



Qualité de l'air

Études

Novembre 2007



Zonage de la pollution particulaire dans la région Etang de Berre

En collaboration avec :
NUMTECH

Cette étude fait suite à une phase de modélisation décrite dans le rapport :
Zonage de la pollution particulaire de la région de l'Etang de Berre.
Phase I : Modélisation



Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région de l'Etang de Berre et de l'Ouest des Bouches-du-Rhône

Route de la Vierge - 13 500 Martigues - Tel. 04 42 13 01 20 - Fax. 04 42 13 01 29

Site internet: www.airfobep.org - e-mail : airfobep@airfobep.org

Serveur vocal 04 42 49 35 35 (selon tarification téléphonique en vigueur)



Résumé du projet

Une étude pour optimiser la surveillance des PM dans la région de l'étang de Berre

AIRFOBEP dispose d'un réseau permanent de capteurs de pollution par les particules dans la région de l'étang de Berre. AIRFOBEP réalise aussi des campagnes de mesures temporaires dans les zones où elle ne dispose pas de capteurs fixes. En déployant ces moyens, AIRFOBEP, cherche à donner une information sur les niveaux de pollution par les particules, qui soit représentative et qui couvre toute sa zone d'agrément. Ces moyens sont régulièrement optimisés au travers du Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA). L'objectif du PSQA est de proposer un dispositif de surveillance optimisé et approprié aux niveaux de pollution dans les différentes zones de la région de l'étang de Berre. La connaissance des zones homogènes de pollution est primordiale pour réaliser et optimiser le PSQA. L'objectif de l'étude menée par AIRFOBEP sur la pollution par les particules en suspension (PM) est de déterminer les zones homogènes pour ce polluant.

Les émissions de PM

Inventaire des émissions : L'inventaire des émissions réalisé en 2001, dans le cadre de la coordination Air Alpes Méditerranée, est utilisé comme donnée d'entrée pour simuler la dispersion des particules en suspension dans la région de l'étang de Berre. Les données utilisées tiennent compte des grandes sources ponctuelles ou GSP (cheminée), linéiques (axes routiers) et surfaciques (émissions diffuses).

La pollution de fond : Une part importante de la pollution par les PM provient du transport sur de longues distances de ce polluant ainsi que de la remise en suspension. Cette pollution dite de « fond » n'est pas prise en compte dans l'inventaire.

Pour remédier à ce problème, une technique statistique a été développée pour estimer cette pollution de fond à partir des mesures effectuées par les capteurs du réseau AIRFOBEP. Grâce à cette technique le niveau et l'évolution temporelle de la pollution de fond sont déterminés dans la région de l'étang de Berre.

Modélisation de la dispersion des PM

Un modèle de dispersion Gaussien (ADMS URBAN) a été utilisé pour simuler heure par heure la pollution par les PM dans la région de l'étang de Berre. Pour tenir compte des différentes situations météorologiques, la simulation a été réalisée sur une année entière (2002). Pour « caler » le modèle et optimiser ses performances, les résultats de la simulation ont été comparés aux données de mesures de 6 capteurs de PM du réseau AIRFOBEP

Zonage

Un traitement statistique des cartographies, obtenues dans la phase de modélisation, a été réalisé pour définir des zones homogènes de pollution par les PM.

Le zonage a été obtenu grâce à l'utilisation de la technique statistique de classification hiérarchique ascendante (CAH). Cette technique a permis de regrouper, dans une même zone, les points où sont identiques, la concentration de la pollution PM et son évolution.

Les zonages ont été réalisés pour trois types de niveaux de pollution PM :

les concentration moyennes journalières,

les concentration moyennes annuelles,

les concentration horaires maximales journalières.

Résultats

Performance de la simulation : Les données issues de la modélisation ont été comparées aux mesures des capteurs.

| Classe de concentration | Biais moyen | |
|-------------------------|-------------------|------|
| | µg/m ³ | % |
| <14 | -1.6 | -23% |
| 14-17 | -2.7 | -16% |
| 17-19 | -3.3 | -18% |
| 19-22 | -4.5 | -22% |
| 22-25 | -4.9 | -21% |
| 25-28 | -5.6 | -21% |
| 28-32 | -6.2 | -21% |
| 32-35 | -6.8 | -20% |
| 35-41 | -10.1 | -27% |
| >41 | -17.8 | -30% |

Concentrations horaires : L'évolution temporelle des données mesurées et des données modélisées est identique. Les facteurs de corrélation sont supérieurs à 0.8. Le modèle simule donc correctement les augmentations et les diminutions des concentrations.

Le biais moyen entre les simulations et les mesures, estimé avec l'erreur quadratique (RMSE), est de l'ordre de 10 µg/m³. Ce biais est très bon pour une grande partie de la gamme des concentrations mesurées. Il est en moyenne de 20% pour les concentrations inférieures à 35 µg/m³ et de 30% pour les concentrations plus élevées.

Moyennes journalières et annuelles : La comparaison entre la modélisation et les mesures a été réalisée pour les moyennes journalières et la moyenne annuelle. Le biais moyens sont, pour ces deux moyennes, de l'ordre de 20%. Ce qui est très satisfaisant et montre la très bonne performance des simulations réalisées.

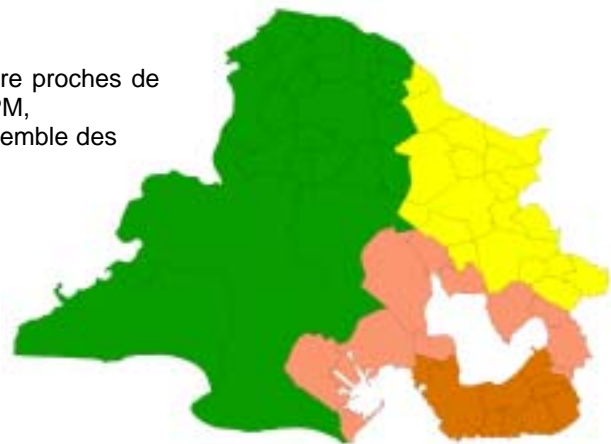
Le biais déterminé a été utilisé par la suite pour mieux caler le modèle et améliorer ses performances.

Comparaison Modèle – mesures : Les biais moyens entre la mesure et la modélisation, pour les moyennes journalières et annuelles sont de l'ordre de 20%

Les zones homogènes : L'étude a permis de subdiviser l'aire de surveillance d'AIRFOBEP en zones homogènes de pollution par les PM. Plusieurs configurations sont possibles, avec un nombre de zone différent.

Le zonage choisi compte quatre zones :

- il est obtenu en regroupant les points du territoire proches de par leur concentration moyenne journalière des PM,
- il garantit le maximum d'homogénéité entre l'ensemble des points d'une même zone.



Zonage de la pollution par les PM :
Configuration avec 4 zones homogènes par rapport à

la moyenne journalière

Perspectives : La base d'un outil d'information sur la pollution par les PM

Les résultats de cette étude servent à optimiser la stratégie de surveillance des PM dans la région de l'Etang de Berre. C'est aussi le point de départ de la mise en place d'outils d'information sur la pollution par les PM qui permettra :

- La cartographie en temps réel de la pollution PM,
- Prévision spatialisée de la pollution PM

RAPPORT DE SYNTHÈSE

■ Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Contexte de l'étude..... | 4 |
| 2. Hypothèses de modélisation | 6 |
| 3. Cartographies de la pollution particulaire..... | 9 |
| 3.1 Résultats intermédiaires des simulations horaires..... | 10 |
| 3.2 Méthodologie de zonage de la pollution PM | 14 |
| 3.3 Résultats du zonage | 15 |
| 4. Conclusion | 26 |
| | |
| Table des figures | 28 |
| Table des tableaux..... | 29 |
| Table des Annexes | 30 |



1. Contexte de l'étude

1. Contexte de l'étude

AIRFOBEP est l'organisme agréé par le Ministère en charge de l'environnement pour la surveillance et l'information sur la qualité de l'air, dans la région de l'Etang de Berre et l'Ouest des Bouches-du-Rhône.

Dans le cadre de sa mission de surveillance, AIRFOBEP dispose d'un réseau permanent de capteurs de pollution qui lui permet de connaître le niveau des polluants réglementés sur sa zone d'agrément. AIRFOBEP réalise aussi des campagnes de mesures temporaires dans les zones où elle ne dispose pas de capteurs fixes. A travers son réseau fixe et ses campagnes, AIRFOBEP vise à donner une information sur les niveaux de pollution qui soit représentative et qui couvre toute sa zone d'agrément. L'optimisation de son réseau fixe et une stratégie de surveillance planifiée sont les moyens pour AIRFOBEP pour s'assurer de cette couverture et de cette représentativité. Pour cela, la connaissance des zones homogènes de pollution est primordiale.

Pour réaliser son Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA), AIRFOBEP doit :

- déterminer des zones homogènes de pollution : les zones de surveillance,
- déterminer le niveau de pollution dans chaque zone de surveillance,
- proposer un dispositif de surveillance approprié sur la base du niveau de pollution dans chaque zone de surveillance.

L'objectif de la présente étude est de réaliser les deux premières étapes mentionnées ci-dessus dans le cadre de la pollution particulaire. AIRFOBEP a demandé à la société NUMTECH de réaliser cette étude. Le principal objectif est de disposer d'une information sur la répartition spatio-temporelle de la concentration des particules en suspension sur l'ensemble du territoire d'intervention d'AIRFOBEP. Le réseau dispose aujourd'hui de huit stations de mesures en continu, réparties non uniformément sur le pourtour de l'étang de Berre : Arles, Port-Saint-Louis-du-Rhône, Fos Carrabins, Port-de-Bouc La Lèque, Martigues Île, La Mède, Carry-le-Rouet et Rognac-Barjaquets. Il existe également des mesures temporaires réalisées lors de campagnes en différentes localisations sur la zone d'étude.

Pour réaliser un zonage de la pollution particulaire sur la zone, la mise en place d'une modélisation permet de disposer d'une information spatiale et temporelle plus étendue. Plusieurs études de modélisation ont d'ores et déjà été réalisées sur le pourtour de l'étang de Berre. Elles concernent principalement le dioxyde de soufre et l'ozone. Par ailleurs, dans le cadre du programme de recherche ESCOMPTE, un inventaire des émissions polluantes a été réalisé pour l'ensemble de la zone d'étude et pour un certain nombre de polluants, dont les particules en suspension. L'accessibilité de ce jeu de données régionales des émissions particulières, nous a paru très intéressant pour la réalisation de l'étude de modélisation.

Ce rapport fait suite à la note d'hypothèse en date de septembre 2006, référencée également sous le numéro 164.0705, qui décrit la mise en place de l'étude de modélisation avec les hypothèses considérées (choix des grilles de calcul, l'exploitation de l'inventaire des émissions PACA, la prise en compte de la pollution de fond, ...). Ce rapport présente la méthodologie de cartographie de la pollution par zones homogènes à partir des simulations réalisées, et les cartographies associées.

2.1 Hypothèses de modélisation

2. Hypothèses de modélisation

Ce chapitre rappelle les hypothèses de modélisation qui ont été retenues. Pour de plus amples détails, il faut se référer à la note d'hypothèse de septembre 2006.

Cette étude repose sur une cartographie de la dispersion des poussières à partir d'une modélisation numérique au moyen du système de gestion de la qualité de l'air **ADMS-Urban** qui repose, entre autre, sur le modèle de dispersion atmosphérique ADMS (*Atmospheric Dispersion Modelling System*), utilisé, reconnu et validé internationalement.

Pour cette étude, les principaux phénomènes physiques pris en compte par le modèle sont listés dans le tableau suivant :

| Phénomène physique | Pris en compte par le modèle dans l'étude | Commentaires |
|---|---|---|
| Météorologie locale | oui | Données horaires sur l'année 2002 |
| Description verticale de la turbulence atmosphérique | oui | Analyse d'échelle de Monin-Obukhov |
| Cycle diurne du développement de la couche de mélange atmosphérique | oui | Les données météorologiques ne sont pas traitées de façon indépendante |
| Traitement spécifique des conditions météorologiques convectives (rabattement des panaches près du sol) | oui | Trajectoires gaussiennes « obliques » en situation convective |
| Surélévation des panaches à l'émission | oui | Modèle intégral de trajectoire 3D pour les sources canalisées |
| Nature des sols rencontrés | oui | Hauteur de rugosité variable sur le domaine d'étude |
| Nature particulière des particules | oui | Prise en compte notamment pour le calcul du dépôt sec (chute par gravité) et humide (lessivage par les précipitations) |
| Evolution chimique des rejets | non | Dispersion passive |
| Variabilité temporelle des émissions | oui | Utilisation d'émissions variables (profils temporels) |
| Effets canyon | non | La configuration des axes routiers ne prend pas en compte les effets canyon |
| Effet de la topographie (relief) sur la dispersion des panaches | oui | Le modèle de dispersion a été couplé au modèle d'écoulement fluide FLOWSTAR qui recalcule les champs de vent et de turbulence en 3D sur tout le domaine |

Tableau 1 : Phénomènes pris en compte dans la modélisation

Les principales options de modélisation utilisées dans les simulations ADMS-Urban sont les suivantes :

- Calcul court-terme avec un pas de temps de 1 heure pour les 365 jours de l'année 2002.
- Calcul sur 6 grilles couvrant la zone AIRFOBEP, avec une résolution de 500 mètres environ, et calcul au niveau des 6 sites de mesures de PM du réseau AIRFOBEP. En outre, un maillage intelligent a été activé autour des routes pour rendre compte du gradient de concentration.
- Prise en compte du relief avec la configuration standard de FLOWSTAR.
- Prise en compte d'une rugosité hétérogène sur le domaine d'étude.
- Prise en compte d'un cadastre global d'émission, de sources surfaciques (industrielles et routes secondaires), de sources ponctuelles (principaux sites industriels) et de sources routières (principaux axes), en tenant compte des profils journaliers, hebdomadaires, et mensuels des émissions quand ils étaient disponibles.
- Prise en compte de 4 jeux de données d'observations météorologiques en fonction de la grille de calcul considérée (Grille 1 : Station Airfobep de La Gatasse., Grille 2 : Station Météo-France d'Istres, Grille 3 : Station Météo-France de Salon de Provence, Grille 4 : Station

Météo-France d'Istres, Grille 5 : Station Météo-France d'Avignon, Grille 6 : Station Météo-France d'Istres).

- Prise en compte des émissions de poussières en considérant uniquement les PM10.

Des simulations intermédiaires, uniquement au niveau des stations de mesures, ont également été effectuées lors de l'étape précédente décrite dans la note de septembre 2006. Ces simulations ont montré l'importance du choix de la définition du niveau de fond, car la prise en compte des émissions de PM du cadastre PACA ne permet que de simuler des concentrations moyennes comprises entre 1 et 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au mieux (c'est à dire ne représentant que 10% au mieux des concentrations moyennes observées, la pollution de fond représentant les 90% restants).

Toutefois, il est envisageable de réaliser un zonage des particules à partir d'une simulation annuelle ADMS-Urban dans la configuration retenue et avec les émissions disponibles en intégrant la pollution de fond via une méthodologie particulière (voir section 3.1).

3. Cartographies de la pollution particulaire

3.1. Résultats intermédiaires des simulations horaires

3.2. Méthodologie de zonage de la pollution PM

3.3. Résultats du zonage

3. Cartographie de la pollution particulaire

3.1 Résultats intermédiaires des simulations horaires

Au terme des simulations, les concentrations en surface en particules (PM10) ont été obtenues en chaque point récepteur des 6 grilles de calcul pour chacune des 8760 échéances horaires de l'année 2002. Ces concentrations résultent uniquement de la dispersion des émissions qui ont été modélisées, sans prise en compte d'une pollution de fond.

Comme discuté et développé dans la note de synthèse de septembre 2006, cette pollution de fond est non négligeable, et une méthodologie a été développée pour déterminer la contribution de cette pollution de fond pour chaque heure de l'année 2002 (voir note précédente). Par ailleurs, la comparaison des valeurs simulées, en intégrant cette pollution de fond¹, aux mesures des stations d'observation en PM10 sur la zone d'étude ont montré un biais entre les valeurs (simulées+fond) et les valeurs mesurées. Les valeurs de la concentration de la pollution de fond (une valeur pour chaque échéance horaire) sont disponibles sur le cédérom accompagnant ce rapport.

Compte tenu de l'objectif qui est de cartographier la pollution en poussières sur l'ensemble de la zone AIRFOBEP au moyen d'une modélisation, le calage des résultats de cette modélisation est tout à fait envisageable. En effet, le résultat principal attendu de la modélisation est la répartition spatiale, répartition qui ne peut être déterminée à partir des seules mesures de terrain disponibles. En accord avec AIRFOBEP, il a donc été décidé de caler les concentrations simulées, non seulement en intégrant la pollution de fond, mais également en tenant compte du biais moyen horaire calculés pour différentes gammes de concentrations entre les valeurs (simulées+fond) et les valeurs mesurées pour l'ensemble des stations d'observation. Le tableau suivant indique les valeurs considérées pour cette correction.

| Gamme de concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Valeurs simulées + pollution de fond) | Biais ajouté ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|--|---|
| 0 – 10 | 3.86 |
| 10 – 13 | 4.57 |
| 13 – 16 | 5.41 |
| 16 – 19 | 6.40 |
| 19 – 22 | 7.22 |
| 22 – 25 | 6.99 |
| 25 – 28 | 7.36 |
| 28 – 31 | 8.77 |
| 31 – 34 | 9.36 |
| 34 – 37 | 8.70 |
| 37 – 40 | 10.93 |
| 40 – 43 | 9.74 |
| 43 – 46 | 3.15 |
| 46 – 49 | -2.49 |
| > 49 | -24.88 |

Tableau 2 : Biais additionné aux concentrations simulées, après ajout de la pollution de fond

Pour chacune des 8760 échéances horaires, une cartographie de la concentration en particules peut alors être réalisée sur le domaine d'étude. Néanmoins, l'objectif portant sur les moyennes journalières et les maximums journaliers, ces cartographies horaires non pas été réalisées contrairement aux cartographies de la moyenne

¹ Note : puisque les conditions météorologiques utilisées sont des données d'observation, il est possible que, pour certaines échéances horaires, ces données soient invalides/manquantes. Dans ce cas là, les concentrations simulées sont considérées comme égales à zéro.

journalière et du maximum journalier pour les 365 jours de l'année 2002. Ces cartographies sont disponibles sur le cédérom disponible avec ce rapport. A titre d'exemple, les [Figure 1](#) et [Figure 2](#) présentent la cartographie de la moyenne journalière et du maximum journalier respectivement pour une journée d'été et une journée d'hiver.

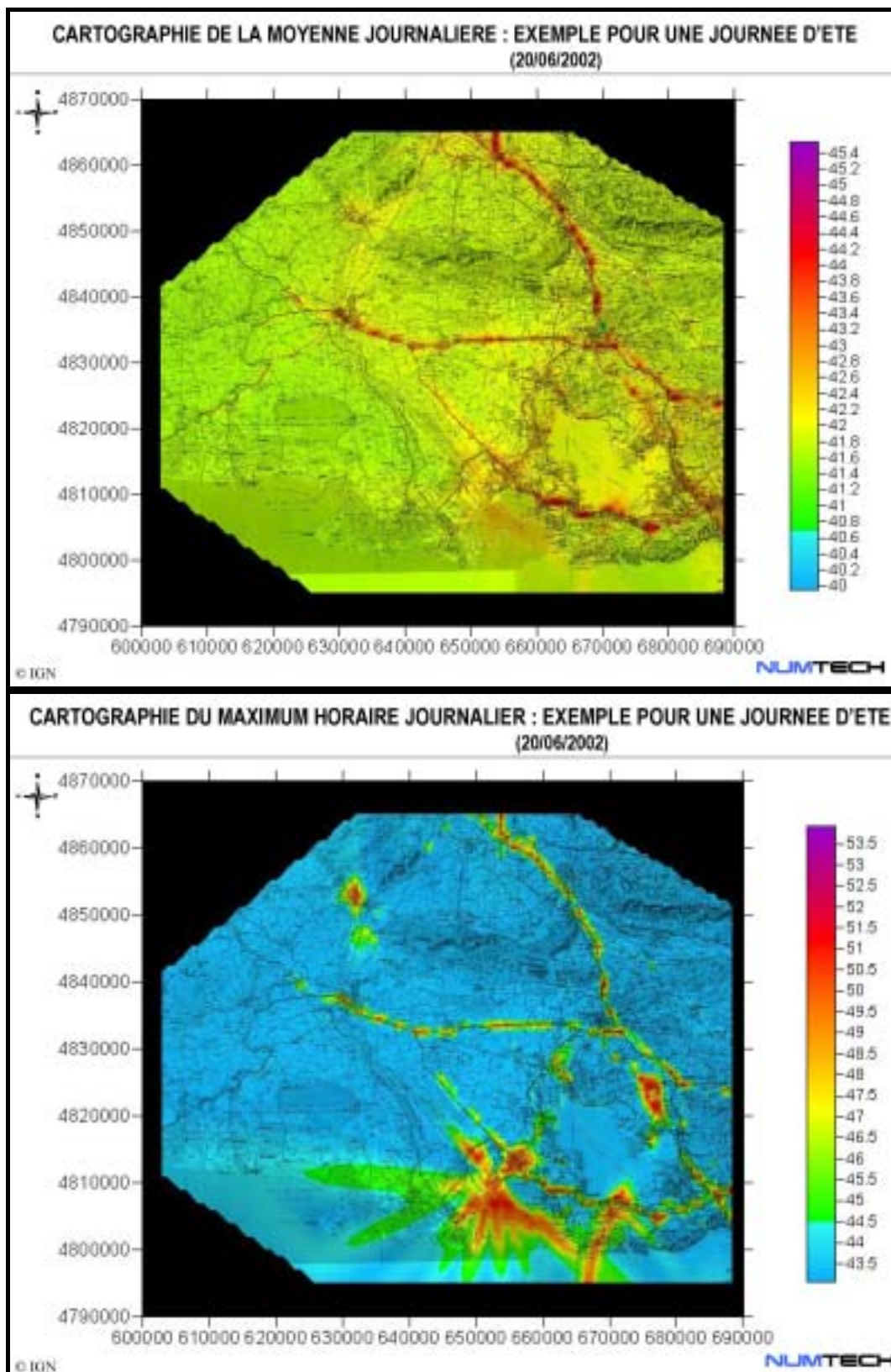


Figure 1 – Cartographies de la concentration moyenne journalière (en haut) et du maximum journalier (en bas) pour une journée d'été (le 20 juin 2002)

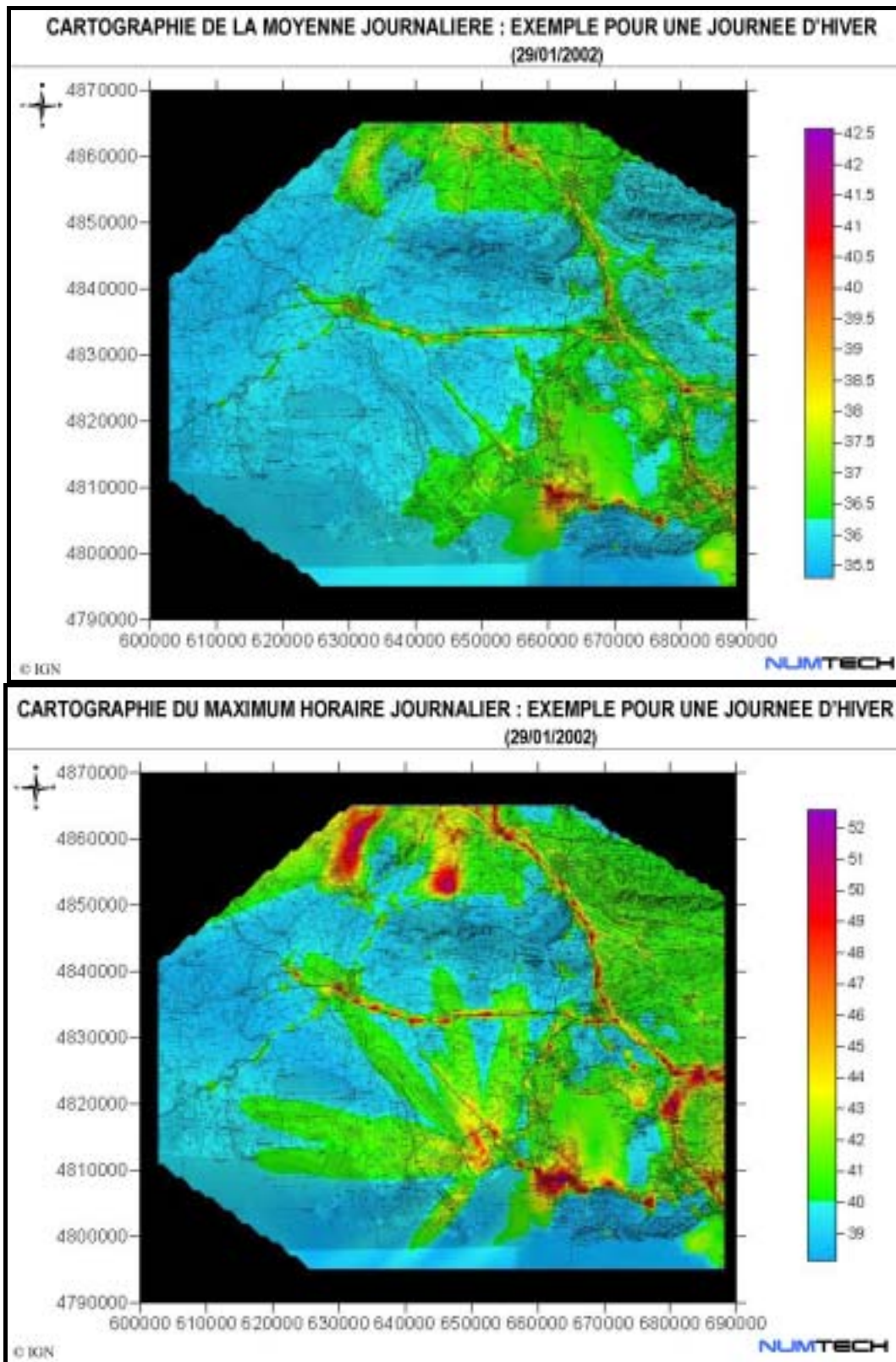


Figure 2 – Cartographies de la concentration moyenne journalière (en haut) et du maximum journalier (en bas) pour une journée d'hiver (le 29 janvier 2002)

En outre, la moyenne annuelle a été calculée à partir des moyennes journalières. Les Figure 3 et Figure 4 présentent la cartographie de cette moyenne annuelle respectivement en tenant compte de la zone d'influence des routes ou non (voir section suivante).

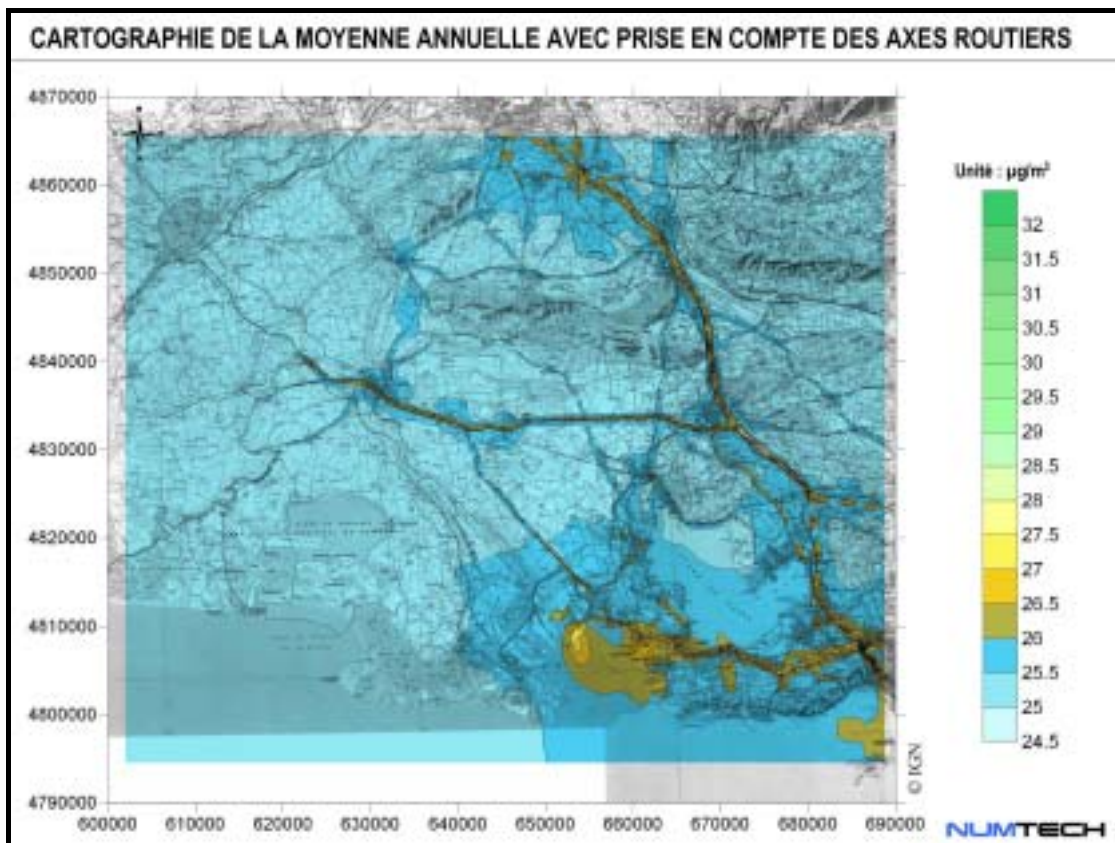


Figure 3 – Cartographie de la concentration annuelle en tenant compte des axes routiers

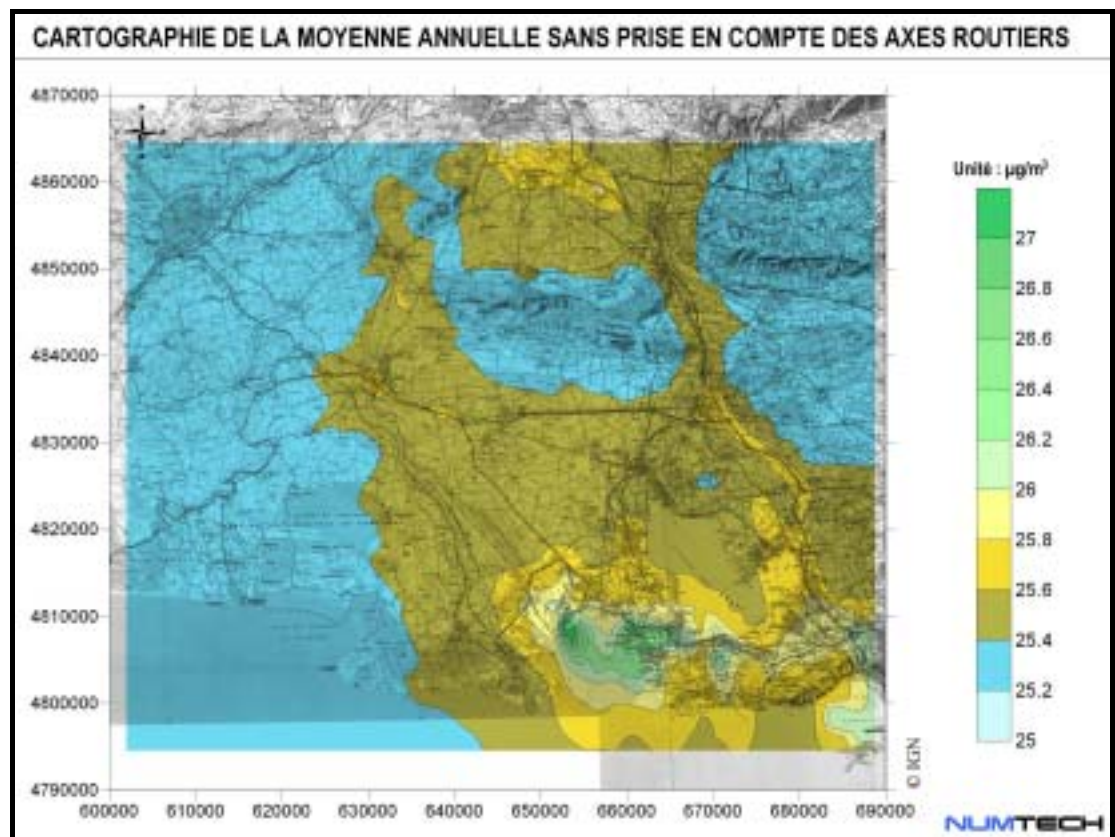


Figure 4 – Cartographie de la concentration moyenne annuelle sans tenir compte des axes routiers²

² Voir section suivante : les concentrations simulées au niveau d'une bande de 500m autour des routes ont été retirées et remplacées par la pollution de fond (avant interpolation) afin de ne visualiser que l'impact de la dispersion des rejets des sources autres que routières.

3.2 Méthodologie de zonage de la pollution PM

En concertation avec AIRFOBEP, il a été choisi de réaliser deux types de zonage de la pollution par les PM : un zonage à partir des concentrations moyennes journalières et un zonage à partir des concentrations maximales journalières.

Les concentrations horaires en chaque point ont donc été traitées pour obtenir pour chaque jour, la concentration moyenne journalière et la concentration maximale journalière. A partir de ces valeurs, un traitement statistique des cartographies des moyennes journalières et des maximums journaliers a été mis en place pour déterminer les zones homogènes de pollution dans la région de l'étang de Berre. Tous les points de cette région ont été comparés pour être regroupés, à partir de leur niveau de concentration (moyenne journalière ou maximum journalier) et de l'évolution temporelle de ces niveaux de concentration sur l'année, afin de constituer les zones homogènes.

Ce traitement statistique pour déterminer un zonage de la pollution par les PM est basé sur l'utilisation d'une classification hiérarchique ascendante : le but de la classification est de regrouper les individus constituant une population donnée en différentes catégories, en fonction des caractères qui les définissent. Une même classe doit regrouper des individus dont les caractères sont proches et 2 classes différentes doivent contenir des individus aussi différents que possible. Dans le cas d'un zonage, les individus sont constitués de l'ensemble des points contenus dans le domaine à zoner. Chacun d'entre eux est caractérisé par les variables sur lequel porte le zonage, et donc dans notre cas par les valeurs de concentrations en PM modélisés en chacun des points considérés et pour chacune des dates de la période étudiée. Afin de garantir la continuité des domaines obtenus, une contrainte de proximité géographique doit toutefois être ajoutée à la procédure : lors de chaque étape de la classification, un individu ne peut être regroupé avec une zone ou un autre point que si ces derniers sont contigus à l'individu considéré.

Il existe de nombreuses méthodes de classification. Celles qui sont dites « hiérarchiques ascendantes » s'effectuent de la façon suivante :

- Chaque point est tout d'abord considéré comme étant une classe à lui seul.
- Lors de chacune des itérations suivantes, le code rassemble 2 de ces points en recherchant le minimum d'un critère de dissemblance (ou le maximum d'un critère de ressemblance), estimé à partir des valeurs des caractères propres à chaque individu. Chaque itération entraîne donc la disparition d'une classe, cette classe regroupant 2 classes présentes lors de l'itération précédente. L'une des méthodes les plus employées, la méthode de Ward, utilise comme critère d'agrégation la valeur de l'inertie intra-classe. Cette quantité est la moyenne du carré des distances entre chaque point inclus dans une classe et le centre de gravité de cette classe. Une bonne classification cherchera donc à minimiser au maximum cette valeur pour permettre l'obtention de classe très homogène. On peut démontrer que la recherche de ce critère revient aussi à maximiser la différence existante entre 2 classes différentes. La classification obtenue assure donc non seulement l'homogénéité de chaque classe et un contraste maximum entre 2 classes distinctes.
- A la fin du calcul statistique, une seule classe demeure, regroupant l'ensemble des éléments. Cependant, la méthode mémorise l'ensemble du processus d'agrégation qui peut être représenté par un dendrogramme (Figure 5). Un paramètre généralement appelé « niveau d'agrégation » permet d'évaluer la perte d'information consentie pour une classification donnée. Il permet généralement de choisir le nombre de classe à conserver : pour obtenir une classification en un nombre de classe ainsi déterminé, il suffit alors de « couper » l'arbre à l'emplacement correspondant.

Notons que si cette méthode garantit que lors d'une itération le rassemblement de 2 classes est optimal, elle ne permet pas d'affirmer que la classification obtenue à la fin de la procédure est elle-même optimale. La seule approche connue permettant d'aboutir à un tel résultat consiste en une évaluation exhaustive de toutes les classifications possibles ce qui demeure une tâche irréalisable pour un tel nombre de données.

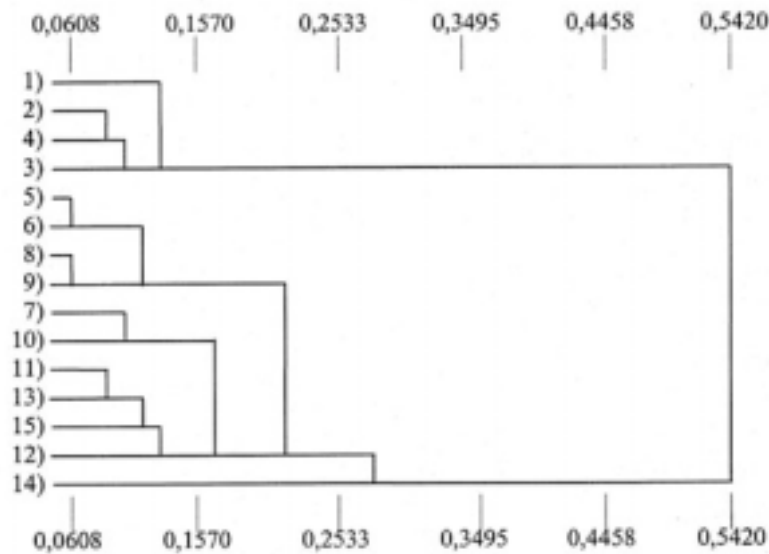


Figure 5 - Dendrogramme obtenu pour la classification de 14 individus et valeur du niveau d'agrégation (plus la valeur est grande, plus les pertes d'informations sont importantes).

Lors de la procédure de zonage, les concentrations moyennes journalières ou les concentrations maximales journalières simulées en chaque point de grille (et en tenant compte de la concentration de fond et du biais, voir section 3.1) ont été utilisées par le traitement statistique décrit précédemment.

Toutefois, après analyse des cartographies initiales de la moyenne journalière ou du maximum journalier, il est apparu que les axes routiers constituent à eux seuls des zones de forte pollution par les PM, compte tenu des émissions importantes ayant lieu au niveau de ces axes (émissions générées par le trafic routier) et de la dispersion atmosphérique généralement limitée à l'environnement proche de ces axes. En concertation avec AIRFOBEP, il a été décidé que les axes routiers qui ont été modélisés correspondent à une et une seule zone de pollution homogène. Ceci implique que pour que le traitement statistique utilisé (la classification hiérarchique ascendante), les concentrations au niveau des points de grille dans la zone d'influence des axes routiers soient regroupés automatiquement dans une zone spécifique. En pratique et pour ne pas perturber la CAH, il a été nécessaire de retirer les concentrations simulées au niveau de la zone d'influence des axes routiers avant d'exécuter la CAH.

Pour ce faire, la zone d'influence des axes routiers a été déterminée empiriquement en considérant une bande de largeur identique autour du centre de chaque axe routier. Cette largeur est alors fixe quelque soit la journée considérée (la largeur est donc indépendante des conditions météorologiques ayant eu lieu au cours de chaque journée) et est fixe quelque soit l'axe routier considéré (c'est à dire indépendant du trafic et des émissions associés). Plusieurs tests de sensibilité ont été effectués, et la largeur retenue pour déterminer la bande d'influence des axes routiers est de 500m.

3.3 Résultats du zonage

Zonage des Maximums journaliers

Les Figure 6 et Figure 8 et Figure 9 présentent le zonage en poussières à partir des maximums journaliers : trois zonages sont ainsi proposés et qui correspondent respectivement à 15 zones, 11 zones et 8 zones. Dans les trois cas, la zone 1 correspond à une zone en dehors de la zone d'étude et ne doit pas être prise en compte pour le zonage. A l'inverse, il faut aussi rajouter la zone de pollution homogène associée aux axes routiers. Les Tableau 3 et Tableau 4 et Tableau 5 présentent les principales caractéristiques associées à ces zones respectivement pour les

trois zonages. Il faut noter que les caractéristiques pour la zone homogène de pollution des axes routiers ne sont pas disponibles par construction, puisque cette zone a été définie empiriquement et non au moyen de la CAH.

Pour le zonage à 15 zones, on peut noter les points suivants :

- Les zones 5, 7, 9, 10, 11, 13 et 14 sont essentiellement liées à la dispersion des panaches des sources ponctuelles présentes dans ces zones du domaine d'étude, avec un zonage fonction des conditions météorologiques ; tandis que les autres zones (hormis les remarques suivantes) sont associées principalement à des émissions modélisées diffuses (peu de sources ponctuelles) et au réseau routier (plus ou moins dense selon les zones).
- Il est difficile d'expliquer la présence, et surtout la forme, de l'extension au nord-ouest de la zone 4.
- Il est difficile d'expliquer pourquoi l'indice d'homogénéité n°2 de la zone 2 est si faible (11.3) comparé aux autres zones. Cependant, il est possible que cela corresponde à la présence d'un large réseau routier au sein de cette zone, sans présence de sources ponctuelles notables. Par contre, contrairement à la zone 5, l'espacement entre les différentes routes est beaucoup plus important et une grande variabilité de type de route est également présent. En conséquence, il existe de large zones où les concentrations simulées sont très basses (proche de la pollution de fond) et des zones très proches des routes où les concentrations sont plus fortes. Cette forte hétérogénéité des concentrations dans la zone conduit probablement à expliquer la faible valeur de l'indice d'homogénéité n°2 (beaucoup plus strict que l'indice d'homogénéité n°1, voir annexe 1) pour cette zone.
- Il est difficile d'expliquer les raisons de l'isolement de la zone 15 par la CAH, bien que parmi les caractères constitutifs de la zone, celle-ci présente la valeur la plus forte pour l'écart maximal entre les valeurs simulées en deux points dans cette zone : $64.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; tandis que pour les autres zones, cette valeur est de l'ordre de 20 à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il est possible que cette zone corresponde à une accumulation particulière des émissions de PM pour certains conditions météorologiques (direction de vent de nord-est), compte tenu du relief dans cette région (voir [Figure 7](#)).
- La zone 13 apparaît probablement de part la présence d'un (ou quelques) panache(s) de fortes concentrations simulée(s) pour une(des) condition(s) météorologique(s) très particulière(s). Ceci correspond à ce qui peut être appelé un effet de panache³. Il est probable que les zones 9, 11, 13 et 14 correspondent à un zonage avec présence d'un tel effet de panache issus des rejets canalisés des sociétés présentes sur le complexe de Fos-sur-mer, et éventuellement Martigues, Lavera ou Port de bouc..
- Les zones 5, 10 et 14 présentent un indice d'homogénéité n°2 relativement moyen (entre 60 et 80), ainsi qu'un écart-type le plus élevé. Il est probable que cette situation est liée à la présence d'un grand nombre de sources ponctuelles au croisement de ces 3 zones. Si statistiquement la zone de dispersion des panaches d'un jour à l'autre doit correspondre intégralement à l'une des 3 zones, il existe probablement des

³ Le regroupement de points géographiques dans une même zone correspond à un regroupement de points de grille qui sont soumis en moyenne au cours de l'année à des concentrations similaires. L'étendue d'une zone représente donc une zone de dispersion plus ou moins homogène et récurrente des rejets présents au sein et autour de cette zone. A l'issue de la CAH, la présence de zones ayant une étendue géographique très limitée traduit le fait que les points de grille dans ces zones sont influencés principalement par un rejet bien identifié (ou un groupe de sources très localisées et proches les unes des autres) dont la trace reste visible quand on moyenne celle-ci sur l'année avec la trace des autres rejets éventuellement présents dans cette zone. Cette situation est d'autant plus mise en avant quand le panache simulé pour certaines conditions météorologiques récurrentes (ou heures récurrentes dans l'année) est relativement fin et concentré (peu de dispersion). Lors de la CAH, les points de grille impactés par un tel panache vont alors se distinguer et se différencier des autres points de grille du fait d'une concentration simulée relativement plus forte lors de certaines heures. La CAH opérant un regroupement entre points de grilles de même caractéristique (c'est à dire présentant peu de variation en intensité mais aussi de variation temporelle), ces points particuliers vont donc constituer une zone particulière bien distincte des autres zones. Pour qu'une telle zone soit regroupée avec une autre zone, il faudra alors attendre les dernières étapes de la CAH où la perte d'information consentie est la plus importante. Dans ce cas (zone d'étendue très localisée), on peut alors parler d'effet de panache, tel que dans le cas de la zone 13 qui correspond probablement à la trace récurrente d'un panache intense et peu dispersé des rejets de la société Solvay à Port-Saint Louis ou des sociétés présentes sur le complexe de Fos sur Mer.

situations moins fréquentes où les panaches se dispersent à la frontière de ces zones. Compte tenu de cette faible occurrence et pour le niveau d'arrêt choisi, la CAH n'a pas gardé la trace de zones spécifiques pour ces cas, et le regroupement dans l'une des 3 zones de ces quelques situations frontalières explique probablement le niveau moyen de l'indice d'homogénéité n°2.

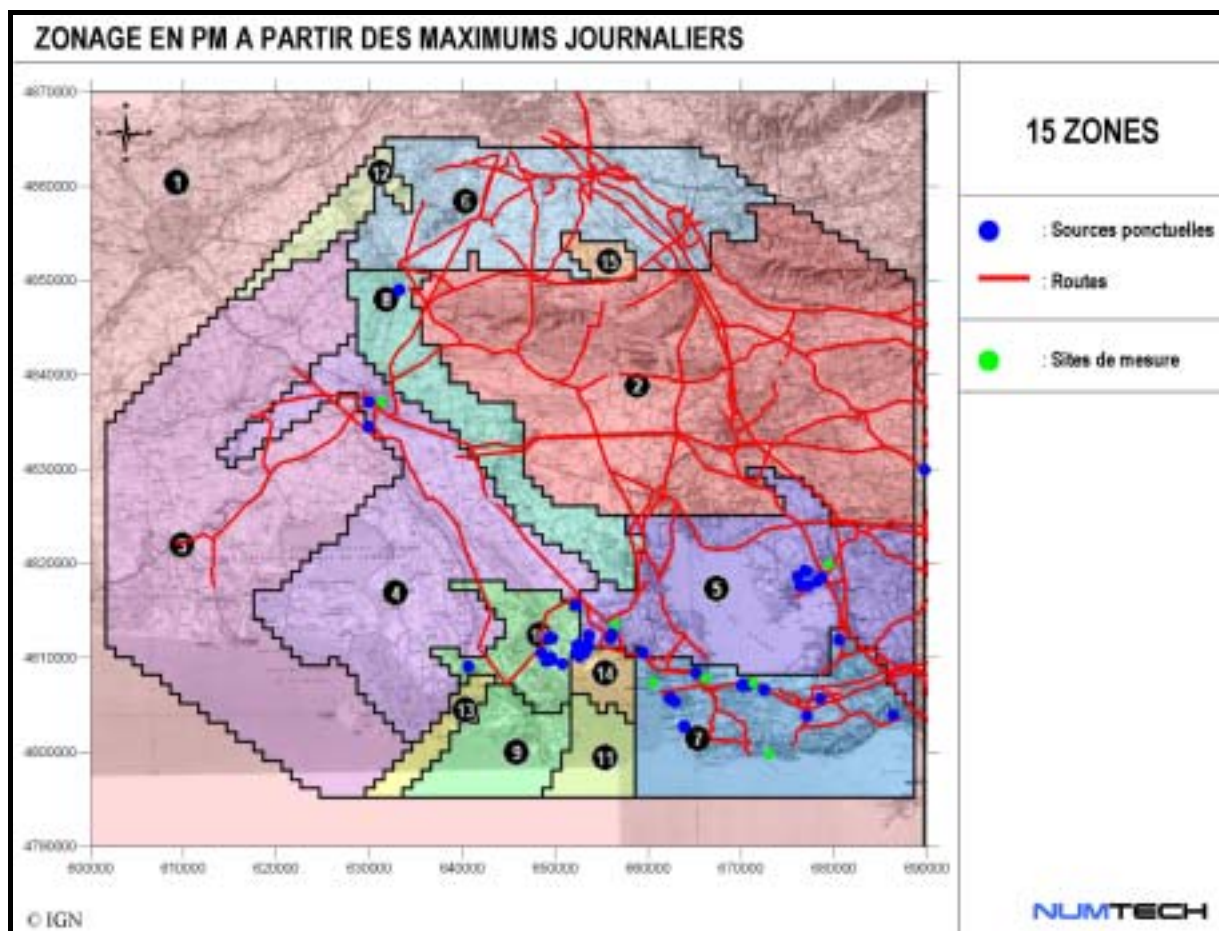


Figure 6 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 15 zones

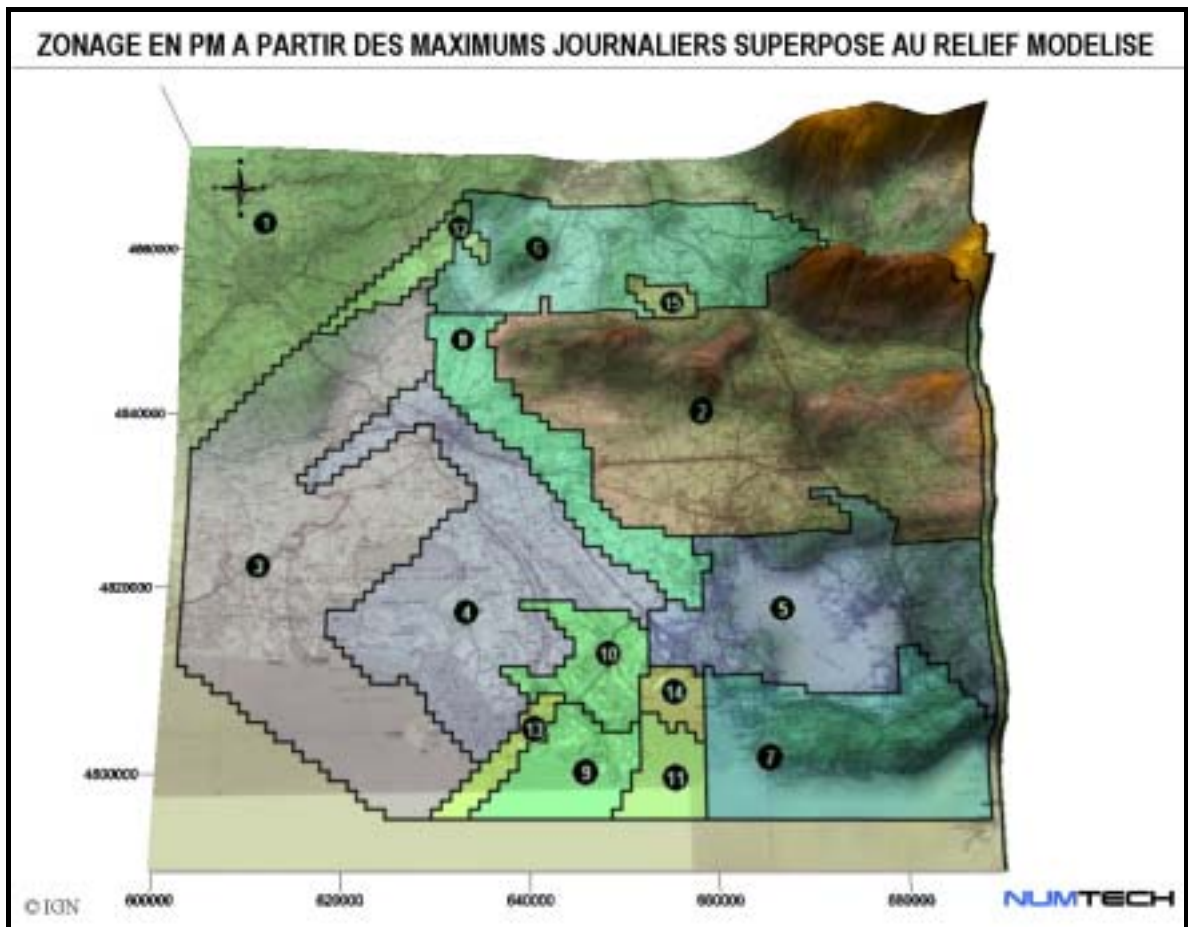


Figure 7 – Superposition du zonage à partir des maximums journaliers et du relief pour un zonage à 15 zones

| Zones (15) Facteur agrégation ¹ : 25.4 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Médiane ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart- type ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|--|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 ² | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 26.3 | 29.5 | 32.1 | 29.4 | 0.5 | 23.7 | 99.6 | 11.3 |
| 3 | 15.3 | 29.4 | 31.3 | 29.3 | 0.4 | 20.1 | 99.5 | 96.2 |
| 4 | 13.7 | 29.7 | 33.1 | 29.5 | 0.7 | 23.0 | 98.3 | 86.3 |
| 5 | 11.4 | 30.0 | 35.4 | 29.7 | 0.9 | 22.9 | 97.5 | 78.0 |
| 6 | 8.9 | 29.7 | 33.1 | 29.6 | 0.6 | 22.3 | 98.5 | 89.0 |
| 7 | 9.2 | 30.4 | 36.4 | 30.2 | 1.1 | 22.5 | 97.0 | 81.6 |
| 8 | 5.3 | 29.8 | 32.3 | 29.6 | 0.6 | 21.0 | 98.1 | 94.0 |
| 9 | 2.9 | 29.8 | 31.9 | 29.6 | 0.6 | 19.7 | 98.5 | 94.5 |
| 10 | 2.6 | 30.7 | 35.8 | 30.2 | 1.4 | 22.0 | 93.0 | 75.5 |
| 11 | 1.7 | 30.5 | 33.1 | 30.2 | 0.9 | 24.6 | 98.1 | 86.0 |
| 12 | 0.2 | 30.5 | 31.3 | 30.4 | 0.5 | 20.3 | 97.2 | 91.8 |
| 13 | 1.0 | 30.0 | 31.3 | 29.8 | 0.5 | 23.2 | 98.5 | 94.5 |
| 14 | 0.9 | 32.0 | 37.5 | 31.3 | 2.0 | 18.8 | 86.7 | 59.3 |
| 15 | 0.6 | 30.1 | 31.2 | 29.9 | 0.5 | 64.5 | 97.1 | 91.2 |

Tableau 3 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 15 zones

1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 1 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau

Pour le zonage à 11 zones, on peut noter les points suivants :

- Certaines zones restent inchangées par rapport au zonage à 15 zones :
 - o Zone 5 : anciennement zone 7
 - o Zone 10 : anciennement 14
 - o Zone 7 : anciennement 10Y compris des zones isolées dont l'existence est difficile à expliquer :
 - o Zone 8 : anciennement zone 12
 - o Zone 9 : anciennement zone 13
 - o Zone 11 : anciennement zone 15

- Tandis que logiquement certaines zones correspondent à l'agrégation de plusieurs zones. De manière générale, ces zones correspondent à des zones qui sont déjà initialement relativement étendues géographiquement :
 - o Zone 2 : regroupes des zones 2 et 6
 - o Zone 3 : regroupes des zones 3 et 4
 - o Zone 4 : regroupes des zones 5 et 8
 - o Zone 6 : regroupes des zones 9 et 11

L'analyse des paramètres associés à chaque zone montre qu'un tel zonage à 11 zones est raisonnable et statistiquement tout aussi valide que le zonage à 15 zones. On retrouve notamment les grands tendances statistiques (en particulier pour l'indice d'homogénéité n°2 : zones 2, 4, 7 et 10) observés pour le zonage à 15 zones. Le choix entre ces deux zonages ne correspond alors qu'à une volonté éventuelle de garder une distinction particulière (limite administrative, zone industrielle particulière, ...) pour telle ou telle zone.

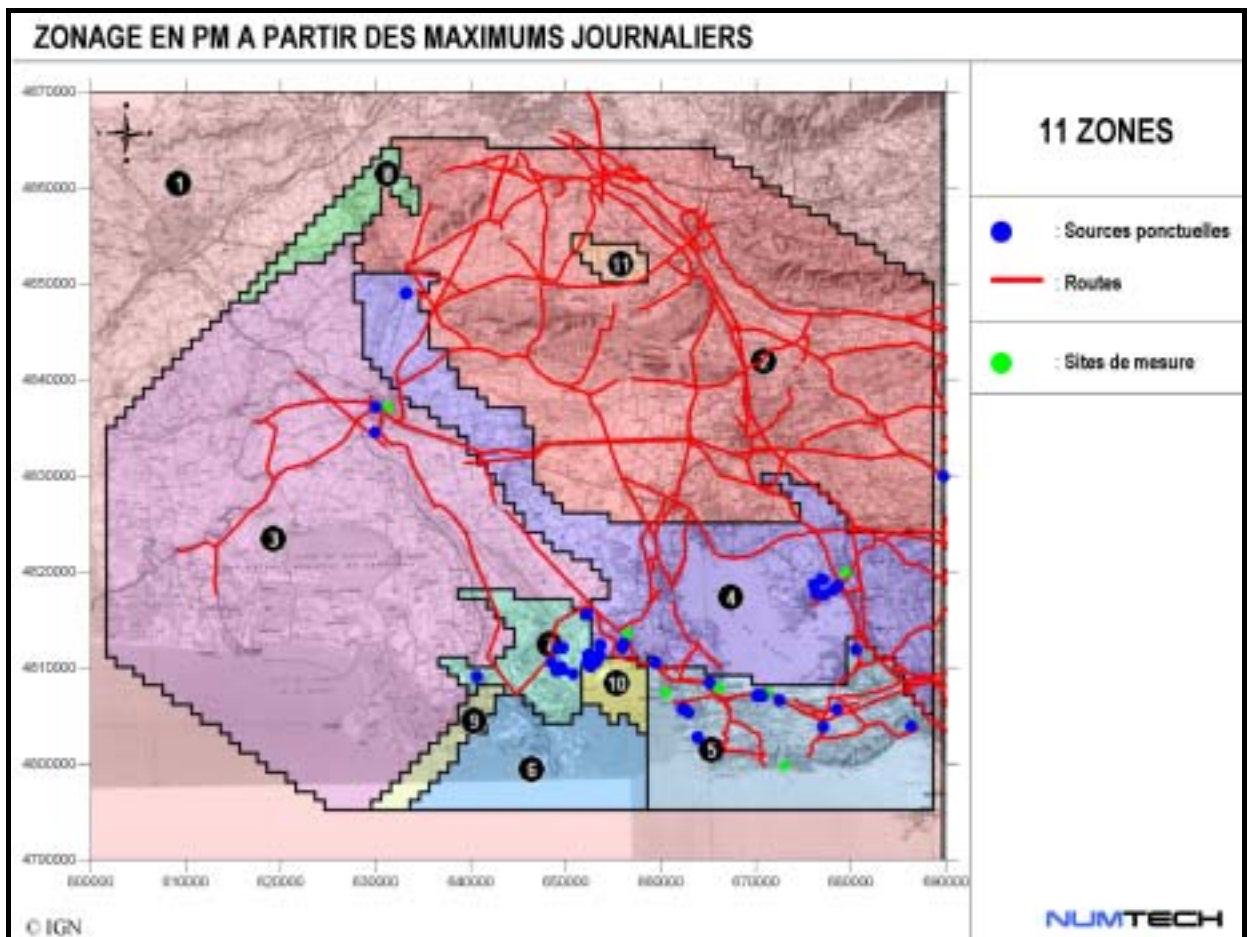


Figure 8 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 11 zones

| Zones (11) Facteur agrégation ¹ : 27.3 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Médiane ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart- type ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|--|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 ² | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 35.2 | 29.5 | 33.7 | 29.4 | 0.6 | 29.0 | 99.5 | 10.2 |
| 3 | 29.1 | 29.5 | 33.2 | 29.3 | 0.6 | 23.0 | 99.3 | 85.2 |
| 4 | 16.7 | 29.9 | 35.7 | 29.6 | 0.9 | 22.9 | 97.4 | 78.0 |
| 5 | 9.2 | 30.4 | 36.4 | 30.2 | 1.1 | 22.5 | 97.0 | 81.6 |
| 6 | 4.5 | 30.1 | 33.6 | 29.7 | 0.9 | 26.7 | 97.9 | 81.9 |
| 7 | 2.6 | 30.7 | 35.8 | 30.2 | 1.4 | 22.0 | 93.0 | 75.5 |
| 8 | 0.2 | 30.5 | 31.3 | 30.4 | 0.5 | 20.3 | 97.2 | 91.8 |
| 9 | 1.0 | 30.0 | 31.3 | 29.8 | 0.5 | 23.2 | 98.5 | 94.5 |
| 10 | 0.9 | 32.0 | 37.5 | 31.3 | 2.0 | 18.8 | 86.7 | 59.3 |
| 11 | 0.6 | 30.1 | 31.2 | 29.9 | 0.5 | 64.5 | 97.1 | 91.2 |

Tableau 4 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 11 zones

1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 1 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau

Pour le zonage à 8 zones, on peut noter les points suivants :

- Certaines zones restent inchangées par rapport au zonage à 15 zones :
 - o Zone 3 : anciennement zone 3
 - o Zone 4 : anciennement 4
 - o Zone 5 : anciennement 5
 - o Zone 8 : anciennement 10
- Y compris des zones isolées dont l'existence est difficile à expliquer :
 - o Zone 7 : anciennement zone 8
- Tandis que logiquement certaines zones correspondent à l'agrégation de plusieurs zones. De manière générale, ces zones correspondent à des zones qui sont déjà initialement relativement étendues géographiquement :
 - o Zone 6 : regroupe des zones 6, 7 et 9
 - o Zone 2 : regroupe des zones 2 et 11

Pour la zone 2, on peut noter que le regroupement avec la zone n°11 du zonage à 11 zones conduit à dégrader une partie de ces caractéristiques, en particulier l'écart maximum qui atteint la valeur de $77.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tout comme pour le zonage à 11 zones, on retrouve des comportements communs au zonage à 15 zones, en particulier la distinction des zones 4, 6 et 8 (avec la présence de nombreuses sources ponctuelles à leurs croisements). Et, tout comme pour le zonage à 11 zones, il apparaît que le zonage à 8 zones peut tout à fait être considéré.

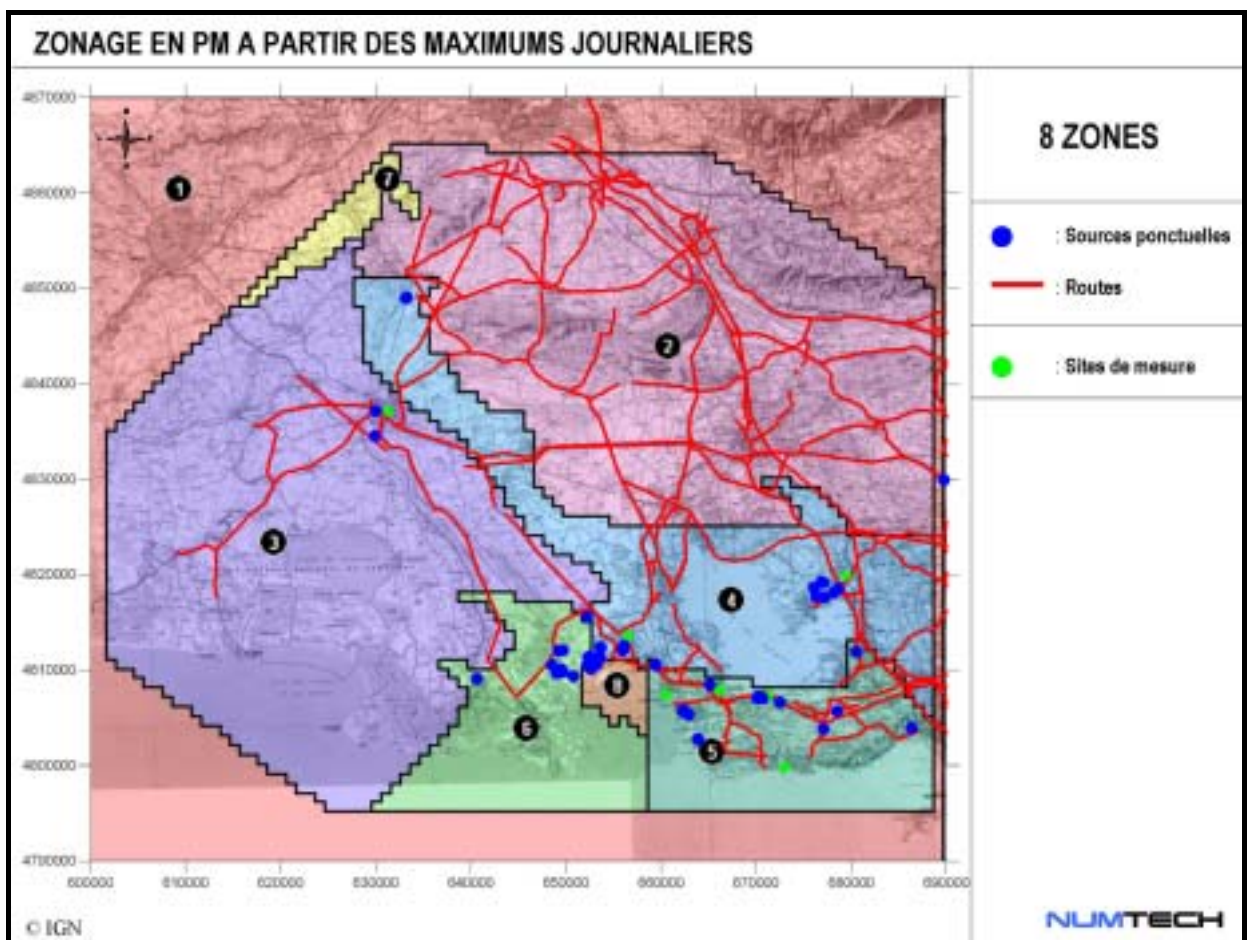


Figure 9 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 8 zones

| Zones (8) Facteur agrégation ¹ : 29.0 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ (µg/m ³) | Maximum ¹ (µg/m ³) | Médiane ¹ (µg/m ³) | Ecart- type ¹ (µg/m ³) | Ecart Maximum ¹ (µg/m ³) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|---|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 ² | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 35.8 | 29.5 | 34.4 | 29.4 | 0.7 | 77.4 | 99.4 | 10.2 |
| 3 | 29.1 | 29.5 | 33.2 | 29.3 | 0.6 | 23.0 | 99.3 | 85.2 |
| 4 | 16.7 | 29.9 | 35.7 | 29.6 | 0.9 | 22.9 | 97.4 | 78.0 |
| 5 | 9.2 | 30.4 | 36.4 | 30.2 | 1.1 | 22.5 | 97.0 | 81.6 |
| 6 | 8.2 | 30.2 | 37.0 | 29.7 | 1.4 | 32.1 | 95.2 | 62.9 |
| 7 | 0.2 | 30.5 | 31.3 | 30.4 | 0.5 | 20.3 | 97.2 | 91.8 |
| 8 | 0.9 | 32.0 | 37.5 | 31.3 | 2.0 | 18.8 | 86.7 | 59.3 |

Tableau 5 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 8 zones
1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 1 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau

Zonage des Moyennes journalières

La **Figure 10** présente le zonage en poussières à partir des moyennes journalières et le **Tableau 6** les caractéristiques associées.

Le zonage correspondant à cette figure et à ce tableau est beaucoup plus simple que pour le maximums journaliers, puisque seulement 6 zones apparaissent (la zone 2 correspond à une zone en dehors de la zone d'étude et ne doit pas être prise en compte pour le zonage). A ces zones, il faut ajouter la zone de pollution homogène associée aux axes routiers, au sein de laquelle les concentrations simulées sont les plus élevées et pour laquelle les caractéristiques ne sont pas présentes dans le tableau par construction. On peut noter que :

- les zones 1 et 3 couvrent un large domaine et correspondent à des émissions de PM relativement diffuses (peu de sources ponctuelles dans ces zones) et à des émissions par le réseau routier (plus dense pour la zone 3).
- Les zones 4 et 5 sont associées à la présence de sources ponctuelles et dépendent des conditions météorologiques (vent de nord ou vent de sud). En particulier, la présence à la frontière de la zone 4 de ce grand nombre de sources ponctuelles peut probablement expliquer l'indice d'homogénéité n°2 qui est légèrement plus faible pour cette zone comparé aux autres zones.
- La zone 6 est très fortement influencé par le réseau routier au nord de la zone.

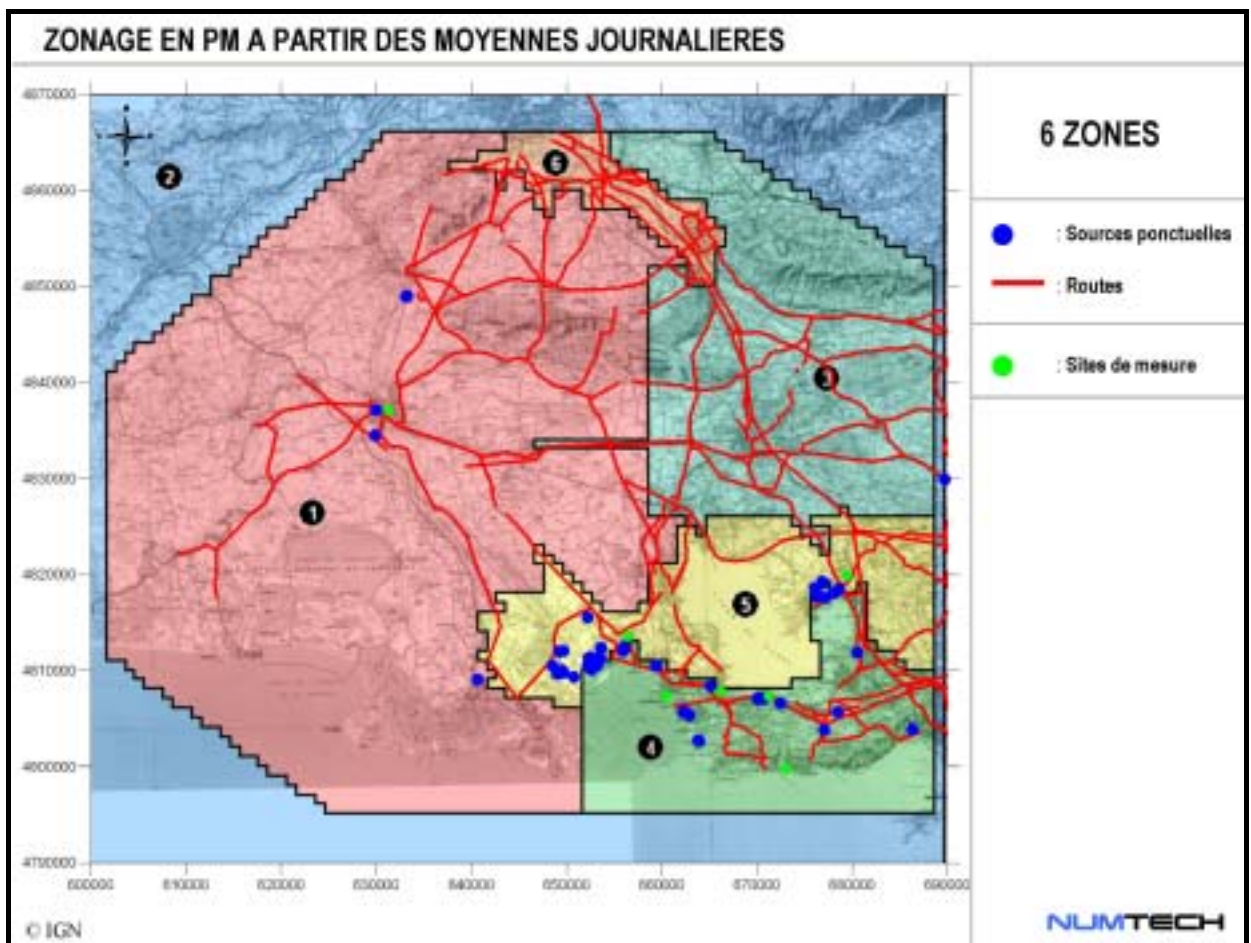


Figure 10 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 6 zones

| Zones (6) Facteur agrégation ¹ : 67.7 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Médiane ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart- type ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|---|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 | 53.8 | 25.5 | 27.5 | 25.4 | 0.2 | 10.1 | 100.0 | 99.2 |
| 2 ² | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 18.0 | 25.6 | 29.1 | 25.5 | 0.5 | 8.9 | 100.0 | 93.7 |
| 4 | 12.9 | 26.1 | 30.3 | 25.8 | 0.7 | 8.7 | 99.8 | 81.6 |
| 5 | 12.4 | 25.7 | 29.0 | 25.6 | 0.4 | 8.2 | 100.0 | 96.4 |
| 6 | 2.9 | 26.2 | 29.2 | 25.9 | 0.7 | 8.0 | 99.9 | 93.4 |

Tableau 6 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 6 zones
1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 2 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau

Les Figure 11 et Figure 12 présentent respectivement un zonage à 5 et 7 zones ainsi que les caractéristiques associées dans les Tableau 7 et Tableau 8. Ces résultats montrent que le zonage à 6 zones est un zonage tout à fait acceptable et relativement valide pour le zonage de la pollution en particules à partir des concentrations moyennes journalières.

A noter que d'un point de vue strictement mathématique, plus le nombre de zones retenues est important, plus le zonage est précis et recommandable. En d'autres termes, le zonage à 7 zones est potentiellement meilleur que le zonage à 6 ou 5 zones, et le zonage à 8 zones meilleur que le zonage à 7 zones ... Néanmoins d'une part, la

dégradation des paramètres statistiques entre ces trois zonages est très limitée, y compris pour l'indice d'homogénéité n°2. D'autre part, le choix de considérer/recommander tel ou tel zonage dépend des informations qu'on veut en extraire et de son utilisation. Dans le cadre de cette étude, à savoir qualification de la pollution en particules dans la zone d'intérêt d'AIRFOBEP pour un déploiement éventuel d'un réseau de mesure spécifique avec les contraintes associées, le zonage à 6 zones nous apparaît comme un bon compromis pour avoir une bonne vue d'ensemble de la répartition de la pollution en poussières dans le domaine d'étude.

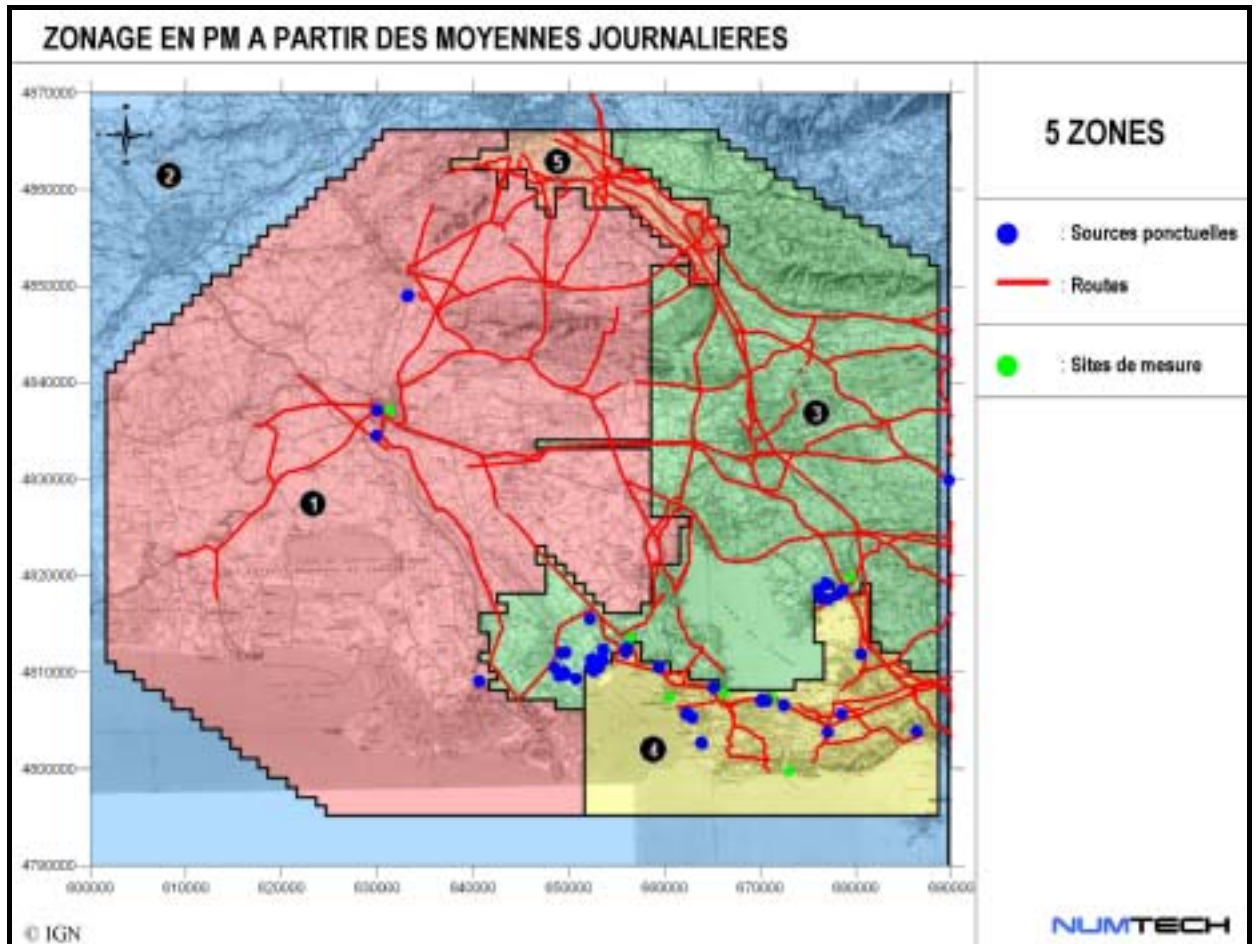


Figure 11 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 5 zones

| Zones (5) Facteur agrégation ¹ : 73.1 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Médiane ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart- type ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|---|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 | 53.8 | 25.5 | 27.5 | 25.4 | 0.2 | 10.1 | 100.0 | 99.2 |
| 2 ² | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 30.4 | 25.7 | 29.3 | 25.5 | 0.5 | 9.1 | 100.0 | 93.7 |
| 4 | 12.9 | 26.1 | 30.3 | 25.8 | 0.7 | 8.7 | 99.8 | 81.6 |
| 5 | 2.9 | 26.2 | 29.2 | 25.9 | 0.7 | 8.0 | 99.9 | 93.4 |

Tableau 7 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 5 zones

1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 2 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau

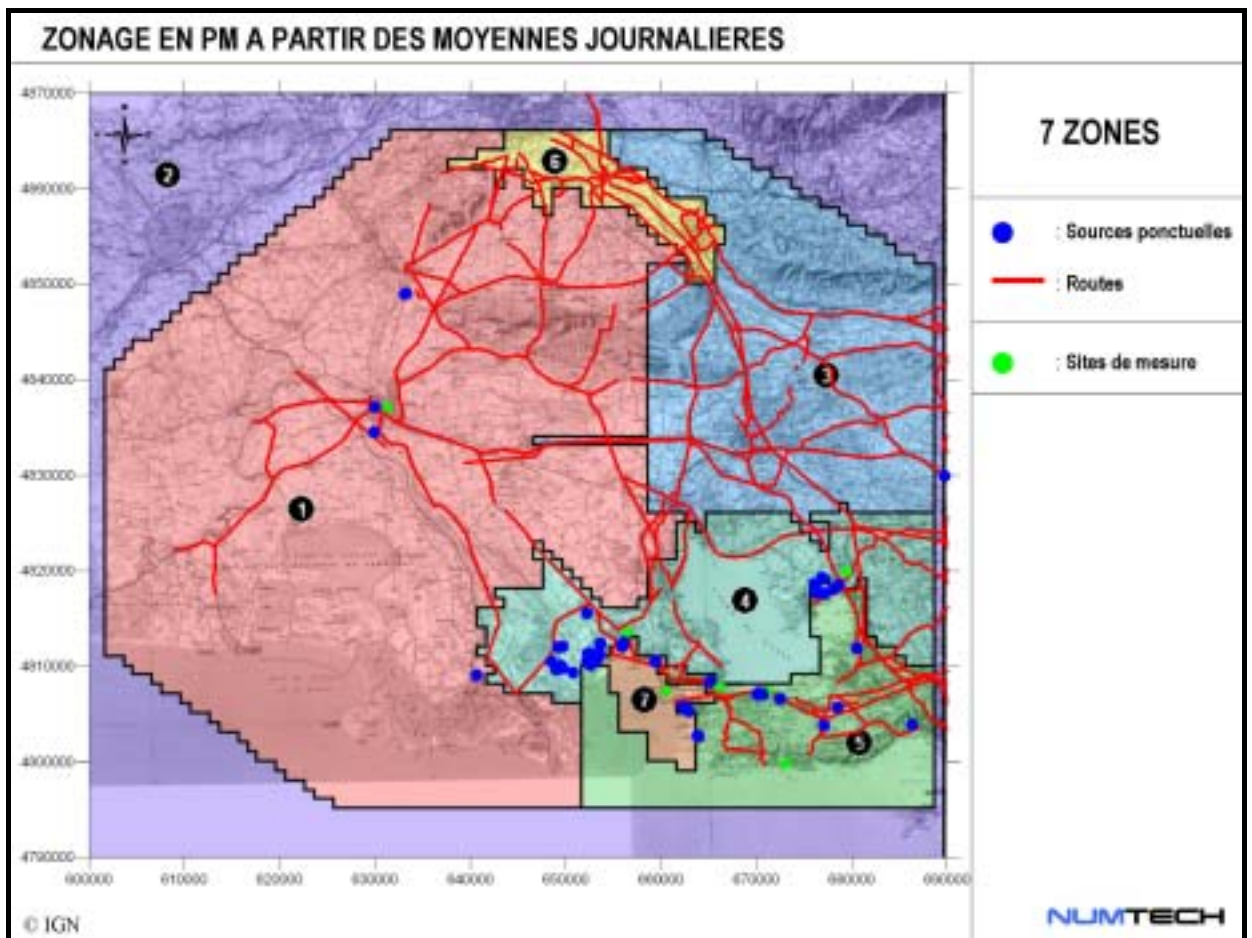


Figure 12 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 7 zones

| Zones (7) Facteur agrégation ¹ : 67.0 % | Effectif (%) | Moyenne ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Médiane ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart- type ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Ecart Maximum ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Indice homogénéité 1 ¹ | Indice homogénéité 2 ¹ |
|---|-----------------|--|--|--|---|---|---|---|
| 1 | 53.8 | 25.5 | 27.5 | 25.4 | 0.2 | 10.1 | 100.0 | 99.2 |
| 2 ² | 0.0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 18.0 | 25.6 | 29.1 | 25.5 | 0.5 | 8.9 | 100.0 | 93.7 |
| 4 | 12.4 | 25.7 | 29.0 | 25.6 | 0.4 | 8.2 | 100.0 | 96.4 |
| 5 | 11.1 | 26.0 | 30.3 | 25.8 | 0.7 | 8.7 | 99.7 | 81.6 |
| 6 | 2.9 | 26.2 | 29.2 | 25.9 | 0.7 | 8.0 | 99.9 | 93.4 |
| 7 | 1.8 | 26.3 | 28.1 | 26.2 | 0.5 | 5.2 | 100.0 | 99.7 |

Tableau 8 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 7 zones
1 : voir annexe 1 ; 2 : la zone 2 étant en dehors de la zone d'étude n'est pas intégrée dans le tableau.

4. Conclusion

4. Conclusion

Dans le cadre de sa mission de surveillance, AIRFOBEP dispose d'un réseau permanent de capteurs de pollution qui lui permet de connaître le niveau des polluants réglementés sur sa zone d'agrément. Afin d'optimiser son réseau et s'assurer de sa représentativité, AIRFOBEP a demandé à la société NUMTECH de réaliser une étude par modélisation de la dispersion des poussières afin de déterminer des zones homogènes de pollution et le niveau de pollution associé. Le principal objectif était de disposer d'une information sur la répartition spatio-temporelle de la concentration des particules en suspension

Cette étude a été réalisée avec le modèle de qualité de l'air urbaine ADMS-URBAN pour une simulation complète, heure par heure, de l'année 2002 sur l'ensemble du domaine d'agrément d'AIRFOBEP. Cette simulation repose sur les données d'émissions du cadastre PACA, des données météorologiques observées en diverses stations AIRFOBEP et Météo France, des données de terrain IGN. En outre une méthodologie a été mise en place pour évaluer la pollution de fond et la prendre en compte dans les résultats de simulations.

Au terme des simulations, deux zonages ont été effectués, l'un sur la base des concentrations moyennes journalières et l'un sur la base des concentrations maximales journalières :

- Zonage à partir des concentrations maximales journalières :

Trois zonages sont proposés et présentés. Ces trois zonages correspondent respectivement à 15, 11 et 8 zones, auxquelles il faut ajouter la zone de pollution homogène associée aux axes routiers. Les différentes zones au sein de chaque zonage apparaissent en fonction des conditions météorologiques (direction du vent), de la présence de sources ponctuelles importantes au sein des zones ou non, de la densité du réseau routier, et des effets de relief.

A partir des caractéristiques associées à chaque zone de chaque zonage, ainsi qu'à partir du taux d'agrégation correspondant à chaque zonage, il apparaît que les trois zonages sont tout à fait acceptables. Le choix de tel ou tel zonage est alors principalement lié au détail que l'on souhaite considérer à partir des maximums journaliers.

- Zonage à partir des concentrations moyennes journalières :

Un zonage principal est proposé et qui correspond à 5 zones, auxquelles la zone couverte par les axes routiers doit être ajoutée.

La comparaison avec les zonages à 4 ou 6 zones montre que ce zonage à 5 zones est à la fois acceptable en terme de paramètres statistiques (taux d'agrégation, indice d'homogénéité des zones, ...) et en terme de zones géographiques couvertes en fonction de la localisation des sources d'émissions et de la météorologie de la zone d'étude. Ce zonage nous apparaît donc comme un bon compromis entre avoir une bonne vue d'ensemble de la répartition de la pollution en poussières dans le domaine d'étude (notamment via la couverture spatiale de chaque zone) et son utilisation potentielle de déploiement d'un réseau de mesures en poussières (à associer au nombre de zones).

■ Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 – Cartographies de la concentration moyenne journalière (en haut) et du maximum journalier (en bas) pour une journée d'été (le 20 juin 2002) | 11 |
| Figure 2 – Cartographies de la concentration moyenne journalière (en haut) et du maximum journalier (en bas) pour une journée d'hiver (le 29 janvier 2002) | 12 |
| Figure 3 – Cartographie de la concentration annuelle en tenant compte des axes routiers | 13 |
| Figure 4 – Cartographie de la concentration moyenne annuelle sans tenir compte des axes routiers | 13 |
| Figure 5 - Dendrogramme obtenu pour la classification de 14 individus et valeur du niveau d'agrégation..... | 15 |
| Figure 6 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 15 zones..... | 17 |
| Figure 7 – Superposition du zonage à partir des maximums journaliers et du relief pour un zonage à 15 zones | 18 |
| Figure 8 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 11 zones..... | 20 |
| Figure 9 – Zonage à partir des maximums journaliers pour un zonage à 8 zones..... | 21 |
| Figure 10 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 6 zones | 23 |
| Figure 11 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 5 zones | 24 |
| Figure 12 – Zonage à partir des moyennes journalières pour un zonage à 7 zones | 25 |

■ Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Phénomènes pris en compte dans la modélisation | 7 |
| Tableau 2 : Biais additionné aux concentrations simulées, après ajout de la pollution de fond | 10 |
| Tableau 3 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 15 zones..... | 18 |
| Tableau 4 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 11 zones..... | 20 |
| Tableau 5 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations maximales journalières pour un zonage à 8 zones..... | 22 |
| Tableau 6 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 6 zones..... | 23 |
| Tableau 7 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 5 zones..... | 24 |
| Tableau 8 – Caractéristiques des zones retenues à partir des concentrations moyennes journalières pour un zonage à 7 zones..... | 25 |



■ Table des Annexes

| | |
|---|----|
| Annexe 1 : Définition des paramètres statistiques de zonage | 31 |
|---|----|

Annexe 1 : Définition des paramètres statistiques de zonage

Facteur d'agrégation :

L'algorithme de classification est basé sur la minimisation de l'inertie intraclasse (voir paragraphe 3). Ainsi plus le nombre de classe diminue, plus l'inertie intraclasse augmente. Le degré d'agrégation est le rapport de ce gain d'inertie intraclasse (somme des moyennes des carrés des distances entre les centres de gravité de zones et les points qui les composent) sur l'inertie totale (moyenne des carrés des distances entre le centre de gravité total et chacun des points). Il caractérise donc la dispersion des individus regroupés dans une même classe par rapport à la dispersion totale de l'ensemble des individus. Plus la dispersion dans une même classe est grande, plus la représentation des individus qui la composent sous la forme d'une classe constitue une perte d'information puisque l'information concernant cette dispersion disparaît. Le degré d'agrégation renseigne donc sur la perte d'information consentie pour un nombre de classe donné. Il n'est toutefois pas toujours simple de donner une définition très explicite de l'information caractérisée de cette manière. Par ailleurs, la signification du degré d'agrégation dépend fortement de l'ensemble du panel initial des individus considérés : si la dispersion initiale (donc la dispersion totale intervenant au dénominateur du degré d'agrégation) est faible, un pourcentage fort peut correspondre à une perte d'information utile faible. A l'inverse, un pourcentage faible obtenu pour des individus initialement très différents peut déjà correspondre à une perte d'information utile importante. En d'autre terme, le degré d'agrégation n'est donc donné ici qu'à titre informatif puisque 50% peut être tout aussi acceptable que 10% en fonction du cas étudié.

Pour qualifier le degré d'homogénéité des zones, et donner une définition plus « appliquée » de l'information conservée dans chacun des zonages, on a recours à la définition de deux indices d'homogénéité.

Indice homogénéité 1 :

Soit 2 points choisis au hasard parmi la zone considérée pour une journée elle aussi choisie au hasard : la valeur de l'indice 1 donne la probabilité pour que l'écart existant entre les valeurs du paramètre (paramètre=concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière) considéré en ces 2 points soit inférieur à un seuil donné (5ug/m³). Une valeur de 0 % signifie donc que quelle que soit la journée considérée il n'existe aucun couple de points donnant un écart de concentration < à 5 ug/m³. Une valeur de 100% indique que quelle que soit la journée considérée, il n'existe aucun couple de points donnant un écart de concentration > à 5 ug/m³.

Compte tenu de l'approche et des champs de concentration simulés qui sont très influencés par le niveau de pollution de fond qui a été considéré comme homogène dans tout le domaine d'étude, ce paramètre d'homogénéité est relativement peu discriminant.

Indice homogénéité 2 :

Soit une journée choisie au hasard, la valeur de l'indice 2 donne la probabilité pour qu'il existe **aucun** couple de points dans la zone considérée pour lesquels l'écart existant entre les valeurs du paramètre (paramètre=concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière) considéré soit supérieur à un seuil donné (5 ug/m³). Une valeur de 0% indique donc que quelle que soit la journée considérée, il existe toujours **au moins** 1 couple de points donnant un écart de concentration > à 5 ug/m³. Une valeur de 100 % signifie que quelle que soit la journée considérée il n'existe aucun couple de points donnant un écart de concentration > à 5 ug/m³.

Ce paramètre d'homogénéité est beaucoup plus discriminant puisqu'on recherche de manière exhaustive tous les dépassements de seuils possibles pour tous les couples de points possibles d'une même zone.

Moyenne :

Ceci représente la moyenne de la moyenne pour chaque journée du paramètre calculé en chaque point de la zone (paramètre = concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière selon le zonage réalisé).

Maximum :

Ceci représente la moyenne du maximum pour chaque journée du paramètre calculé en chaque point de la zone (paramètre = concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière selon le zonage réalisé).

Médiane :

Ceci représente la moyenne de la médiane pour chaque journée du paramètre calculé en chaque point de la zone (paramètre = concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière selon le zonage réalisé).

Ecart-type :

Ceci représente la moyenne de l'écart-type pour chaque journée du paramètre calculé en chaque point de la zone, c'est à dire représente la distribution du paramètre étudié entre les points appartenant à une même zone (paramètre = concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière selon le zonage réalisé).

Ecart maximum :

Ceci représente le maximum de l'écart maximum pour chaque journée obtenu pour le paramètre calculé entre deux points de la zone (paramètre = concentration maximale journalière ou concentration moyenne journalière selon le zonage réalisé).