux que les données analysées sont les concentrations logarithmiques.

*Etude de l'anisotropie*

La représentation spatiale du variogramme expérimental montre là encore une anisotropie liée à la direction de vent. Une modélisation dans le cas isotrope puis anisotrope est effectuée.

#### 3. Estimation

L'interpolation est faite à partir des concentrations logarithmiques. Une transformation inverse permet ensuite d'obtenir la carte des concentrations, mais l'information sur l'erreur de krigeage est perdue ; d'où l'intérêt, lorsque cela est possible, de travailler sur les données d'origine.

L'effet de l'anisotropie est bien visible. Mais comme dans l'étude de l'agglomération Orléans, seule une direction a pu être privilégiée et non une orientation.



La représentation de la qualité de l'air dans cette région soulève une autre difficulté : celle de cartographier à l'aide d'un modèle unique des zones urbaines assez denses et des zones périphériques de plus faibles concentrations. La région étudiée se compose en effet de plusieurs noyaux urbains espacés les uns des autres.

→ Serait-il pertinent de cartographier séparément les centres urbains et les régions environnantes puis de réunir l'ensemble sur une même carte ?

De façon plus générale, quelle peut être la meilleure façon de cartographier une agglomération formée par un centre urbain dense et une région périphérique moins polluée ?

b) L'étude des données de Poitiers permet de poursuivre la réflexion sur le choix d'un modèle de variogramme et de s'intéresser au krigeage avec **variable auxiliaire**.

### *ATMO POITOU-CHARENTES*

**Données de NO<sub>2</sub> sur Poitiers et de densité de population** (densité de population sur un rayon de 100, 250, 500 et 1000 m autour de chaque point de grille)

Environ 125 tubes sur l'agglomération de Poitiers

#### 1. Etude sans données auxiliaires : comparaison entre différents modèles de variogrammes

Trois modèles de variogrammes sont considérés : le premier, constitué de deux structures sphériques sans effet de pépité, le deuxième, constitué de deux structures sphériques avec effet de pépité, le troisième, ajusté sur le début du variogramme expérimental et formé d'une structure sphérique de faible portée. Le deuxième modèle a pour effet de lisser la carte ; le troisième induit des variations de concentration plus rapides.

→ Quel modèle choisir ? Au-delà de la simple validation croisée, il semble que seule l'expertise du modélisateur permette de répondre et d'opter pour la représentation la plus réaliste.

#### 2. Etude avec données auxiliaires

L'introduction d'une variable auxiliaire connue dans tout le domaine étudié permet d'affiner l'interpolation dans les zones peu échantillonnées.

Une première étape se révèle délicate : celle du choix de la variable auxiliaire.

En effet, les données brutes de densité de population sont faiblement corrélées aux concentrations de NO<sub>2</sub>. Une transformation de ces données semble nécessaire. Deux variables auxiliaires sont testées :

- log(densité 100m) : la corrélation avec la variable de concentration est de 0,4 environ
- une combinaison linéaire des différentes densités :  $\sum_i \alpha_i \cdot \log(\text{densité } i)$   
obtenue par régression de manière à améliorer le coefficient de corrélation (R=0,8).

La seconde a l'avantage d'être plus fortement corrélée à la variable d'intérêt, mais sa signification concrète se laisse plus difficilement saisir.

Deux façons d'incorporer la variable auxiliaire sont par ailleurs envisagées :

- le cokrigeage colocalisé, qui nécessite la construction d'un modèle de variogramme bivarié ;
- une forme simplifiée du krigage avec dérive externe (*bundled external drift kriging*) : cette méthode repose sur l'hypothèse de forte corrélation entre la variable principale et la variable auxiliaire. Elle ne requiert pas de modélisation bivariée.

Les calculs montrent l'influence plus ou moins marquée de la variable auxiliaire selon les choix effectués. L'effet de la seconde variable auxiliaire, *i.e.* la plus corrélée à la variable de concentration, est le plus visible. Il se manifeste notamment par un lissage de la carte. Il est difficile à ce stade de tirer des recommandations de ces calculs.

c) L'étude des données d'Angers vise à entamer une réflexion sur l'utilisation de la géostatistique dans la surveillance quotidienne ou régulière de la qualité de l'air d'une agglomération.

## **AIR PAYS DE LA LOIRE**

**Données de NO<sub>2</sub> sur Angers** : succession de 8 campagnes de 15 jours

(Une trentaine de tubes sur l'agglomération d'Angers)

### Etude de la stabilité du variogramme

Les questions posées sont les suivantes :

1. Un variogramme est-il stable au cours du temps ?

2. Si oui, un variogramme construit à partir des données d'une campagne passive peut-il être réutilisé ultérieurement sur les seules stations du réseau fixe ?

L'analyse des huit campagnes permet d'apporter quelques éléments de réponse :

1. La structure du variogramme ne change pas au fil du temps, mais il convient de réajuster le palier pour chaque campagne.
2. Soit un domaine équipé de stations fixes et que l'on souhaite cartographier : la remarque précédente permet d'envisager la méthodologie ci-après :
  - Réutiliser un modèle de variogramme ajusté sur les données d'une campagne passive antérieure, effectuée pour le même polluant, dans la même zone et dans des conditions similaires (période de l'année, météorologie) ;
  - Réajuster le palier à l'aide des données des stations fixes ;
  - Employer comme variable principale la concentration du polluant aux stations fixes et comme variable auxiliaire la carte krigée issue de la campagne passive.

Cette méthodologie n'a pas été testée entièrement pour la ville d'Angers, mais on peut s'attendre à ce que le faible nombre de stations fixes n'influence pas la carte : la cartographie obtenue sera très proche de celle qui représente les variables auxiliaires seules. Ce résultat attendu sera vérifié prochainement en vue des tables rondes ISATIS.

## Réalisation d'une cartographie : problèmes et solutions apportées

L'exploitation des divers jeux de données a mis en évidence des difficultés récurrentes tout au long de la procédure d'interpolation. Les participants se sont également interrogés *a posteriori* sur la stratégie d'échantillonnage qu'il aurait été souhaitable d'adopter. Les tableaux 1 et 2 rapportent les conseils prodigués au cours de la formation.

Tableau 1 - La stratégie d'échantillonnage

Problème posé	Conseils
Connaître le comportement du variogramme aux petites distances	Un petit nombre d'échantillons localement plus resserrés ne suffisent pas. On peut envisager de réaliser des « croix de sondages » en quelques endroits (resserrement de la maille selon un schéma en forme de croix).
Evaluation rétrospective de la grille d'échantillonnage	L'écart-type de krigeage dépend uniquement du modèle de variogramme et de la position des échantillons, autrement dit, pour un échantillonnage régulier : $\sigma_{krig} = f(\text{modèle}, \text{maille})$ . Cet écart-type est

	<p>indépendant de la valeur prise par la variable aux points d'échantillonnage.</p> <p><u>Etant donné un modèle de variogramme</u>, on peut donc juger <i>a posteriori</i> l'efficacité de différentes mailles d'échantillonnage. Il suffit de créer une variable fictive, échantillonnée à intervalle constant, puis d'observer l'évolution de l'écart-type moyen de krigeage en fonction de la largeur de cet intervalle.</p>
--	---

Tableau 2 - Les différentes étapes de l'estimation. Recommandations.

Etape	Problème posé	Conseils théoriques et pratiques
Construction du variogramme expérimental	Choix du pas de calcul du variogramme	Prendre un pas de calcul voisin de la distance minimale entre deux échantillons, puis ajuster cette valeur. Avec un pas trop faible, le nombre de points par classe de distance décroît et l'on tend vers un variogramme en « dents de scie », avec un pas trop large, on perd de l'information sur la variabilité spatiale du phénomène.
Ajustement d'un modèle de variogramme	Difficulté d'ajustement d'un modèle	Il est important d'ajuster le début du variogramme.
	Manque d'information à l'origine	Utiliser un modèle simple (cubique, sphérique).
	Cas multivariés	L'ajustement automatique du palier ( <i>automatic sill fitting</i> ) garantit une matrice de krigeage définie positive.
	Anisotropie	<p><u>Anisotropie géométrique</u> : même(s) structure(s) dans les différentes directions, seule la portée varie.</p> <p><u>Anisotropie zonale</u> : la(les) structure(s) diffère(nt) avec la direction. Créer plusieurs structures. Utiliser l'option <i>anisotropy per structure</i>. Pour chaque structure créée, ajuster la portée et le palier dans la direction souhaitée (la portée est laissée en blanc dans les autres directions).</p>
Evaluation du modèle de variogramme et du voisinage	Appréciation des résultats de la validation croisée	S'intéresser aux statistiques de l'erreur d'estimation : plus la moyenne, resp. la variance, de l'erreur tend vers 0, resp. 1, meilleur est le modèle.

	Estimation préalable en un point	L'option <i>Test</i> de la fenêtre de krigeage permet d'obtenir pour un point donné les résultats de l'estimation (valeur estimée, écart-type de krigeage)
Estimation	Choix de la maille de calcul	Ajuster la dimension de la maille en fonction de la précision souhaitée et de la grille des données auxiliaires en cas de cokrigeage colocalisé ou de krigeage avec dérive externe.
Représentation graphique	Suppression de zones situées hors du domaine d'intérêt	Possibilité de masquer des zones soit sur la grille de calcul, soit sur la fenêtre graphique, à partir de contours importés d'un SIG.

## Questions

Un certain nombre de questions ont été soulevées au cours des échanges et n'ont pas encore trouvé de réponse satisfaisante. Il s'agit moins de difficultés pratiques liées à l'utilisation du logiciel, que de problèmes de fond qui concernent l'application des techniques géostatistiques à la qualité de l'air. Par cela nous sommes amenés à nous interroger sur les limites des méthodes de cartographie dans l'information que l'on souhaite communiquer au public.

- Une première difficulté est celle du choix d'un modèle et de la carte la plus satisfaisante. A précision comparable (validation croisée, écart-type de krigeage), quels critères permettent de préférer un modèle à un autre ? Ce choix dépend souvent de l'appréciation de l'expert ou de l'information qu'il souhaite diffuser.
  
- Une deuxième difficulté, inhérente à la qualité de l'air, surgit avec des considérations d'échelle. Des composés tels que l'ozone sont influencés par des phénomènes à grande distance, tandis que d'autres polluants sont soumis à des phénomènes plus locaux. La modélisation peut-elle prendre en compte ces différences de comportement ?
  
- L'un des principaux problèmes rencontrés concerne l'intégration dans une même carte d'informations de nature différente :
  - *Concentrations de fond / concentrations de proximité*
    - Peut-on représenter dans une unique cartographie des concentrations de fond et de proximité ?
    - Se contenter d'une cartographie de la pollution de fond, n'est-ce pas priver le public d'une partie de l'information ?
    - Peut-on introduire l'effet du trafic par l'intermédiaire de données auxiliaires (ex : émissions automobiles) ? Que faire en l'absence de ces données ?

Abdou Yahyaoui de Lig’Air propose de compléter l’échantillonnage destiné à la cartographie par la réalisation de profils de concentration perpendiculaires aux voies de circulation. Enrichissant l’information apportée par les cartes, ces profils renseigneraient plus précisément le public sur l’évolution des concentrations de part et d’autre des grands axes.

La notion de pollution de fond mérite également d’être précisée.

- *Concentrations dans les centres urbains / concentrations dans les zones périphériques*

- Le comportement spatial du polluant dans ces deux zones est-il le même ?
- Faut-il réaliser des cartographies distinctes ?

- Enfin, les participants trouveraient intéressant que l’utilisation de la géostatistique à des fins cartographiques ne se limite pas aux seules campagnes passives mais s’étende à un usage plus large et plus fréquent. Cela semble difficile à ce jour compte tenu du nombre limité de stations fixes et du manque de données auxiliaires (telles que des données d’émission).

A ces observations, Lig’Air propose d’ajouter les précisions suivantes :

« L’arrivée de la cartographie aux seins des AASQA pousse ces dernières à donner des informations sur la qualité de l’air sur des zones étendues dans lesquelles les sites de fond et les sites de proximité sont confondus. Les données utilisées pour cet exercice sont essentiellement les mesures récoltées sur les sites de fond, ce qui induit une sous-estimation des niveaux autour des axes de circulation, en particulier dans les centres villes. Jusqu’à présent, les AASQA donnent des informations sur la qualité de l’air d’une agglomération, en prenant soin de bien distinguer les sites de fond des sites de proximité. Ce qui ne peut-être fait lors des sorties cartographiques issues des logiciels d’interpolation.

Faut-il continuer à traiter séparément les données obtenues par les tubes sur les deux types de sites? Ou au contraire réaliser un maillage adapté à chaque agglomération, dans lequel on alterne les sites dits de fond et les sites dits de proximité? La réalisation de transects autour des axes à forte circulation peut être aussi envisagée. Dans ces deux derniers cas l’information communiquée au public serait plus proche de la réalité, en particulier dans les centres urbains denses.

Faut-il également densifier l’étude en tubes afin de distinguer la variation entre les sites de fond, les sites de semi proximité et les sites de proximité?

Enfin, il y a peut-être besoin de définir les limites d'utilisation des logiciels de géostatistique dans le domaine de la pollution atmosphérique. En effet ces logiciels sont généralement employés dans des secteurs où la variation temporelle du paramètre étudié est beaucoup plus faible que celle rencontrée dans le domaine de la pollution atmosphérique. Les cartographies réalisées dans le cadre de nos études sont seulement des images qui restent propres à la période d'étude et elles sont susceptibles de changer avec la moindre variation météorologique. La réactivité chimique, la dynamique atmosphérique, les comportements des automobilistes et des industriels, la variation du parc automobile sont des paramètres non maîtrisés parmi d'autres et qui conditionnent les concentrations des polluants mesurés. Une variation de l'un de ces facteurs peut changer complètement la cartographie d'une zone entre deux périodes. »

**Campagnes de mesures :**  
**définition d'une stratégie d'échantillonnage, exploitation des données**  
**Utilisation de méthodes statistiques**

**1) Objectif de la méthode**

- Définition d'une stratégie d'échantillonnage temporel (fréquence et durée des campagnes)
- Estimation de grandeurs statistiques
  - Moyennes (mensuelles, saisonnières, annuelles)
  - Centiles
  - Taux de dépassement de seuil
- Reconstitution de séries temporelles (préciser sur quelle période et à quel pas de temps)

**2) Campagnes de mesures auxquelles s'applique la méthode**

- Moyens mobiles
- Tubes passifs

**3) Données d'entrée complémentaires (préciser si elles sont obligatoires (OB) ou optionnelles (op))**

Définition d'une stratégie d'échantillonnage

- Données de stations fixes d'années antérieures
- Données météorologiques d'années antérieures (préciser quelles variables météorologiques)
- Autres données : émissions, trafic...(préciser)

Estimation de grandeurs statistiques

- Données de stations fixes



- d'années antérieures
- de l'année
- Données météorologiques
  - d'années antérieures
  - de l'année
- Autres données : émissions, trafic...(préciser)

Reconstitution de séries temporelles

- Données de stations fixes
  - d'années antérieures
  - de l'année
- Données météorologiques
  - d'années antérieures
  - de l'année
- Autres données : émissions, trafic...(préciser)

**4) Description de la méthode**

- Méthode utilisée :
- Descriptif théorique : principe de la méthode, hypothèses à vérifier, équations utilisées
- Références théoriques :
  
- Types de résultats fournis par la méthode :
- Evaluation de l'erreur commise sur les grandeurs estimées : calcul d'un intervalle de confiance ?
  
- Traitement des données manquantes ?
  - Si oui, description du traitement appliqué :
  - Si non, comment ces données sont-elles prises en compte dans les calculs ?
  
- Outils de calcul :
  - Type de logiciel requis :
  - Exigences particulières en terme de capacité de calcul :
  - Programmation nécessaire ? Si oui, quel langage ?

➤ Avantages et limites/difficultés de la méthode

(en matière d'exigence en données d'entrée

- de lourdeur des calculs
- de temps de calcul
- de facilité ou difficulté d'interprétation des résultats
- de précision que l'on peut attendre sur les paramètres estimés
- autre (préciser))

➤ Avantages :

➤ Limites/difficultés :

➤ Remarques sur l'efficacité de la méthode :

➤ Polluants auxquels la méthode semble le mieux s'appliquer :

➤ Types de sites auxquels la méthode semble le mieux s'appliquer :

## 5) Exemple(s) d'application de la méthode

➤ Description du site (zone géographique, type d'environnement, conditions météorologiques...):

➤ Description des données utilisées (origine, type de site, durée de l'historique) et de la ou des campagnes de mesures réelles (si la méthode a été appliquée dans des conditions réelles de campagne) ou simulées :

➤ Présentation des résultats :

➤ Remarques particulières :

(joindre si possible un rapport d'étude)

## 6) Evaluation de la méthode

➤ Préciser quels tests ont été réalisés avec cette méthode :

Propositions de tests à effectuer :

JP Chollet (LEGI)

## LISTE DE DIFFUSION

Nom	Adresse/Service	Nb
BIRCK	Dossier maître	1
DOC		1
ROUÏL		1
MALHERBE		1
MATE		5
ADEME		2
EMD		1
LNE		1

TOTAL **13**

## PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

Travail	Nom	Qualité	Date	Visa

 Fin du Complément non destiné au client 