



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Traitements numériques

Evaluation des zones géographiques touchées par les dépassements de valeurs limites

Décembre 2009

Programme 2009

L. MALHERBE, G. CÁRDENAS





PREAMBULE

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

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'École des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement. Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France, coordonné au plan technique par l'ADEME, en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

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



Evaluation des zones géographiques touchées par les dépassements de valeurs limites

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Traitements numériques

Programme financé par la
Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC)

2009

L. Malherbe, G. Cárdenas

Ce document comporte 12 pages (hors couverture et annexes)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	L. Malherbe	B. Bessagnet	M. Ramel
Qualité	Ingénieur de l'Unité MOCA Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité MOCA Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME.....	7
1. INTRODUCTION	8
2. EVALUATION DES ZONES DE DEPASSEMENT POUR LES PM10	9
3. CONCLUSION.....	11
4. LISTE DES ANNEXES	12

RESUME

L'obligation de déclaration auprès de la Commission Européenne nécessite d'évaluer les zones géographiques touchées par des dépassements de valeurs limites et de quantifier les populations exposées à ces dépassements.

En réponse à ces exigences, et dans un contexte contraint par l'urgence de fournir de telles évaluations à la Commission Européenne sous de brefs délais, une méthode d'évaluation fondée sur des données accessibles à l'ensemble des AASQA (y compris celles qui ne disposent pas d'outils de modélisation) a été développée pour les PM10 et décrite dans une note méthodologique. Elle s'organise par échelle d'espace et par typologie de site et décrit pour chaque cas la marche à suivre en fonction des moyens et informations disponibles. Pour aider à l'évaluation des zones de dépassement en situation de fond, des données d'estimation (concentrations moyennes annuelles, nombres de dépassements de seuil) produites sur la France à partir des simulations issues de CHIMERE et des données de la BDQA ont été mises à la disposition des AASQA sur le site du LCSQA.

Cette méthodologie est contrainte par la disponibilité des données d'observation de PM10 permettant de qualifier la zone de représentativité d'une station donnée : campagnes de mesure, stations voisines, données d'émission, etc. Ainsi elle reste perfectible, en particulier en situation de proximité, sous réserve d'accéder à de nouvelles informations. Les travaux du LCSQA en 2010 auront pour objet de traiter cette question, avec la mise en place et la réalisation d'une campagne de mesure ad hoc et l'adaptation et l'amélioration de la méthodologie présentée dans ce document.

De plus, il était prévu de travailler sur le NO₂ en 2009 mais ces travaux n'ont pu être réalisés compte tenu de l'ampleur du travail sur les PM10 et à cause d'un manque de données de campagnes. L'approche sera donc étendue au NO₂ et au benzène en 2010.

1. INTRODUCTION

La réglementation sur la qualité de l'air ambiant impose aux Etats Membres d'expliquer et de caractériser les dépassements de valeurs limites constatés sur leur territoire. En particulier, l'étendue des zones touchées par ces dépassements ainsi que la population exposée doivent être estimées.

Cette étude a pour objet de fournir aux AASQA des éléments méthodologiques qui leur permettent, à l'aide des données complémentaires dont elles disposent par ailleurs, de satisfaire à ces exigences.

Les polluants considérés sont :

- les particules PM10 (valeur limite annuelle : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valeur limite journalière : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) ;
- le NO_2 (valeur limite annuelle : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valeur limite journalière : $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 18 fois par an) ;
- le benzène (valeur limite annuelle : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les stations concernées sont à ce jour les stations de trafic, de proximité industrielle, d'observation spécifique et de fond urbain ou périurbain.

Le travail a été planifié sur au moins 2 ans. De janvier à août 2009, il a porté exclusivement sur les PM10, sujet prioritaire pour le Ministère dans le cadre d'une demande de report à la Commission Européenne pour la déclaration des dépassements. En juillet et août 2009, une note méthodologique (version 1) et des fichiers de données numériques (estimation des concentrations moyennes annuelles de PM10 sur la France et des nombres de dépassements du seuil journalier sur les années 2005, 2006 et 2007) ont été mis à la disposition des AASQA sur le site Internet du LCSQA. Le principe de la méthodologie est rappelé brièvement au chapitre suivant.

S'agissant du NO_2 , la mise au point d'une méthode fondée sur la géostatistique, dans la continuité directe des travaux sur la représentativité spatiale (LCSQA, 2007¹), avait été initialement prévue pour le second semestre de l'année 2009. Toutefois, pour le NO_2 , la quasi-totalité des dépassements de valeurs limites ont été observés sur des sites de trafic. L'évaluation des zones de dépassement impose donc de réadapter les travaux précités pour tenir compte de la contribution du trafic et de disposer de jeux de données suffisamment riches sur la pollution de fond et de proximité (données de concentration, variables auxiliaires). Pour ces raisons, cette partie de l'étude n'a pu être menée à bien en 2009 et se prolongera en 2010.

¹ Cárdenas G., Malherbe L., 2007. Application des méthodes géostatistiques à l'évaluation de la représentativité spatiale des stations de mesure NO_2 et O_3 . Rapport LCSQA.

2. EVALUATION DES ZONES DE DEPASSEMENT POUR LES PM10

La méthodologie développée en 2009 (Annexe 2) visait à répondre à l'urgence de la demande du Ministère dans le contexte réglementaire européen. Aussi comprend-elle nécessairement des simplifications et approximations. Elle est aussi contrainte par le nombre de données disponibles pour sa mise au point.

L'évaluation des zones de dépassement est traitée par échelle d'espace et par typologie.

Fond régional et urbain

L'évaluation repose sur la réalisation de cartes journalières de concentration de PM10 sur la France à partir des données de simulation du modèle CHIMERE et des données d'observation de la BDQA. La technique de cartographie consiste à effectuer un cokrigeage entre les mesures et CHIMERE avec la densité de population en dérive externe. L'estimation est réalisée sur un maillage kilométrique.

Cette méthode a été mise en œuvre à l'INERIS pour les années 2005, 2006 et 2007. Les résultats (estimations des moyennes annuelles et des nombres de dépassements du seuil journalier) sont accessibles sur le site du LCSQA (<http://www.lcsqa.org/thematique/traitements-numeriques/evaluation-des-zones-touchees-par-les-depassements-de-valeurs-limi>).

Fond urbain/proximité automobile

Plusieurs méthodes d'estimation sont proposées (cf. logigramme ci-après) en fonction des outils et données disponibles et des situations rencontrées localement. Les différentes parties du logigramme sont détaillées dans la note.

Proximité industrielle

Il est proposé de délimiter grossièrement une zone de dépassement autour du site concerné, en tenant compte des dépassements éventuellement constatés sur les stations voisines. Cette approximation peut être affinée à l'aide des informations complémentaires disponibles (données d'émissions, résultats de modélisation de panache, campagnes de mesure, etc.).

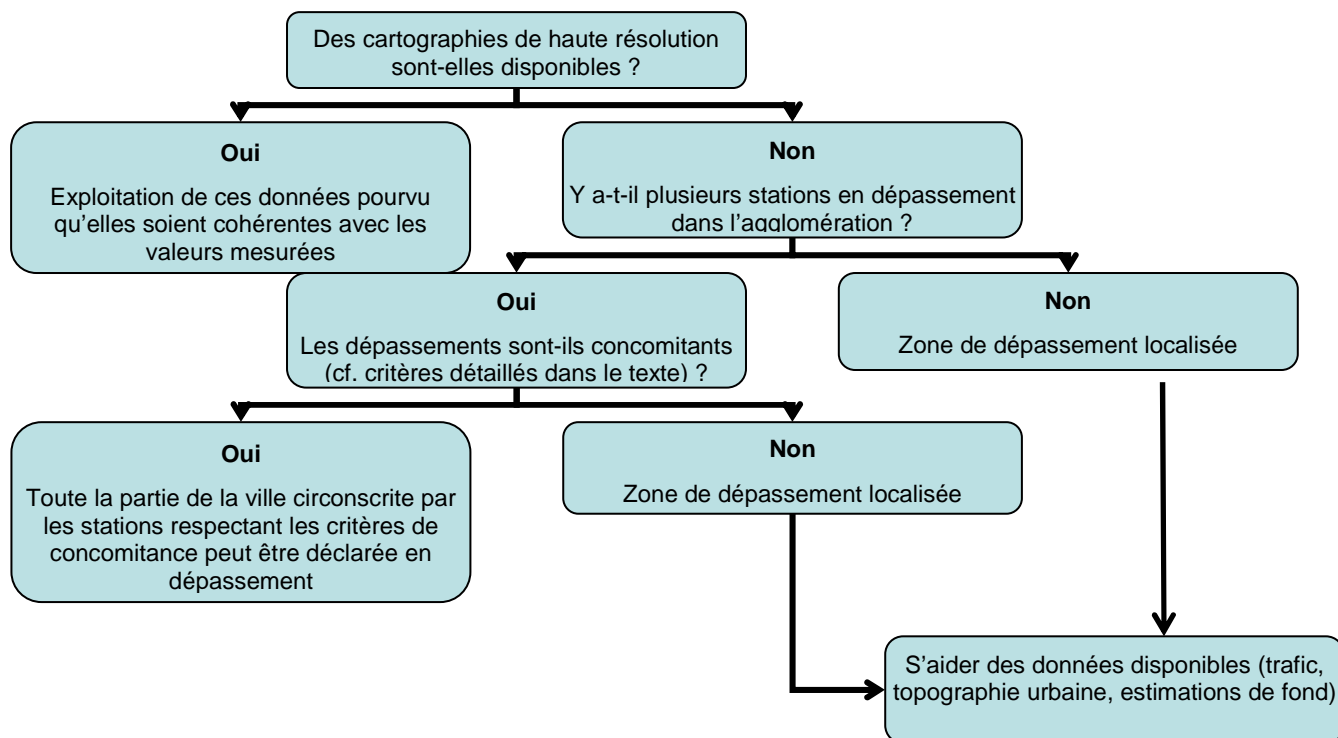


Figure 1 – Evaluation des zones de dépassement en milieu urbain et situation de proximité automobile

3. CONCLUSION

Une démarche générale a été développée pour les PM10 afin d'approcher simplement les zones de dépassement et les populations exposées. Elle ne constitue pas en tant que telle une méthode de quantification mais elle indique, selon la situation rencontrée, les outils et les données disponibles, la ou les façons possibles d'évaluer les zones de dépassement.

Pour faciliter l'évaluation en situation de fond, les concentrations et nombres de dépassements du seuil journalier $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été estimés sur la France à partir des données de la BDQA, de CHIMERE et de la densité de population (années 2005, 2006 et 2007). Les cartes correspondantes sont fournies en annexe 3. Ces estimations pourront être améliorées à l'aide de variables auxiliaires complémentaires. On réfléchira également à la meilleure façon de prendre en compte l'incertitude d'estimation.

En ce qui concerne la proximité, la réalisation d'une campagne de mesure en 2010 devrait fournir des informations particulièrement utiles sur la variabilité spatiale et temporelle des concentrations de PM10 autour d'un site de trafic.

En 2010, le travail portera également sur les dépassements liés au NO_2 et au benzène. Les techniques de la géostatistique seront encore mises à profit, aussi bien à grande échelle, grâce aux données de la BDQA et de CHIMERE, qu'à l'échelle urbaine, grâce aux données de campagnes. Ces dernières devront inclure à la fois des mesures de fond et de proximité.

4. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Fiche LCSQA de l'étude	6
Annexe 2	Evaluation des zones touchées par les dépassements de valeurs limites. Note méthodologique. Version 1.	36
Annexe 3	Cartes estimées pour l'année 2007 des concentrations moyennes annuelles de PM10 et des nombres de dépassements du seuil journalier 50 µg/ m ³ . Estimation de la population exposée.	5

Annexe 1

Fiche descriptive de l'étude

THEME 6 : Modélisation – traitements numériques

METHODOLOGIE DE DETERMINATION DES ZONES GEOGRAPHIQUES CONCERNEES PAR LES DEPASSEMENTS DE SEUILS

Responsable de l'étude : INERIS

Objectif

Cette étude a pour objet de fournir aux AASQA des éléments méthodologiques qui leur permettent, à l'aide de données complémentaires dont elles disposent par ailleurs, de qualifier les zones géographiques réellement concernées par les dépassements de seuils enregistrés de manière ponctuelle, par leurs stations permanentes.

Il s'agit de répondre à une demande réglementaire (Directive sur la qualité de l'air) relative au rapportage sur les dépassements des valeurs limites de concentrations de polluants. Cette disposition concerne en priorité les concentrations de PM10, de dioxyde d'azote et de benzène. Chaque état membre doit qualifier, et expliquer les dépassements ponctuels constatés. En particulier l'aire et la localisation des zones géographiques « réelles » concernées ainsi que la population exposée doivent être estimées, qu'il s'agisse d'un seuil de court ou de long terme.

Les AASQA sont donc régulièrement sollicitées par le Ministère en charge de l'Ecologie via les DRIRE pour fournir ces éléments quantitatifs à faire remonter à la Commission Européenne. Mais à ce jour, aucune méthode harmonisée n'a cours pour traiter cette question.

L'objectif de cette fiche est de fournir un support méthodologique à cette activité qui constitue une priorité des pouvoirs publics considérant les courts délais imposés par la Commission pour le rapportage. De ce fait il est proposé d'articuler ces travaux en deux parties :

- En priorité, il est nécessaire d'élaborer, en concertation avec les associations concernées par les dépassements, une démarche simplifiée mais efficace de qualification (aire géographique – nombre d'habitants) de la zone réellement concernée par le dépassement de valeur limite. Les PM10 et le NO2 seront principalement ciblés en 2009.
- Dans une perspective de plus long terme, il est prévu de compléter la démarche précédente et de finaliser une méthodologie plus élaborée permettant d'évaluer finement et de manière quantitative la zone de représentativité des stations de mesure (i.e. la zone dans laquelle on peut supposer que la mesure ponctuelle est valide).

Contexte et travaux antérieurs

Ces travaux s'inscrivent dans le contexte réglementaire défini par la Directive unifiée et par le formulaire de déclaration annuelle concernant la qualité de l'air ambiant.

Mais de façon générale, les AASQA font régulièrement remonter leurs besoins relatifs à la question plus générale de la représentativité spatiale de leurs stations de mesure afin de s'assurer que ces dernières respectent les critères de classification réglementaires.

Or, si la notion de représentativité spatiale apparaît à plusieurs reprises dans la Directive unifiée et a fait l'objet d'un récent rapport rédigé pour le compte de la Commission européenne (Spangl et al., 2007. Representativeness and classification of air quality monitoring stations, Umweltbundesamt), il n'existe pas non plus de méthodologie clairement définie pour évaluer cette représentativité. L'EMD en 2001 puis Air Normand en 2005 ont abordé ce sujet selon une approche géostatistique. Ces travaux exploratoires ont été repris par le LCSQA en 2007 pour les objectifs de long terme (moyennes annuelles) sur le dioxyde d'azote. Cependant ces travaux demandent à être poursuivis et généralisés aux objectifs de court terme (moyenne journalière) et aux autres polluants (PM10 notamment).

Travaux proposés pour 2009

Les deux questions évoquées précédemment sont deux aspects d'un même problème. Toutefois l'urgence de la déclaration des données nous conduit à proposer un travail en deux temps et, compte tenu de l'ampleur du sujet, sur deux années.

En 2009, on cherchera à mettre au point une méthode d'approximation rapide et aisément applicable, afin qu'en cas de dépassement de valeur limite, les AASQA puissent répondre aux besoins de la déclaration à partir des outils et informations dont elles disposent. Ces travaux porteront prioritairement sur les PM10 (en moyenne annuelle et en moyenne journalière) puis sur le NO₂ (en moyenne annuelle et moyenne horaire).

En 2010, la méthodologie sera approfondie et complétée. Le benzène sera également pris en compte.

Les valeurs limites auxquelles on s'intéresse sont les suivantes :

Polluant	Long Terme	Court Terme
PM10	Moyenne annuelle : 40 µg/m ³ - Seuil d'évaluation min. : 20 µg/m ³ - Seuil d'évaluation max. : 28 µg/m ³	* Moyenne journalière : 50 µg/m ³ (7 dépassements par an autorisés) - Seuil d'évaluation min. : 25 µg/m ³ - Seuil d'évaluation max. : 35 µg/m ³
NO ₂	* Moyenne annuelle : 40 µg/m ³ - Seuil d'évaluation min. : 26 µg/m ³	* Moyenne horaire : 200 µg/m ³ (18 dépassements par an autorisés)

	- Seuil d'évaluation max. : 32 µg/m ³	- Seuil d'évaluation min. : 100 µg/m ³ - Seuil d'évaluation max. : 140 µg/m ³
Benzène	* Moyenne annuelle : 5 µg/m ³ - Seuil d'évaluation min. : 2 µg/m ³ - Seuil d'évaluation max. : 3,5 µg/m ³	*Pas d'objectif de surveillance

Plan de travail pour 2009

Le travail prévu pour 2009 portera en premier lieu sur **l'estimation d'une surface touchée par un dépassement de valeur limite enregistré en un point de mesure donné**. Ce travail exploitera les travaux du LCSQA sur la représentativité spatiale d'une station. Pour une station en situation de dépassement, la méthode étudiée en 2006 peut en effet servir à délimiter, avec un niveau de confiance donné, des zones où la concentration dépasse potentiellement la valeur limite. Cette technique suppose que l'on ait pu estimer la concentration du polluant sur tout le domaine ainsi que la précision associée. Tout l'enjeu réside donc dans l'obtention de ces estimations qui requiert de nombreuses données de mesure, idéalement issues de campagnes.

Le travail proposé consistera :

- à concevoir une méthode de spatialisation des concentrations en fonction des données disponibles ; pour les PM₁₀, qui ne bénéficient pas d'une couverture spatiale aussi resserrée que le NO₂ et pour lesquelles on ne dispose pas, a priori de système de mesure permettant de multiplier les points de prélèvement pour un coût raisonnable, la méthode se limitera a priori à une approximation relativement grossière basée sur les historiques de mesures et les variables auxiliaires disponibles.
- à automatiser la méthode de calcul des zones de dépassement sous forme d'une macro SIG.

Dans un premier temps les pratiques dans les autres Etats Membres seront passées rapidement en revue à la suite de quoi l'échéancier décrit ci dessous est envisagé. Il est important de noter que ces travaux seront menés sur la base d'une étroite collaboration avec les AASQA concernées. Des réunions entre les LCSQA et les AASQA seront donc organisées localement :

Consultation des AASQA : recensement des zones touchées par les dépassements de valeurs limites pour les PM ₁₀ , le NO ₂ et le benzène et analyse en collaboration avec les AASQA des aires potentiellement impactées et des raisons possibles des dépassements.	Fin janvier 2009
--	------------------

Cas des PM10 : moyenne annuelle et moyenne journalière

Pour les zones mises en évidence, recensement auprès des AASQA concernées de toutes les informations disponibles se rapportant au polluant : campagnes de mesure, sorties de modèles, variables auxiliaires (émissions, population, occupation du sol...)	Mi-février 2009
- En exploitant les études techniques ou bibliographiques et en faisant appel à l'expérience des AASQA et du LCSQA, identification des variables les plus liées aux concentrations. - Proposition d'une méthode simple de spatialisation des concentrations (journalières ou annuelles) fondée sur l'utilisation des données de concentration et des variables auxiliaires disponibles. Evaluation du niveau de précision qui peut lui être raisonnablement associé. Cette méthode sera élaborée à l'aide de plusieurs jeux de données disponibles fournis par les AASQA. Des échanges réguliers auront lieu avec ces dernières.	Mi-avril 2009
Calcul des zones de dépassement pour les différents jeux de données utilisés. Les valeurs à attribuer aux paramètres de la méthode seront choisies en concertation avec les AASQA.	Fin avril 2009
Analyse des résultats et fourniture d'une macro de calcul sous SIG	Début juin 2009
Note technique	Fin juin 2009

Cas du NO₂ : moyenne annuelle

Une démarche similaire sera adoptée pour le NO₂ et mise en œuvre durant le second semestre 2009. Pour ce polluant, les informations spatiales disponibles sont plus denses que pour les PM10, notamment grâce aux campagnes de mesure par tubes à échantillonnage passif. La méthode de spatialisation des concentrations pourra donc s'appuyer sur une exploitation géostatistique des données, dans la continuité des travaux réalisés par le LCSQA en 2006.

Si la demande en est faite, la macro de calcul des zones de dépassement pourra être proposée au format ISATIS (®).

Les méthodes mises au point seront décrites dans un document technique qui en précisera les données d'entrée, le principe, les conditions d'utilisation et les limites.

Application de la démarche et calcul des zones de dépassement pour le NO ₂ en moyenne annuelle	Fin octobre 2009
Rendu d'un document technique incluant la note citée plus haut	Fin novembre 2009

Le travail envisagé pour 2010 comprendra les points suivants :

On cherchera à améliorer la méthode de spatialisation des concentrations de PM10. On tiendra compte en particulier des nouvelles possibilités offertes par l'inventaire national spatialisé. De plus il est envisagé de travailler sur des résultats disponibles à l'issue de la mise en œuvre de systèmes de mesure basés sur des techniques optiques indicatives, généralement plus souples à mettre en œuvre. Les travaux du LCSQA et des AASQA menés avec ce type d'outils pourront être exploités.

La démarche établie en 2009 pour le NO₂ en moyenne annuelle sera appliquée au **benzène**, en collaboration avec des AASQA intéressées.

Pour la moyenne annuelle, des cas d'application autres que des situations de dépassement seront de plus considérées : ils pourront s'étendre à l'évaluation de la représentativité spatiale d'une station, quels que soient les niveaux de concentration mesurés. Ce travail permettra ainsi de finaliser l'ensemble de la méthodologie explorée par le LCSQA en 2006.

Si des dépassements de la valeur limite horaire ont été mis en évidence, on cherchera, en s'aidant de travaux LCSQA existants (études sur la cartographie automatique) et éventuellement, en recourant à la géostatistique non linéaire, à développer une démarche adaptée au NO₂ en moyenne horaire. Il s'agira d'un travail exploratoire. Selon les résultats obtenus, des prolongations pourront être proposées pour l'année suivante.

Ces compléments d'étude permettront de finaliser un document méthodologique sur l'évaluation des surfaces de dépassement et des zones de représentativité par rapport à des objectifs de surveillance à court et à long terme.

Renseignements synthétiques

Titre de l'étude	Méthodologie de détermination des zones géographiques concernées par les dépassements de seuils		
Personne responsable de l'étude	Giovanni Cardenas et Laure Malherbe (INERIS)		
Travaux	Pluri-annuels		
Durée des travaux pluriannuels	2 ans (2009-2010)		
Collaboration AASQA	OUI avec toutes		
Heures d'ingénieur	EMD :	INERIS : 900	LNE :
Heures de technicien	EMD :	INERIS :	LNE :
Document de sortie attendu	Rapport d'étude portant sur Application des méthodes géostatistiques à l'évaluation de la représentativité spatiale des stations		
Lien avec le tableau de suivi CPT	Thème : Stratégie de surveillance		
Lien avec un groupe de travail			
Matériel acquis pour l'étude			

Annexe 2

Evaluation des zones touchées par les dépassements de valeurs limites. Note méthodologique. Version 1. (juillet 2009)



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Modélisation - Traitements numériques

Evaluation des zones touchées par les dépassements de valeurs limites

Note méthodologique. Version 1.

Juillet 2009

Programme 2009

L. MALHERBE, G. CARDENAS





PREAMBULE

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

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

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



Evaluation des zones touchées par les dépassements de valeurs limites

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Modélisation - Traitements numériques

Programme financé par la
Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)

2009

INERIS : L. MALHERBE, G. CARDENAS

Ce document comporte 20 pages (hors couverture et annexes)


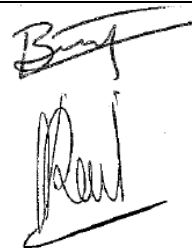

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	L. MALHERBE	B. BESSAGNET L. ROUÏL	M. RAMEL
Qualité	Ingénieur Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité MOCA Responsable du pôle DECI Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	6
1. INTRODUCTION	7
2. REMARQUES PRELIMINAIRES	8
2.1 Rappel des résultats issus de la BDQA.....	8
2.2 Analyse préliminaire des travaux réalisés au sein des AASQA.....	8
3. FOND REGIONAL / FOND URBAIN	9
3.1 Principe	9
3.2 Cartographie journalière des PM10 sur la France	10
3.2.1 Méthode.....	10
3.2.2 Bilan annuel, prise en compte de l'incertitude d'estimation	12
3.2.3 Mise à disposition des données.....	15
4. FOND URBAIN / PROXIMITE AUTOMOBILE	16
4.1 Des résultats de modélisation sont disponibles.....	16
4.2 Il n'existe pas de telles données ou celles-ci sont insuffisantes pour répondre au problème pose	17
4.2.1 Plusieurs stations de trafic et de fond sont en dépassement dans l'agglomération et les conditions suivantes sont vérifiées :.....	17
4.2.2 Les conditions précédentes ne sont pas vérifiées, le dépassement concerne des stations de trafic isolées	17
5. PROXIMITE INDUSTRIELLE	18
5.1 La station industrielle a le comportement d'une station de fond en ce qui concerne les PM ₁₀	18
5.2 La station industrielle est soumise à l'influence locale d'émetteurs industriels	18
6. POPULATION EXPOSEE	18
7. CONCLUSION	19
8. REFERENCES	20
9. LISTE DES ANNEXES	20

RESUME

L'obligation de déclaration auprès de la Commission Européenne nécessite d'évaluer les zones géographiques touchées par des dépassements de valeurs limites et de quantifier les populations exposées à ces dépassements. La présente note a pour objet de répondre à une demande du Ministère chargé du développement durable à propos des dépassements liés aux PM₁₀. Elle décrit une méthodologie permettant aux AASQA de caractériser, en fonction des moyens dont elles disposent, la répartition et l'étendue des zones de dépassement. Compte tenu de l'urgence de la demande, une méthode volontairement simple et pragmatique a été développée. Elle tient compte de l'expérience et de la pratique des AASQA dont le LCSQA a pris préalablement connaissance en rencontrant notamment différents acteurs locaux. Elle comprend trois parties consacrées respectivement à la pollution de fond, à la pollution de proximité routière et à la pollution de proximité industrielle.

En ce qui concerne la pollution de fond, une procédure de cartographie fondée sur un traitement géostatistique des résultats du modèle CHIMERE, des observations et de données de population a été mise au point. Elle permet d'estimer jour par jour les concentrations de PM₁₀ sur la France selon une résolution kilométrique. Les résultats pour les années 2005, 2006 et 2007 (cartes des concentrations moyennes annuelles et des nombres annuels de dépassements du seuil 50 µg/m³) seront mis à la disposition des AASQA sur le site Internet du LCSQA.

En situation de proximité, l'évaluation des zones de dépassement requiert des données locales précises qui ne sont pas toujours disponibles. Une approche adaptée aux données et outils disponibles est proposée, pouvant conduire, selon les cas, à une évaluation relativement précise ou à une approximation plus grossière. Cependant dans tous les cas, l'approximation est jugée pertinente par rapport aux enjeux du rapportage pour les dépassements des valeurs de PM₁₀, et elle tend à majorer l'étendue des zones réellement concernées par ces dépassements.

L'ensemble de la méthode sera affiné dans une seconde étape qui se poursuivra jusqu'à la fin de l'année 2010.

1. INTRODUCTION

Selon les dispositions de la Directive européenne relative à la qualité de l'air ambiant (2008/50/CE), les Etats Membres doivent communiquer à la Commission Européenne des informations sur les dépassements de valeurs limites constatés sur leur territoire. Il leur est demandé non seulement de qualifier et d'expliquer les dépassements enregistrés ponctuellement par les stations permanentes mais également d'estimer l'étendue spatiale de ces dépassements ainsi que la population exposée.

Dans ce contexte, les AASQA sont régulièrement sollicitées par l'intermédiaire des DRIRE/DREAL, afin d'apporter au Ministère en charge du développement durable les éléments quantitatifs et qualitatifs exigés par la Commission Européenne. A ce jour, aucune méthode n'a été formalisée pour traiter cette question. Les AASQA s'appuient sur les données dont elles disposent localement (résultats de modélisation, données de campagnes, données d'émissions...) et sur leur connaissance du terrain.

Le développement d'une méthodologie adaptée à ces demandes réglementaires est l'objet de ce travail. Dans la suite, nous désignerons par *zone de dépassement* la partie d'un domaine effectivement touchée par un dépassement de valeur limite. L'objectif initial de l'étude concerne la possibilité d'estimer l'étendue et la répartition géographique d'une telle zone pour chacune des stations qui ont enregistré un dépassement. Cependant, si plusieurs stations voisines, appartenant à la même zone, sont dans ce cas – notamment plusieurs stations d'une même agglomération -, une estimation site par site peut se révéler délicate du fait que les surfaces de dépassement se recoupent. La solution choisie en conséquence est une évaluation globale sur l'ensemble des stations concernées dans la zone.

La présente note se borne au problème des dépassements de valeurs limites de PM₁₀, qui constitue la priorité actuelle du Ministère ; elle sera ultérieurement étendue au NO₂ et au benzène. Elle porte plus spécialement sur l'évaluation spatiale des dépassements ; la quantification des populations exposées n'est que brièvement évoquée. Compte tenu de l'urgence de la demande, qui cible une demande de report pour la déclaration des dépassements, une approche simple et pragmatique est proposée dans un premier temps. Elle sera affinée dans une seconde phase de l'étude (fin 2009-2010), lors de la mise au point d'une méthodologie plus générique pour l'élaboration des dossiers de rapportage.

La méthode proposée s'organise par échelle d'espace et par typologie (chapitres 2, 4 et 5). Pour les AASQA dont les moyens de surveillance permettent l'obtention d'une information locale précise, et qui, à la faveur de ces moyens (campagnes de mesure, outils de modélisation et de cartographie), ont développé leurs propres techniques d'estimation, elle inclut la possibilité de faire usage de ces techniques.

NB : les résultats graphiques et numériques présentés dans cette note ont été établis à partir des données de la **BDQA disponibles au moment de l'étude** (données en date d'avril 2009). Une mise à jour des résultats relatifs à l'année 2007, qui sera réalisée avec une nouvelle version de la BDQA, est prévue pour le 17 août 2009.

2. REMARQUES PRELIMINAIRES

2.1 RAPPEL DES RESULTATS ISSUS DE LA BDQA

On rappelle que pour les PM₁₀, les valeurs limites sont :

- 40 µg/m³ en moyenne annuelle
- 50 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 fois par an.

Le Tableau 1 indique le nombre de stations pour lesquelles des dépassements de ces valeurs ont été constatés entre 2005 et 2007.

Tableau 1 – Recensement des stations ayant présenté des dépassements de valeurs limites de PM10 entre 2005 et 2007

	2005	2006	2007
VL annuelle	1 station I 1 station T	1 station T	3 stations I 7 stations T 1 station U
VL journalière	3 stations I 10 stations T	3 stations I 9 stations T	15 stations I 27 stations T 43 stations U 10 stations PU

I = de proximité industrielle ; T= de trafic ; U : urbaine ; PU : périurbaine

2.2 ANALYSE PRELIMINAIRE DES TRAVAUX REALISES AU SEIN DES AASQA

Les dépassements mentionnés au paragraphe précédent (§2.1) touchent les régions suivantes : Alsace, Aquitaine, Bourgogne, Haute-Normandie, Ile-de-France, Lorraine, Nord-Pas-de-Calais, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Rhône-Alpes, Guadeloupe, Martinique, Guyane.

15 AASQA sont ainsi concernées : ASPA, AIRAQ, ATMOSF'AIR Bourgogne, AIR NORMAND, AIRPARIF, AIRLOR, ATMOLOR, ATMO Nord-Pas-de-Calais, AIRFOBEP, ATMO PACA, L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie, ATMO Rhône-Alpes GIE, GWAD'AIR, Madinainair, ORA de Guyane.

Le LCSQA a pris contact par téléphone avec chacune d'entre elles afin de recueillir son appréciation des dépassements observés dans son domaine de surveillance. Il a pu ainsi établir un bilan préliminaire des moyens utilisés pour évaluer les zones et les populations exposées. En complément de ces entretiens

téléphoniques, des réunions ont été organisées avec plusieurs AASQA. Le LCSQA s'est rendu en priorité dans les AASQA concernées par les plus grands nombres de dépassements : ATMO Nord-Pas-de-Calais, ATMO Rhône-Alpes, ASPA, AIRPARIF, ATMO PACA. Il est prévu de poursuivre ces visites dans les autres AASQA au cours de l'année 2009.

On constate une assez grande variabilité dans les approches. Celles-ci dépendent des outils de modélisation et des données d'émissions localement disponibles ainsi que de l'expérience développée sur le long terme en matière de simulation numérique et de cartographie. Ont été mises en évidence les approches suivantes (non nécessairement exclusives) :

- Aucun moyen en particulier n'est mis en œuvre, seules interviennent l'expertise et la connaissance du terrain (estimation objective).
- Expertise à partir de données de trafic (comptages);
- Utilisation ponctuelle d'un modèle urbain (simulation de situations particulières) ;
- Utilisation sur le long terme (selon un pas horaire, pour une année) d'un modèle urbain et éventuellement d'un modèle régional ;
- Application de méthodes géostatistiques pour cartographier simultanément le fond et la proximité (cartes annuelles).

Des précisions par AASQA sont fournies dans le tableau de l'annexe 1.

3. FOND REGIONAL / FOND URBAIN

3.1 PRINCIPE

L'évaluation des zones géographiques concernées par les dépassements de valeurs limites se fondera sur une estimation spatiale préalable des concentrations moyennes annuelles de PM_{10} et des nombres annuels de dépassements du seuil $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les zones de dépassement seront constituées par l'ensemble des mailles situées dans le voisinage des stations de mesure concernées et dont la valeur estimée (concentration moyenne annuelle ou nombre annuel de dépassements) est strictement supérieure à la valeur limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou 35 dépassements). Il pourra s'agir :

- d'une estimation obtenue localement
- d'une estimation extraite des cartographies établies par le LCSQA à l'échelle nationale (cf. §3.2)

On vérifiera préalablement la cohérence entre ces données d'estimation et les données de mesure.

Remarque : pour cette comparaison, les cartographies élaborées par le LCSQA, prennent en compte l'incertitude d'estimation ainsi qu'il est précisé au paragraphe 3.2.2.

Si dans une même agglomération, des stations de fond et de trafic présentent des dépassements, on poursuivra l'évaluation selon la méthode proposée au chapitre 4. S'il s'agit de stations de fond et de proximité industrielle, on continuera l'évaluation en se reportant au chapitre 5.

3.2 CARTOGRAPHIE JOURNALIERE DES PM10 SUR LA FRANCE

3.2.1 METHODE

La méthode de cartographie repose sur un traitement géostatistique des données d'observation issues de la BDQA et de l'information apportée par le modèle CHIMERE sur l'ensemble du territoire.

Elle consiste à effectuer, pour chaque journée étudiée, un **cokrigeage ordinaire entre les observations** (variable principale) **et le modèle CHIMERE** (variable auxiliaire), **avec la densité de population en dérive externe**.

Les données d'entrée sont :

- les concentrations moyennes journalières de PM₁₀ mesurées par les stations rurales, périurbaines et urbaines de fond (333 sites recensés en 2007). Ces concentrations ont été calculées à partir des données horaires de la BDQA (version de la BDQA en date de la fin avril 2009).
- les concentrations moyennes journalières de PM10 en France simulées par CHIMERE selon une résolution spatiale d'environ 10 km (0,1° x 0,15°).
- la transformée logarithmique de la densité de population (transformation de la forme $\ln(1+X)$). Cette variable a été calculée par l'INERIS sur une grille kilométrique, en répartissant les données de population communales (recensement INSEE 1999) en fonction de l'occupation du sol (CORINE Land Cover) selon la méthodologie de Gallego et Peedell (2001).

La grille d'estimation des concentrations journalières de PM₁₀ a une **résolution kilométrique**. Elle coïncide avec la grille de densité de population.

Le modèle géostatistique utilisé est un modèle linéaire de corégionalisation. Ce modèle se révèle bien adapté pour décrire la variabilité spatiale des observations (en tenant compte de la dérive) et de CHIMERE ainsi que la corrélation spatiale entre les deux. Il est réajusté chaque jour.

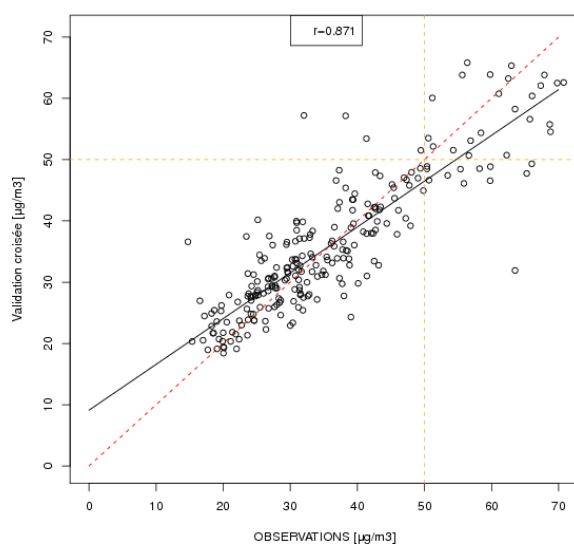
Le voisinage d'estimation détermine le choix des points introduits localement dans le cokrigeage. Il a été défini selon plusieurs critères : la portée spatiale des phénomènes, la nécessité d'inclure un nombre suffisant d'observations et la

limitation du temps de calcul. Il est de 100 points pour la mesure et de 45 points pour CHIMERE.

Les choix de modélisation et de voisinage sont commentés dans l'annexe 2.

La qualité des estimations est contrôlée jour par jour puis en moyenne sur l'année par validation croisée (Figure 1, Figure 2). On vérifie en particulier que :

- la moyenne des erreurs d'estimation est proche de 0 ;
- le nuage de corrélation entre les valeurs estimées et mesurées est centré sur la bissectrice ;
- le coefficient de corrélation associé est élevé ($> 0,7$ à titre indicatif) ;
- la pente de la régression entre les valeurs estimées et mesurées est proche de 1.



*Figure 1 – Validation croisée. Exemple d'une journée particulière (26 avril 2007).
En rouge : bissectrice. En noir : droite de régression (valeurs estimées en fonction des valeurs mesurées)*

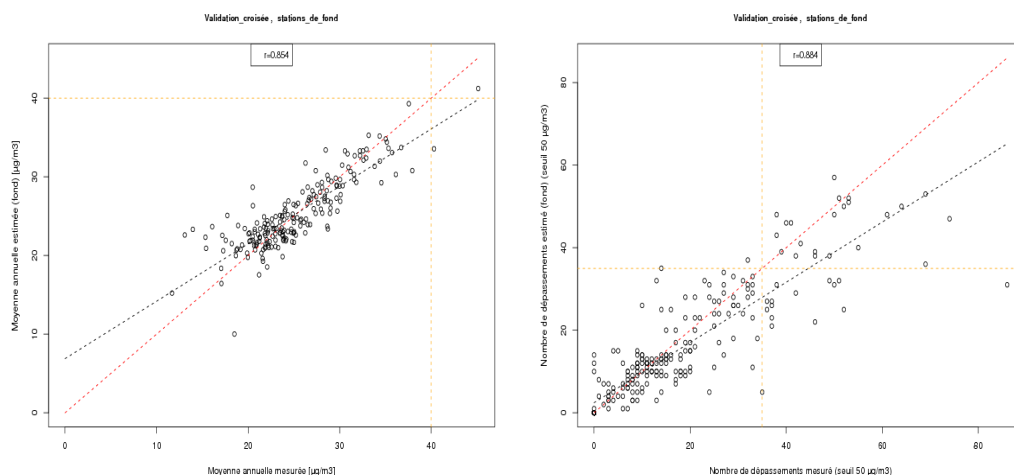


Figure 2 – Validation croisée. Graphique de gauche : moyenne sur l’année 2007 des valeurs journalières estimées et mesurées. Graphique de droite : nombres de dépassements estimés et observés. En rouge : bissectrice ; en noir : droite de régression (valeurs estimées en fonction des valeurs mesurées). Les stations correspondant à des dépassements observés mais non estimés sont indiquées dans l’annexe 2.

En complément, les concentrations journalières de PM₁₀ sont estimées sur les stations de proximité (stations industrielles d’une part, stations de trafic d’autre part) et comparées aux valeurs mesurées en ces points (cf. annexe 2).

L’ensemble des calculs géostatistiques est réalisé avec le logiciel R. Pour la maille d’estimation et les paramètres de voisinage choisis, le temps de calcul d’une cartographie journalière sur la France – en incluant la validation croisée et l’estimation sur les sites de proximité - est de 20 minutes.

3.2.2 BILAN ANNUEL, PRISE EN COMPTE DE L’INCERTITUDE D’ESTIMATION

La carte estimée des concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ est obtenue en calculant la moyenne arithmétique des 365 estimations journalières.

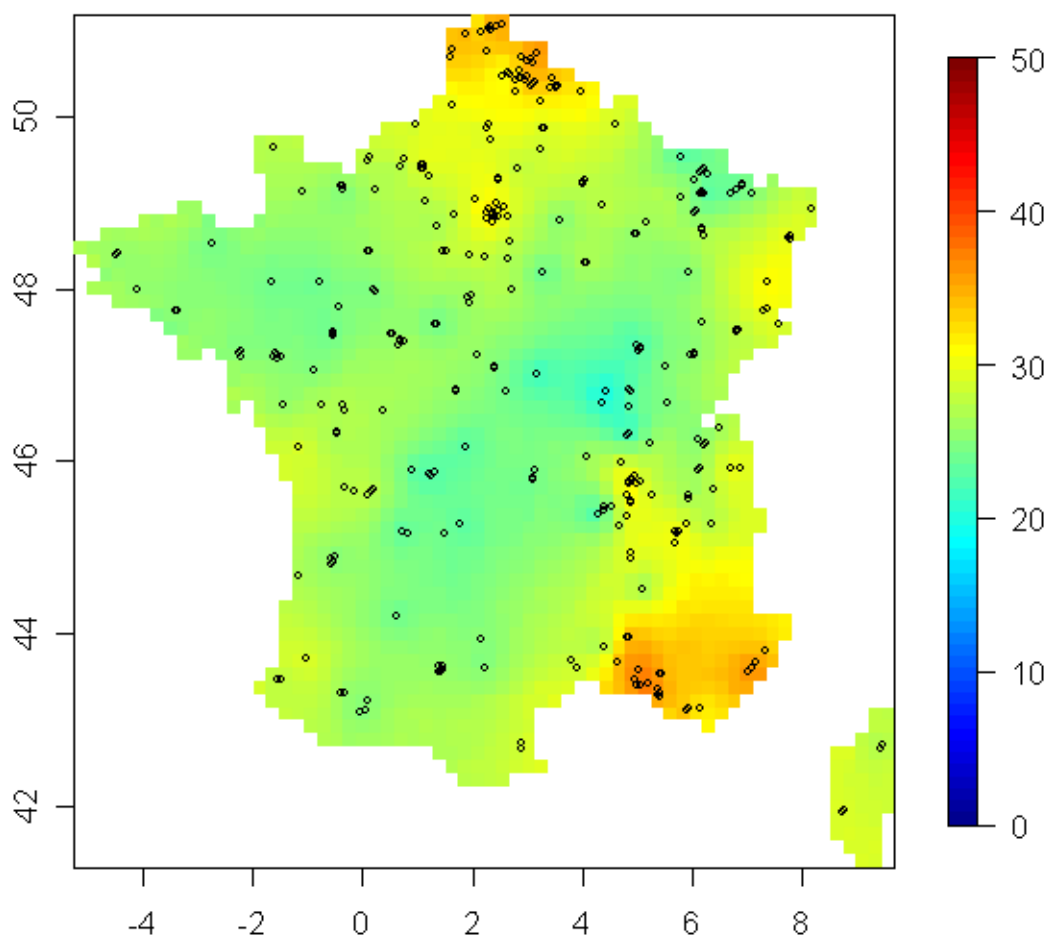
La carte des nombres de dépassements de la valeur 50 µg/m³ est obtenue en deux étapes :

1. chaque estimation journalière est convertie en une grille de 0 (la valeur de la maille est inférieure ou égale à 50 µg/m³) et de 1 (la valeur de la maille est strictement supérieure à 50 µg/m³) ;
2. on fait la somme de ces cartes transformées.

Dans le contexte réglementaire qui nous occupe et par souci de proposer une méthode aisément compréhensible et applicable, une manière simple de prendre en considération l’incertitude d’estimation a été définie :

- on vérifie sur les résultats de validation croisée que l'écart-type de krigeage est représentatif de l'écart-type de l'erreur d'estimation (annexe 2) ;
- les concentrations journalières estimées en chaque maille sont encadrées par un intervalle de confiance déduit de l'écart-type de krigeage (hypothèse d'erreur gaussienne). Un intervalle de confiance à 50%, soit $\pm 0,68 \cdot \sigma_K$ sous l'hypothèse de normalité, apparaît comme un compromis satisfaisant entre l'importance de tenir compte de l'incertitude d'estimation et le souci de ne pas maximiser les zones de dépassement.

Les cartes annuelles sont calculées comme il est indiqué précédemment à partir des estimations journalières d'une part, à partir des estimations journalières augmentées de $+0,68 \cdot \sigma_K$ d'autre part. La comparaison avec les valeurs réglementaires ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 35 dépassements annuels) s'effectue pour les cartes issues de ces estimations hautes (Figure 10, Figure 11, Figure 12).



*Figure 3 – Concentrations moyennes annuelles de PM10 estimées pour l'année 2007. Points : stations utilisées en entrée du cokrigeage. Aucune valeur estimée n'est supérieure à la valeur limite annuelle [$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$].**

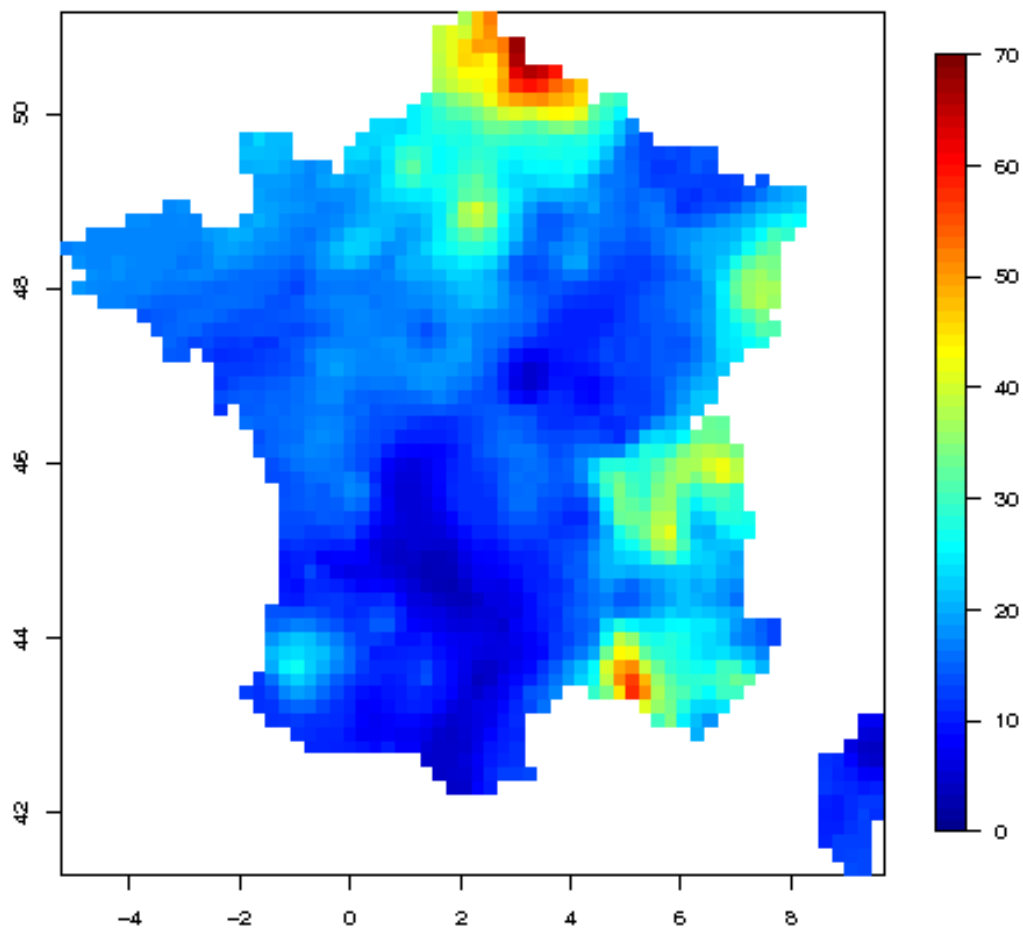


Figure 4 – Nombres de dépassements du seuil 50 µg/m3 estimés pour l'année 2007*

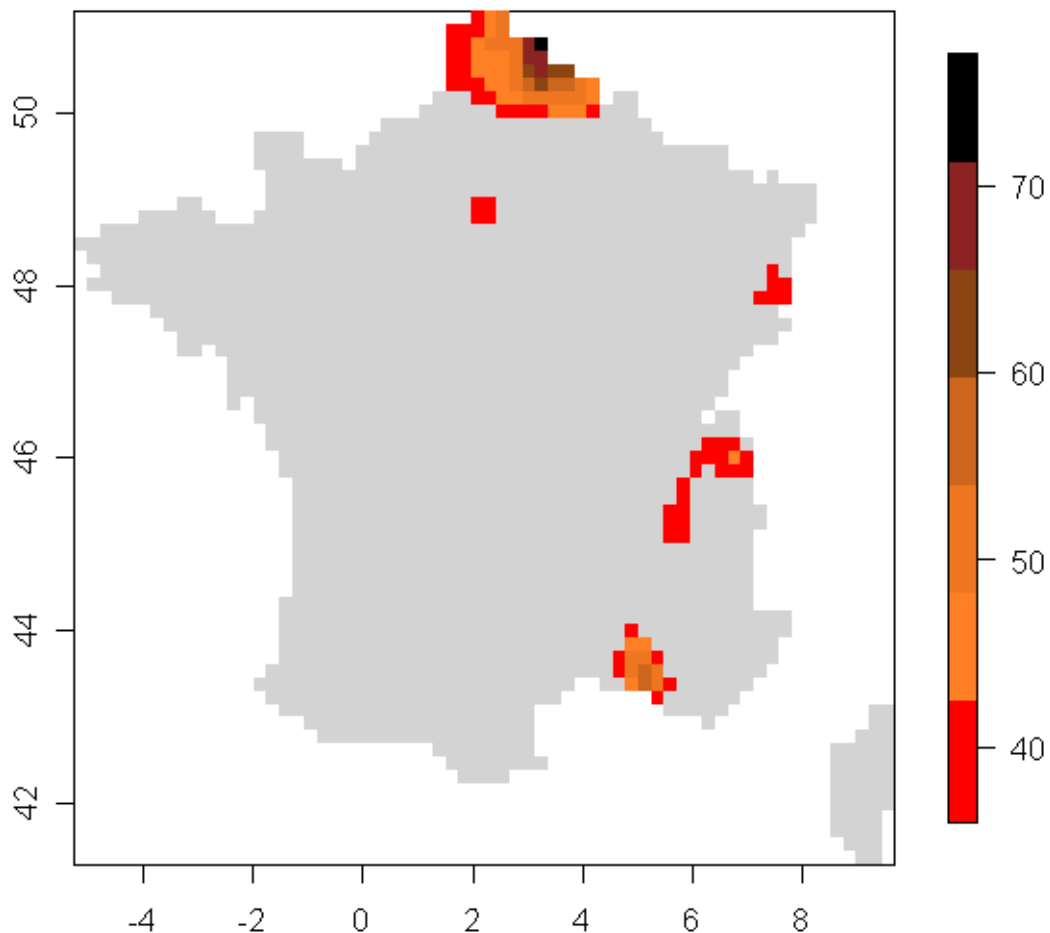


Figure 5 – En couleur : mailles pour lesquelles le nombre de dépassements estimé pour l'année 2007 est supérieur ou égal à 36*

* : cartes provisoires, établies avec une version non définitive de la BDQA.

3.2.3 MISE A DISPOSITION DES DONNEES

Les résultats numériques associés aux mailles kilométriques (moyennes annuelles, nombres annuels de dépassements de seuil pour les années 2005, 2006 et 2007) seront mis à la disposition des AASQA sur le site Internet du LCSQA.

Soumises *a priori* à l'influence de sources proches, les stations industrielles ne sont pas prises en compte dans les cartographies. Cependant, des AASQA ont constaté que certaines stations industrielles enregistraient des concentrations de

PM₁₀ comparables aux valeurs mesurées sur les sites de fond voisins. Si elles en font la demande, les cartographies pourront être recalculées localement en incluant ces stations.

4. FOND URBAIN / PROXIMITE AUTOMOBILE

Plusieurs méthodes d'estimation sont proposées selon l'organigramme de la Figure 6, en fonction des données disponibles et des situations rencontrées localement.

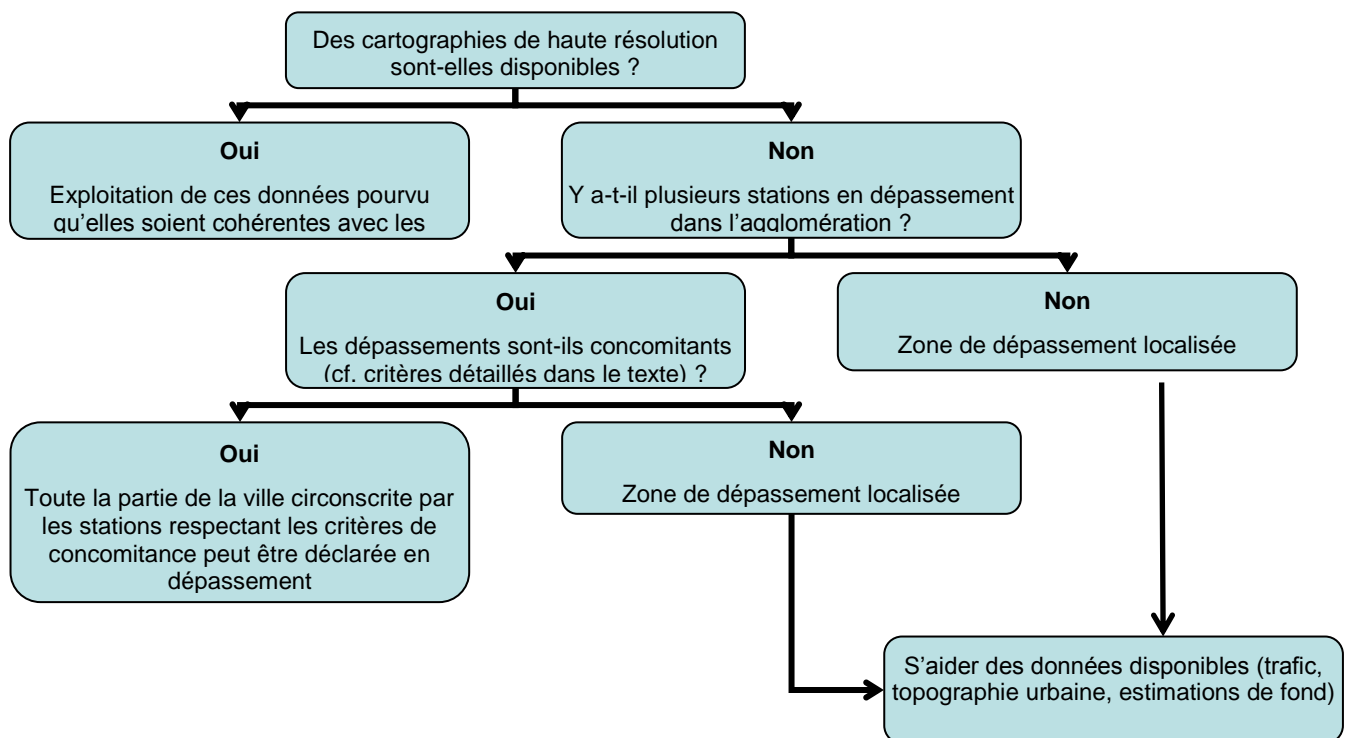


Figure 6 – Méthodologie d'évaluation des zones de dépassement en milieu urbain et situation de proximité automobile

4.1 DES RESULTATS DE MODELISATION SONT DISPONIBLES

Des données de modélisation de haute résolution sont disponibles sur l'agglomération (résultats de simulations déterministes ou de méthodes d'interpolation mises en œuvre à fine échelle).

Aux points d'observation (stations permanentes, sites d'échantillonnage), on vérifiera qu'elles sont cohérentes avec les mesures de PM₁₀ effectuées sur l'année concernée.

Si tel est le cas, ces données pourront servir à la délimitation des zones de dépassement dans l'agglomération.

4.2 IL N'EXISTE PAS DE TELLES DONNEES OU CELLES-CI SONT INSUFFISANTES POUR REpondre AU PROBLEME POSE

4.2.1 PLUSIEURS STATIONS DE TRAFIC ET DE FOND SONT EN DEPASSEMENT DANS L'AGGLOMERATION ET LES CONDITIONS SUIVANTES SONT VERIFIEES :

- Cas de la VL annuelle : pour la majorité (au moins 3/4) des stations de trafic et de fond situées dans l'agglomération la moyenne annuelle dépasse la VL ou en est proche (supérieure à 30 µg/m³ pour tenir compte de l'objectif de qualité de 25% sur la mesure).
- Cas de la VL journalière : sur la majorité (au moins 3/4) des stations de trafic et de fond situées dans l'agglomération, on observe au minimum 30 dépassements concomitants de la valeur 50 µg/m³.

La zone de dépassement englobera toute la partie de l'agglomération circonscrite par ces stations.

La cartographie de fond servira à affiner les contours de cette zone.

4.2.2 LES CONDITIONS PRECEDENTES NE SONT PAS VERIFIEES, LE DEPASSEMENT CONCERNE DES STATIONS DE TRAFIC ISOLEES

Cas 1 : des données de trafic et/ou d'émissions ainsi que des informations sur la topographie urbaine sont disponibles.

On caractérisera la configuration de l'axe près duquel la station considérée est implantée : rapport hauteur/largeur, espacement entre les bâtiments.

La zone de dépassement sera délimitée :

- longitudinalement, par l'ensemble des tronçons routiers de même orientation, de configuration et de trafic/d'émissions similaires ;
- latéralement, par une bande de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de large.

Si des données de campagnes de mesure permettent d'évaluer l'influence latérale de l'axe, la largeur de la bande sera ajustée d'après ces données.

Dans le cas contraire, une largeur de 300 m de part et d'autre de l'axe est proposée. Cette valeur résulte d'une analyse bibliographique (annexe 2).

Cas 2 : les données disponibles sont insuffisantes.

On examinera les cartographies de fond (concentrations moyennes annuelles, nombres de dépassements) afin d'identifier, si la connaissance du terrain le permet, d'autres axes potentiellement concernés. On s'intéressera aux parties du domaine dans lesquelles les valeurs de fond estimées sont élevées (supérieures aux valeurs de fond estimées près de la station de trafic) et aux axes qui les traversent. Si les estimations de fond sont relativement homogènes sur l'agglomération, cette analyse n'est pas pertinente et la zone de dépassement sera restreinte à l'axe ou au tronçon d'axe situé près de la station.

Latéralement, la zone de dépassement sera délimitée comme dans le cas précédent.

5. PROXIMITE INDUSTRIELLE

5.1 LA STATION INDUSTRIELLE A LE COMPORTEMENT D'UNE STATION DE FOND EN CE QUI CONCERNE LES PM₁₀

On se reportera à la méthode d'évaluation proposée pour le fond.

5.2 LA STATION INDUSTRIELLE EST SOUMISE A L'INFLUENCE LOCALE D'EMETTEURS INDUSTRIELS

On délimitera grossièrement une zone autour de la station. Si des dépassements ont été constatés sur des sites voisins, on considèrera le domaine circonscrit par l'ensemble des stations touchées.

La délimitation sera affinée à l'aide des données disponibles : données relatives aux émissions ponctuelles et surfaciques, informations sur la distance d'impact des émetteurs industriels (campagnes de mesure, modélisation de panache), données de fond.

6. POPULATION EXPOSEE

Avant d'être croisées avec les surfaces de dépassement, les données de population pourront être réparties spatialement en fonction de l'occupation du sol ou du bâti.

Notons qu'une base de densité de population est disponible sur le site Internet de l'Agence européenne de l'Environnement (<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/metadetails.asp?id=830>). Ces données ont été calculées selon une maille de 100 m de côté à partir de données de population communales (2001) et de la base CORINE Land Cover (2001). La méthodologie employée est celle de Gallego et Peedell (2001).

7. CONCLUSION

L'évaluation des zones géographiques touchées par des dépassements de valeurs limites de PM₁₀ fait l'objet d'une demande urgente de la part du Ministère en charge du développement durable. Afin que toute AASQA concernée puisse répondre dans un bref délai, une méthode simple et pragmatique a été développée. Elle s'organise par échelle d'espace et par typologie. Dans chaque cas, elle décrit la marche à suivre en fonction des moyens disponibles.

En ce qui concerne la pollution de fond, le LCSQA a mis au point une procédure automatique de cartographie journalière, fondée sur un traitement géostatistique des simulations issues de CHIMERE, des observations et de données de population. Les estimations résultantes (cartographies des concentrations moyennes annuelles et des nombres annuels de dépassements du seuil 50 µg/m³), obtenues sur la France selon une résolution kilométrique, seront mises à la disposition des AASQA sur le site Internet du LCSQA.

S'agissant de la pollution de proximité, il n'a pas été possible d'élaborer une méthode générale pour la France, travail qui nécessiterait des bases de données très détaillées sur les axes et le trafic routier. Une approche dépendant des données et outils disponibles est donc proposée.

Il est prévu d'affiner l'ensemble de la méthodologie dans une seconde phase de l'étude (2009-2010) et de l'adapter à d'autres polluants, NO₂ et benzène en particulier. Pour ces deux composés, la disponibilité de campagnes de mesure par tubes à échantillonnage passif bien documentées permettra de développer une méthode plus précise. De plus, les données de l'inventaire national spatialisé des émissions (INS), qui seront mises à terme à disposition de l'ensemble des AASQA, seront exploitées.

La démarche proposée à l'issue de cette phase préliminaire s'est heurtée au manque de données d'observation disponibles pour les PM₁₀. En effet, les données de campagnes mobiles sont peu nombreuses, l'usage d'appareils portatifs n'est pas encore opérationnel et la méthode proposée se limite donc à l'exploitation de données du réseau d'analyseurs automatiques. **Il est évident, à l'instar de ce qui sera étudié pour la cartographie des dépassements de NO₂ et de benzène, qu'une campagne de mesure peut apporter de précieuses informations sur la variabilité spatiale et temporelle des concentrations autour d'un site. La conception et la conduite d'une campagne destinée à caractériser la représentativité d'une station de mesure de PM₁₀ seront ainsi proposées par le LCSQA pour l'année 2010.**

8. REFERENCES

Gallego J., Peedell S., 2001, Using CORINE Land Cover to map population density. Towards Agri-environmental indicators, Topic report 6/2001 European Environment Agency, Copenhagen, pp. 92-103.
http://reports.eea.eu.int/topic_report_2001_06/en.

9. LISTE DES ANNEXES

Repère	• Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Bilan des pratiques dans les AASQA	5
Annexe 2	Compléments sur la cartographie de fond	8
Annexe 3	Bibliographie sur la décroissance des concentrations autour des routes	3

ANNEXE 1

Bilan des pratiques dans les AASQA

Bilan préliminaire (tableau limité aux AASQA pour lesquelles des dépassements liés aux PM10 ont été observés. Le nombre de stations recensées englobe les années 2005, 2006 et 2007)

AASQA	PM10 – VL journalière	PM10 – VL annuelle	NO2 – VL horaire	NO2 – VL annuelle
ATMO NPDC	<p>7 stations périurbaines + 18 stations urbaines + 6 stations industrielles + 4 stations de trafic</p> <p>Nombreux dépassements. Evaluation fondée sur l'expertise.</p>	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
ATMO RA AIR APS	<p>2 stations périurbaines + 6 stations urbaines + 1 station industrielle + 12 stations de trafic</p> <p>Fond rural : Système de modélisation régionale PREV'ALP (avec descente d'échelle : 6 km → 1km) à un pas journalier + adaptation statistique (krigeage des observations avec CHIMERE en dérive externe)</p> <p>Echelle urbaine : Modèle SIRANE (10 m)</p> <p>Avant mise en œuvre opérationnelle de SIRANE : Fond urbain : ville-centre + communes de la première couronne si la majorité des stations ont dépassé + éventuellement zone complémentaire donnée par PREV'ALP</p>	<p>3 stations de trafic</p> <p>idem</p>	<p>1 station de trafic</p> <p>SIRANE</p>	<p>12 stations de trafic</p> <p>SIRANE</p>

AASQA	PM10 – VL journalière	PM10 – VL annuelle	NO2 – VL horaire	NO2 – VL annuelle
	<p>Proximité automobile (échelle régionale) : zone supposée en dépassement (sur une certaine largeur de bande) si plus de 15000 équivalents véhicules NOx</p> <p>Croisement avec la population spatialisée en fonction du bâti</p>			
ASPA	<p>3 stations urbaines + 1 station de trafic</p> <p>Fond rural : Système de modélisation régionale PREVEST (4 km) à un pas journalier + adaptation statistique (krigeage des innovations)</p> <p>Fond urbain + proximité : ADMS-Urban (200 m) à un pas journalier + STREET (pour le calcul de la longueur d'axes)</p> <p>Croisement avec la population spatialisée en fonction de l'occupation du sol</p>	Pas de dépassement	Pas de dépassement	<p>1 station de trafic</p> <p>Même approche que pour les PM10</p>
AIRPARIF	<p>1 station urbaine + 4 stations de trafic</p> <p>Fond (rural + urbain) : cokrigeage entre nombre de dépassements aux stations et carte moyenne annuelle de PM10 (cf. PM10 VL annuelle)</p> <p>Proximité : Surcroît de concentration (Δ_{STREET}) estimé par STREET puis spatialisé dans</p>	<p>4 stations de trafic</p> <p>Fond (rural + urbain) : cokrigeage entre concentration de PM10 aux stations et émissions de particules</p> <p>Proximité : Δ_{STREET} spatialisé dans une bande selon un profil de décroissance linéaire (ajusté à partir de données de campagnes)</p>	<p>2 stations de trafic</p> <p>Pas de méthode spécifique Dépassements locaux</p>	<p>1 station urbaine + 6 stations de trafic</p> <p>Même approche que pour les PM10</p> <p>Fond (rural + urbain) : cokrigeage entre concentration de NO2 aux stations et émissions de NOx</p> <p>Proximité : Δ_{STREET} spatialisé dans une bande selon un profil de décroissance linéaire</p>

AASQA	PM10 – VL journalière	PM10 – VL annuelle	NO2 – VL horaire	NO2 – VL annuelle
	<p>une bande selon un profil de décroissance linéaire (profil ajusté à partir de données de campagnes)</p> <p>Prise en compte d'une erreur (gaussienne) autour du nombre estimé → carte de risque de dépassement.</p> <p>Dépassement si risque >50%</p> <p>3 domaines :</p> <p>Ile de France, résolution 50 m</p> <p>Paris + couronne, résolution 25 m</p> <p>Paris, résolution 10 m</p> <p>(résolution augmentée uniquement pour des questions de lisibilité de la carte)</p> <p>Croisement avec la population spatialisée sur une maille de 50 m</p>	<p>Carte jugée imprécise → surface touchée et population exposée données sous forme d'intervalles</p> <p>3 domaines :</p> <p>Ile de France, résolution 50 m</p> <p>Paris + couronne, résolution 25 m</p> <p>Paris, résolution 10 m</p> <p>(résolution augmentée uniquement pour des questions de lisibilité de la carte)</p> <p>Croisement avec population spatialisée sur une maille de 50 m</p>		<p>(ajusté à partir de données de campagnes)</p>
ATMO PACA	<p>1 station périurbaine + 3 stations urbaines + 3 stations industrielles + 7 stations de trafic</p> <p>Délimitation des zones par analogie avec le NO₂ :</p> <p>[NO₂]moy_an > 35 µg/m³ ⇒ dépassement de la VL journalière</p> <p>Croisement avec la population spatialisée en fonction du bâti (en fonction du volume des bâtiments)</p>	<p>3 stations industrielles + 1 station de trafic</p> <p>Même surface de dépassement que pour la VL journalière (jugée la plus pénalisante)</p>	<p>1 station de trafic</p>	<p>7 stations de trafic</p> <p>Modélisation du NO₂ en moyenne annuelle :</p> <p>ADMS-Urban pour Toulon, Nice, Aix (en cours)</p> <p>ou krigeage avec les émissions de NO_x en dérive +Δ_STREET spatialisé par krigeage simple</p>

AASQA	PM10 – VL journalière	PM10 – VL annuelle	NO2 – VL horaire	NO2 – VL annuelle
AIRFOBEP	7 stations urbaines + 4 stations industrielles ADMS-Urban, résolution kilométrique : a tourné sur l'année 2008. 2007 : estimation des zones de dépassement à partir des résultats de 2008 et de la comparaison entre les mesures de 2007 et de 2008.			
AIRAQ	1 station urbaine + 3 stations de trafic Evaluation fondée sur l'expertise	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
ATMOLOR	1 station industrielle Modélisation de panache (ADMS4) Analyse de l'inventaire des émissions	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
AIRLOR	1 station industrielle en 2007 Situation complexe (site industriel imbriqué dans un tissu urbain)	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
AIR NORMAND	2 stations de trafic SIRANE (pour l'instant mis en œuvre dans des situations pénalisantes)	Pas de dépassement	Pas de dépassement	1 station de trafic
ATMOSF'Air Bourgogne	1 station de trafic Etude de données de trafic et de bâti	Pas de dépassement	1 station OS	1 station de trafic + 1 station OS
GWAD'AIR	1 station urbaine Toute la zone touchée (brumes de sable + autres contributions ponctuelles)	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
MADININAIR	4 stations urbaines + 1 station de trafic Toute la zone touchée (brumes de sable + autres contributions : trafic, brûlage,...)	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement
ORA de Guyane	1 station urbaine	Pas de dépassement	Pas de dépassement	Pas de dépassement

ANNEXE 2

Compléments sur la cartographie de fond

Modélisation géostatistique

Les variogrammes simples expérimentaux et le variogramme croisé expérimental de la mesure et de CHIMERE sont calculés chaque jour (Figure 7).

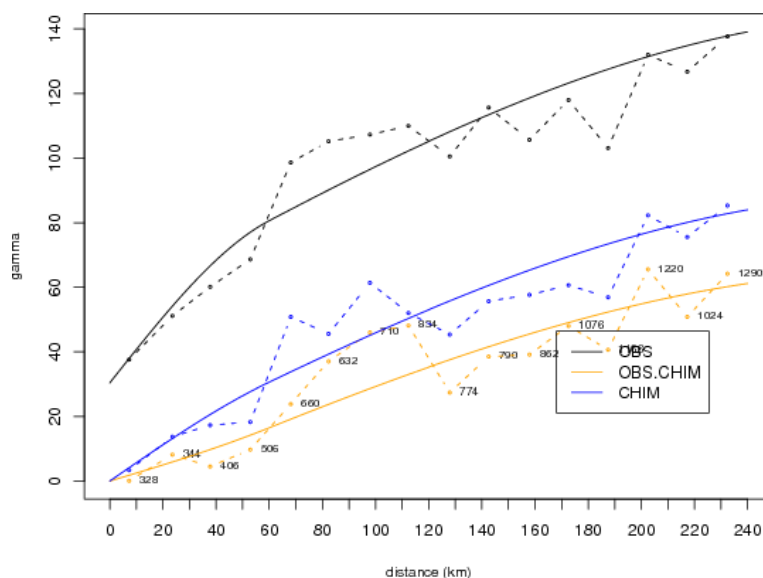


Figure 7 – Exemple de la journée du 26 avril 2007. Représentation des variogrammes expérimentaux (points) et des variogrammes modélisés (lignes). Noir : variogramme simple de la mesure. Bleu : variogramme simple de CHIMERE. Orange : variogramme croisé.

La dérive est prise en compte dans le variogramme de la mesure : ce dernier correspond au variogramme des résidus de la régression linéaire entre les observations et la variable de population.

Les variogrammes sont modélisés comme la combinaison linéaire de deux structures sphériques. Le variogramme de la mesure inclut également un effet de pépité.

Les portées des deux structures sphériques sont respectivement de 60 km et 300 km. Elles ont été définies dans une analyse exploratoire préliminaire des concentrations moyennes annuelles.

Les paliers des variogrammes sont réajustés chaque jour.

Le voisinage d'estimation résulte d'un compromis entre plusieurs critères : distance cohérente avec la portée spatiale des phénomènes et le domaine de validité des variogrammes, nécessité d'inclure un nombre suffisant d'observations, limitation du temps de calcul. Des tests ont montré que si le voisinage était exprimé en unité de distance, le nombre d'observations disponibles dans un rayon fixé pouvait être localement insuffisant, à cause de la densité inégale de stations et des données manquantes. Une augmentation de ce rayon a pour contrepartie une augmentation trop importante du temps de calcul. Un voisinage exprimé en nombre de données (valides) se révèle préférable.

Remarques :

- La densité de population, variable auxiliaire disponible au moment de l'étude, a été choisie comme indicateur des émissions anthropiques afin d'améliorer la résolution des cartographies. A l'échelle de la France, les observations ne montrent toutefois qu'une assez faible corrélation avec cette variable ; celle-ci a une influence limitée sur la cartographie.

Lorsque la corrélation entre les observations et la densité de population est négative ou nulle, ce qui se produit parfois, le programme de krigeage ne prend pas en compte la dérive.

Le choix des variables auxiliaires pour la dérive sera approfondi dans la seconde phase de l'étude.

- Selon que la mesure (variable principale) et le modèle CHIMERE sont plus ou moins corrélés dans l'espace, ce dernier a plus ou moins de poids dans l'estimation. Si le variogramme croisé est proche de zéro, le cokrigeage équivaut approximativement à un krigeage des observations avec la population en dérive externe.

Lorsque le variogramme croisé prend des valeurs négatives, ce qui peut arriver ponctuellement, le programme de krigeage ne tient pas compte de CHIMERE : l'estimation du jour correspondant s'effectue par krigeage avec dérive externe.

- Les paramètres du modèle linéaire de corégionalisation et du cokrigeage ont été ajustés à la suite d'une analyse exploratoire et de tests préliminaires. On s'est notamment fondé sur les résultats de la validation croisée journalière. En plus des indicateurs cités au paragraphe 3.2.1, la variance de l'erreur d'estimation et la variance de krigeage ont été considérées. Une étude de sensibilité plus approfondie pourra être réalisée à l'occasion des améliorations envisagées sur le long terme ; s'il est besoin, la définition de ces paramètres sera affinée.
- Comme il est indiqué dans le corps du document, l'incertitude d'estimation est prise en compte sous la forme d'un intervalle de confiance autour des valeurs journalières estimées. Cet intervalle de confiance est défini conventionnellement à partir de l'écart-type de krigeage. A l'aide des résultats de la validation croisée, on s'est assuré préalablement que l'écart-type de krigeage était représentatif de l'écart-type de l'erreur d'estimation et que cette dernière suivait une distribution approximativement symétrique. C'est le cas pour une majorité de jours (Figure 8, Figure 9).

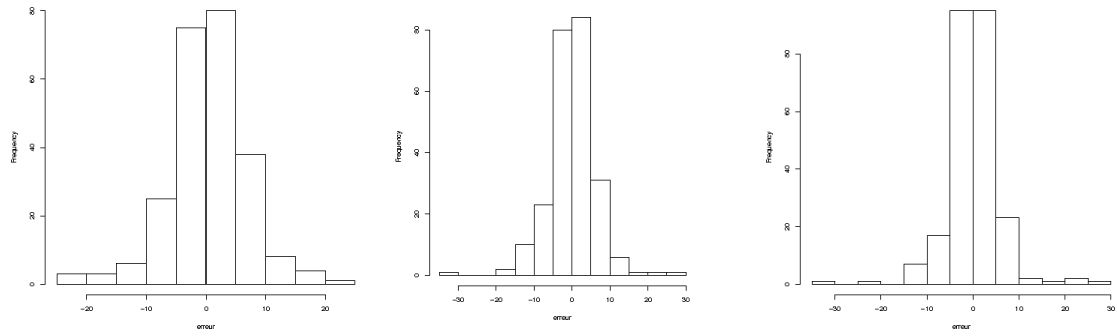


Figure 8 – Validation croisée. Exemple de trois journées de l'année 2007. Histogramme de l'erreur d'estimation [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

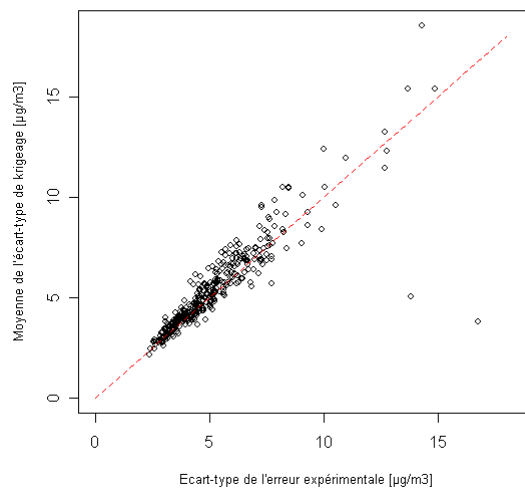


Figure 9 – Année 2007. Validation croisée. Un point du nuage correspond à une journée. Il a pour abscisse l'écart-type de l'erreur d'estimation calculée sur les différentes stations et pour ordonnée la moyenne sur les stations des écarts-type de krigeage.

En complément de la Figure 2 (cf. §3.2.1), le tableau ci-après (Tableau 2) indique à titre indicatif (dans l'état actuel des données utilisées) les stations pour lesquelles des dépassements de valeurs limites ont été mesurés en 2007 mais n'ont pas été correctement estimés par validation croisée.

Tableau 2 – Dépassements observés mais non estimés pour l'année 2007.

Numéro de site	Nom du site	Typologie	Moyenne annuelle mesurée [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Moyenne annuelle estimée [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Nb de dépassements du seuil $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesuré	Nb de dépassements du seuil $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estimé
02022	Arles	U	34.6	29.2	46	22
02031	Marignane-Ville	U	40.3	33.6	86	31
03014	MARSEILLE_SAINTELOUIS	U	35.3	33.6	49	32
03036	AIX_OUEST-BOUFFAN	U	32.5	33.3	42	29
03084	LE-PONTET	PU	35.2	29.1	36	13
04150	LA-DEFENSE	U	30.0	28.8	37	26
10025	Sangatte	PU	34.7	30.2	41	35
10032	Outreau	PU	31.5	29.5	38	33
10041	St-Omer-Ribot	U	31.6	29.6	51	32
15038	St-Martin-d'Herès	U	29.7	27.3	50	31
16038	STG-Est	U	29.0	26.0	37	21
16054	Colmar-Centre	U	30.1	27.7	37	27
16057	Mulhouse-Nord	U	30.1	26.9	36	27
20046	VAULX-EN-VELIN	PU	29.7	28.1	42	28
20062	LYON-Centre	PU	29.7	28.6	38	33
28020	Noeux-S.-Sports	PU	28.3	27.5	40	33
33120	CHAMONIX	U	28.7	26.9	38	31
33201	LOVERCHY	U	24.3	23.0	37	23
33212	GAILLARD	U	23.8	23.0	36	25
33220	PASSY	U	29.7	25.6	52	25

Ces résultats correspondent à la validation croisée (on élimine tour à tour une station de mesure des données d'entrée et on y estime la valeur par cokrigage à l'aide des observations restantes). Dans les estimations sur la grille kilométrique, les mesures de toutes ces stations, comme celles des autres sites de fond, sont bien prises en compte.

Relation entre les concentrations de proximité et les concentrations de fond

Les concentrations journalières de PM10 mesurées par les stations industrielles d'une part et par les stations de trafic d'autre part ont été comparées aux concentrations journalières de fond estimées en ces mêmes points.

Nous présentons les résultats de cette comparaison en moyenne annuelle (Figure 10, Figure 12).

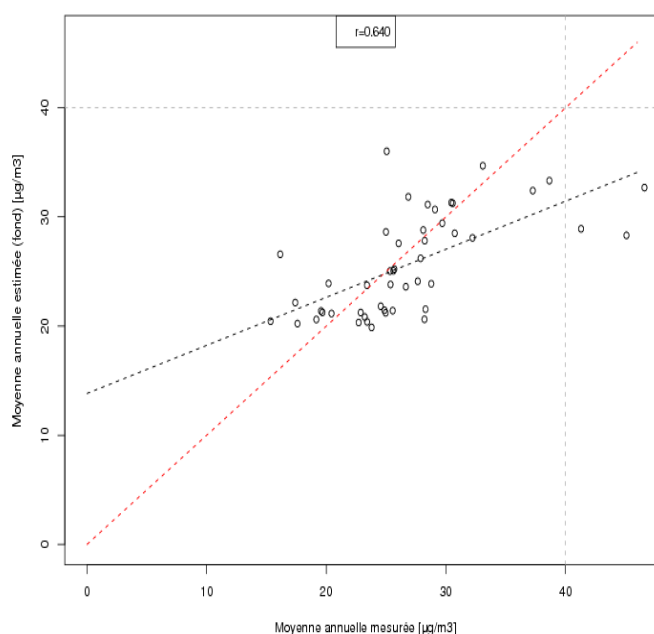


Figure 10 – Estimation des concentrations de fond sur les stations industrielles. Moyenne sur l'année 2007 des valeurs journalières estimées (en ordonnée) et mesurées (en abscisse) (corrélation=0,64). A droite, nombres de dépassements estimés (en ordonnée) et mesurés (en abscisse) (corrélation=0,58).

En rouge : bissectrice. En noir : droite de régression (valeurs estimées en fonction des valeurs mesurées)

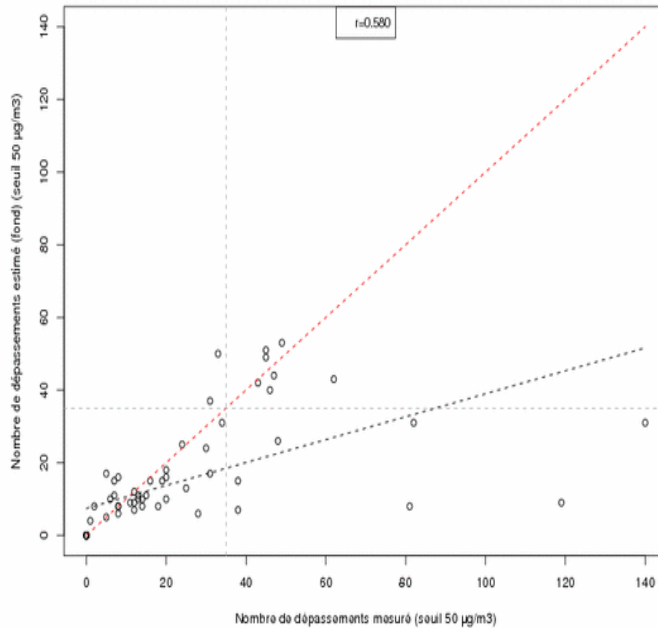


Figure 11 – Estimation des concentrations de fond sur les stations industrielles. Nombres de dépassements estimés (en ordonnée) et mesurés (en abscisse) (corrélation=0,58).

En rouge : bissectrice. En noir : droite de régression (valeurs estimées en fonction des valeurs mesurées)

Les stations pour lesquelles les nombres de dépassements mesurés et estimés en 2007 sont respectivement supérieurs (strictement) et inférieurs à 35 sont les suivantes :

01005 (Hayange) ; 02029 (Châteauneuf-La-Mède) ; 03030 (Gardanne) ; 20029 (FEYZIN-STADE) ; 24021 (Peillon) ; 24023 (Contes2) ; 30030 (Neuves-Maisons)

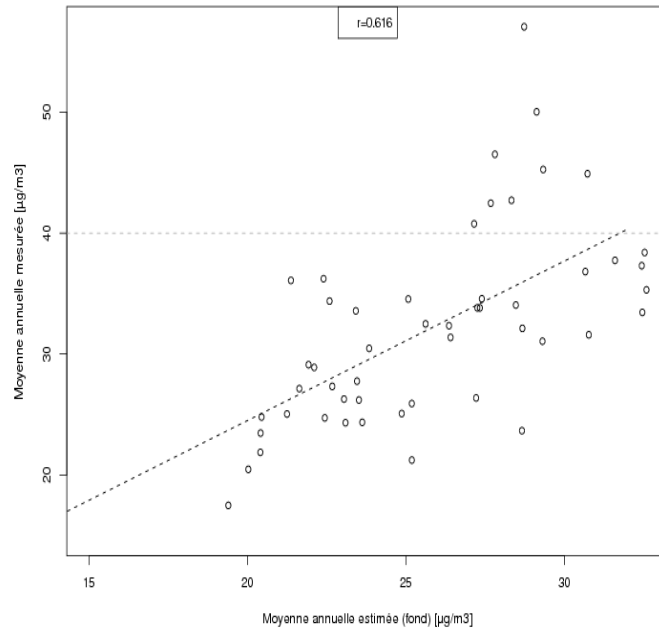


Figure 12 – Estimation des concentrations de fond sur les stations de trafic. Moyenne sur l'année 2007 des valeurs journalières estimées (en ordonnée) et mesurées (en abscisse) (corrélation=0,62). En noir : droite de régression

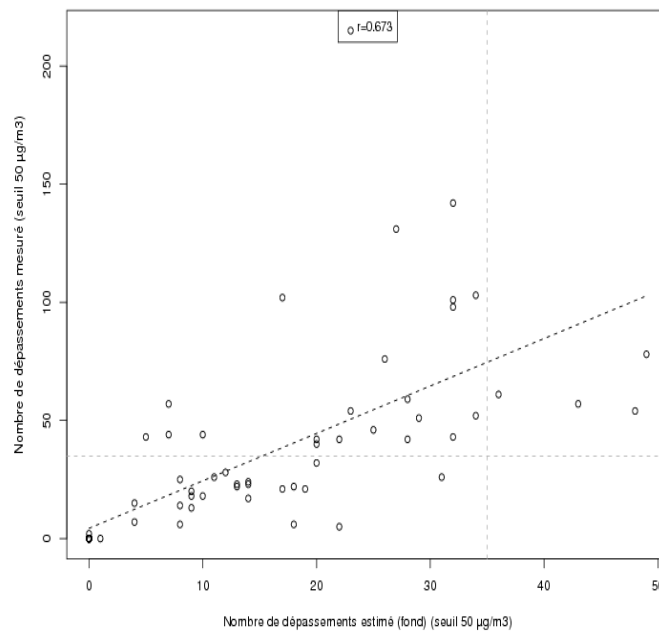


Figure 13 – Estimation des concentrations de fond sur les stations de trafic. Nombres de dépassements de estimés (en ordonnée) et mesurés (en abscisse) (corrélation=0,67). En noir : droite de régression

ANNEXE 3

Brève analyse bibliographique sur la décroissance des concentrations de part et d'autre des routes

Plusieurs auteurs et AASQA ont étudié la décroissance des concentrations à proximité des routes. La majorité des travaux est consacrée aux oxydes d'azote. Quel que soit le type de route ou de rue, la concentration de NO₂ décroît selon un gradient marqué et rejoint le niveau de fond à une distance de la route de quelques dizaines à quelques centaines de mètres (voir par exemple Wroblewski et al., 2007, Séguret et al., 2006, Deletraz et Dabos, 2001)

Le surcroît de concentration lié aux émissions routières diminue généralement d'un facteur 2 sur les cent premiers mètres, pour une distance d'impact rarement supérieure à 300-400 mètres (voir par exemple Gilbert, 2003). Des modèles analytiques – qui requièrent un calibrage local - ont été développés pour modéliser cette décroissance (Fau-Kessler et al., 2008) : modèle exponentiel, modèle linéaire en fonction du logarithme de la distance (Pleijel et al., 2004), fonction puissance (Zou et al., 2006). Des décroissances du même type ont été mises en évidence pour les particules ultrafines (Morawska et al., 2008, Hagler et al., 2009).

Pour les PM₁₀ et les PM_{2.5} en revanche, les résultats sont moins nets. Le gradient latéral de concentration est faible (Naser et al., 2009) voire nul (Roorda-Knappe et al., 1999). Dans une étude conduite à proximité du périphérique à Gentilly (AIRPARIF, 2008, AIRPARIF constate cependant que les émissions routières ont une influence sur les PM₁₀ de moindre portée (~100m) que sur le NO₂ (~200m).

D'autre part, la dépendance de la décroissance vis-à-vis du milieu est peu aisée à établir. Certaines AASQA consultées (ATMO PACA, ATMO Rhône-Alpes) observent des distances d'impact plus courtes dans les zones de bâti dense (l'impact du trafic reste concentré dans la rue) que dans les zones de bâti discontinu. Dans d'autres cas, la décroissance se révèle plus lente en milieu urbain dense (niveau de fond plus élevé) qu'en milieu urbain lâche (AIRPARIF, 2005, 2004).

Références :

AIRPARIF, 2008. Caractérisation de la qualité de l'air à proximité des voies à grande circulation. Premier volet. Campagne de mesure portant sur le boulevard périphérique au niveau de la porte de Gentilly. www.airparif.asso.fr.

AIRPARIF, « Caractérisation de la qualité de l'air à proximité de l'autoroute A4 sur la commune de Charenton-le-Pont (94) », Rapport d'étude, 43 pages, août 2005. www.airparif.asso.fr

AIRPARIF, « Caractérisation de la qualité de l'air au voisinage d'un échangeur autoroutier urbain. L'échangeur entre le boulevard périphérique et l'autoroute A3 au niveau de la Porte de Bagnolet », Rapport d'étude, 83 pages, décembre 2004. www.airparif.asso.fr

Deletraz, G., Dabos, P. 2001. Modélisation statistique de la pollution azotée à proximité d'un axe routier et évaluation des incidences sur l'environnement. Colloque Risques – octobre 2001, Besançon.

Fau-Kessler T., Kirchner M., Jakobi G., 2008. Modelling the decay of concentrations of nitrogenous compounds with distance from roads. *Atmospheric Environment*, 42, 4589-4600.

Gilbert, N.L., Woodhouse, S., Stieb, D.M., Brook, J.R., 2003. Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway. *The Science of the Total Environment*, 312, 43-46.

Hagler G.S.W., Baldauf R.W., Thoma E.D., Long T.R., Snow R.F., Kinsey J.S., Oudejans L., Gullett B.K., 2009. Ultrafine particles near a major roadway in Raleigh, North Carolina: Downwind attenuation and correlation with traffic-related pollutants. *Atmospheric Environment*, 43, 1229-1234.

Kodama, Y., Arashidani, K., Tokui, N., Kawamoto, T., Matsuno, K., Kunugita, N., Minakawa, N., 2002. Environmental NO₂ concentration and exposure in daily life along main roads in Tokyo. *Environmental Research, Section A*, 89, 236-244.

Morawska L., Ristovski Z., Jayaratne E.R., Keogh D.U., Ling X., 2008. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: Characteristics, ambient processing and implications on human exposure. *Atmospheric Environment*, 42, 8113-8138.

Naser T.M., Kanda I., Ohara T., Sakamoto K., Kobayashi S., Nitta H., Nataami T., 2009. Analysis of traffic-related NO_x and EC concentrations at various distances from major roads in Japan, *Atmospheric Environment*, 43, 2379-2390.

Pleijel H., Karlsson G.P., Gerdin E.E., 2004. On the logarithmic relationship between NO₂ concentration and the distance from a highroad. *Science of the Total Environment*, 332, 261-264.

Roorda-Knape, M., Janssen, N.A.H., Hartog (de), J., Van Vliet, P.H.N., Harssema, H., Brunekreef, B., 1999. Traffic related air pollution in city districts near motorways, *The Science of the Total Environment*, 235, 339-341.

Séguret S., Malherbe L., Perron G., 2006. Mapping roadside nitrogen dioxide concentrations using non-stationary kriging. http://www.lcsqa.org/system/files/TN_art_paper_Thur_Nov06_colour.pdf.

Wroblewski A., Riffault V., Malherbe L., Perdrix E., 2007. Adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs des campagnes : Echantillonnage spatial – Guide de recommandations. Rapport LCSQA, www.lcsqa.org.

Zou X., Shen Z., Yuan T., Yin S., Cai J., Chen L., Wang W., 2006. Shifted power-law relationship between NO₂ concentration and the distance from a highway: a new dispersion model based on the wind profile. *Atmospheric Environment*, 40, 8068-8073.

Annexe 3

Cartes estimées pour l'année 2007 des concentrations moyennes annuelles de PM10 et des nombres de dépassements du seuil journalier 50 µg/m³. Estimation de la population exposée.

CARTOGRAPHIES DES CONCENTRATIONS DE FOND DE PM10. RESULTATS POUR 2007.

Données d'entrée : données de la BDQA, simulations issues du modèle CHIMERE, données de population (INSEE) spatialisées en fonction de l'occupation du sol (CORINE Land Cover)

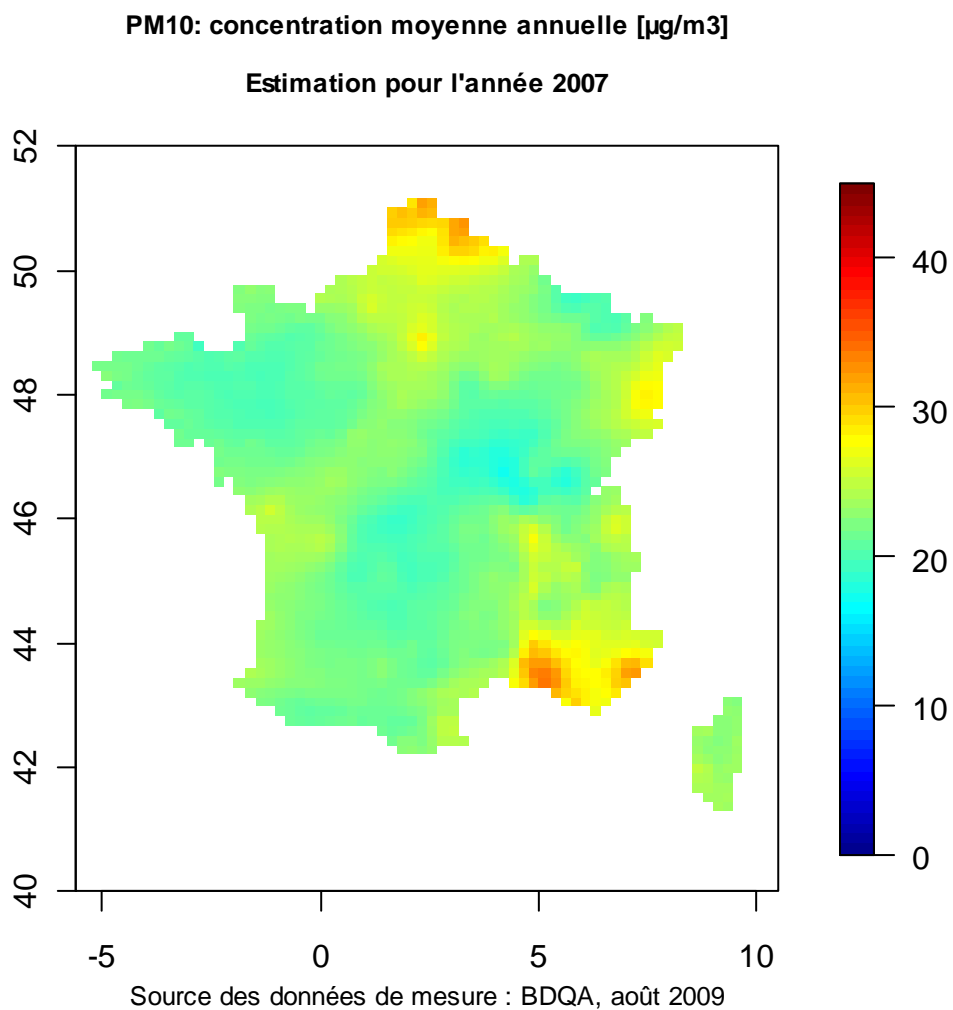
Cartes obtenues avec les données de la **BDQA d'août 2009**. Tous les sites de fond ruraux, périurbains et urbains ont été pris en compte.

Grille d'estimation : mailles de 1 km x 1 km

Les cartographies suivantes ont été établies à partir des 365 estimations journalières obtenues par cokrigeage entre les observations et le modèle CHIMERE.

Attention : la pollution de proximité (trafic, industries) n'est pas représentée.

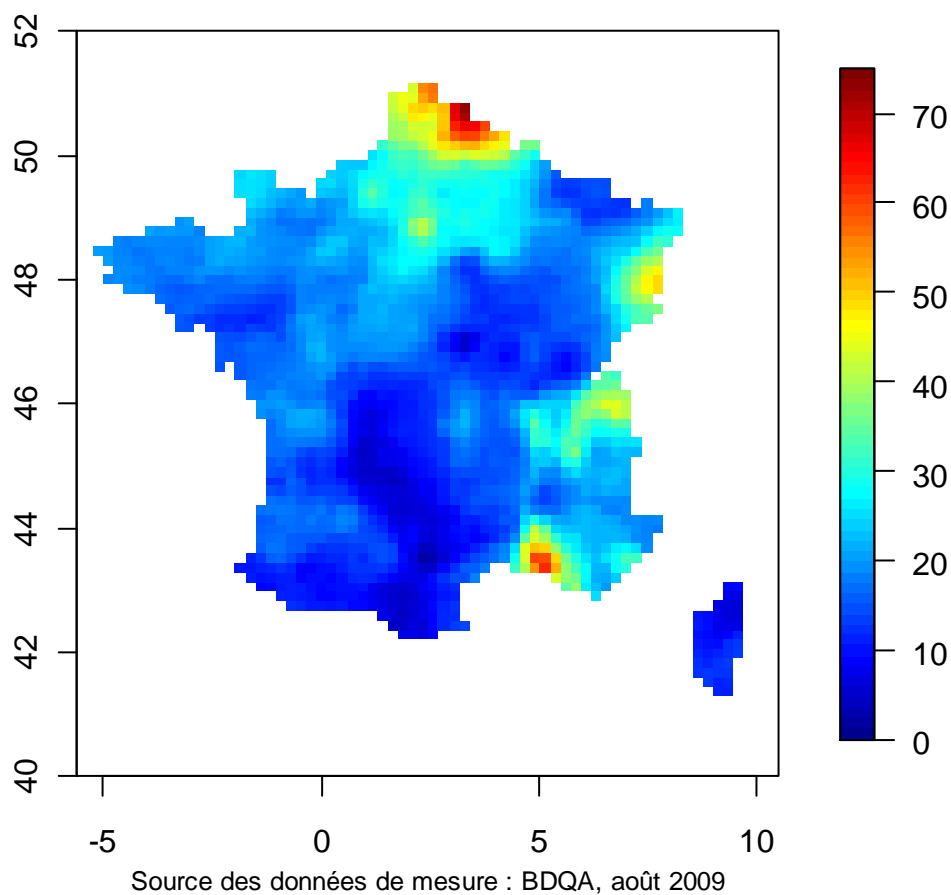
1) Concentration moyenne annuelle



2) Nombre de dépassements du seuil journalier 50 µg/m³

PM10: nombre de dépassements du seuil journalier 50 µg/m³

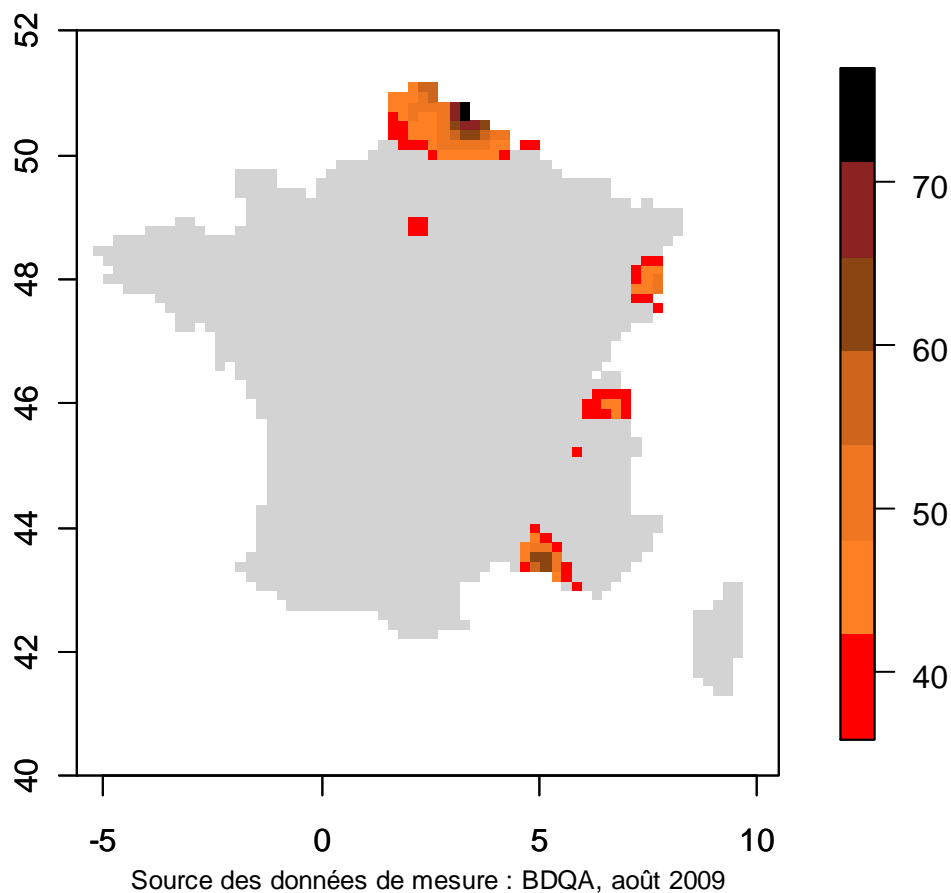
Estimation pour l'année 2007



Même carte que précédemment. Ne sont colorées que les mailles pour lesquelles un dépassement potentiel de la valeur limite journalière (plus de 35 dépassements du seuil journalier $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été estimé :

PM10: nombre (>35) de dépassements du seuil journalier $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estimation pour l'année 2007



Au total, on estime que 31630 mailles se trouvent potentiellement en situation de dépassement, soit 31630 km^2 . Cela représente 5,7 % du territoire. La population incluse dans ces mailles est d'environ 18 millions d'habitants.