

Cartographie de la qualité de l'air en agglomération : comment intégrer pollution de fond et pollution de proximité

Nicolas JEANNEE*, Sylvain FAYET**, Laëtitia MARY**, Anne FROMAGE-MARIETTE***, Corinne CABERO***, Gilles PERRON****, Alexandre ARMANGAUD**

* GEOVARIANCES, 49bis av. Franklin Roosevelt, BP 91, 77212 Avon, France –

Fax: +33 1 64 22 87 28 – Email : jeannee@geovariances.com

** AIRMARAIX, 67/69 av. du Prado, 13286 Marseille Cedex 06, France

*** AIR LANGUEDOC ROUSSILLON, 3 place Paul Bec, 34000 Montpellier, France

**** ASPA, 5 rue de Madrid, 67300 Schiltigheim, France

Résumé

La cartographie de polluants atmosphériques au niveau de l'agglomération repose fréquemment sur des mesures de « fond » de la qualité de l'air, les éventuelles mesures de trafic étant ignorées en raison de leur faible représentativité spatiale. L'importance des phénomènes de proximité routière pour certains polluants limite donc l'usage d'une telle cartographie.

L'article présente une méthodologie flexible et innovante de cartographie intégrant les phénomènes de fond et de proximité. Elle consiste à cartographier la pollution de fond à l'aide des mesures de fond et de variables auxiliaires (cadastre des émissions, occupation du sol) puis à spatialiser, à partir d'un modèle de rue, les concentrations liées au réseau routier en cohérence avec sa distance d'impact.

La méthodologie, illustrée pour le dioxyde d'azote sur l'agglomération de Toulon, conduit à une cartographie qui intègre de façon pertinente l'ensemble des mesures (fond et proximité).

Mots-clefs : *qualité de l'air, proximité, cartographie, émissions, modèle de rue, géostatistique.*

Abstract

Mapping air quality in urban areas: how to integrate background pollution and proximity pollution.

Mapping atmospheric pollutants in urban areas frequently relies on a number of air quality measurements. In this context, a classical approach consists in mapping background urban pollution from background measurement sites, ignoring proximity measurements. Proximity phenomenon being of importance for pollutants like nitrogen dioxide or benzene, ignoring this information restricts the use of such mapping, in particular for characterizing air pollution nearby roads and evaluating the potential exposure of populations. This article describes an innovative method that overcomes these issues. Based on pollutant measurements and a physico-chemical road model, the method consists in:

- *mapping background pollution from background measurements and emission inventory, using classical geostatistical techniques (Cressie, 1998; Deraieme & Bobbia, 2003; Jeannée, 2004),*
- *correcting potential bias between measured and modeled concentrations nearby roads,*
- *spatializing the corrected concentrations known on the traffic network consistently with the information available upon the type of decrease and the distance of impact.*

The method is illustrated for mapping nitrogen dioxide on the conurbation of Toulon. By a pertinent incorporation of all available data (103 NO₂ measurements by diffusive samplers, an emission inventory and the road model STREET), it provides a globally consistent map.

Keys-words: *air quality, proximity, mapping, emissions, road model, geostatistics.*

Introduction

La cartographie à fine échelle de la pollution atmosphérique au sein de l'agglomération répond à plusieurs objectifs : compréhension des phénomènes, communication sur les niveaux de pollution, évaluation des populations potentiellement exposées à des niveaux élevés de pollution. Ces objectifs sont notamment à l'origine, en France, du groupe de travail Air-ProCHE. Coordonné par l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) et l'IFEN (Institut Français de l'Environnement), Air-ProCHE vise à coordonner et développer une démarche harmonisée de cartographie fine permettant d'identifier les portions du territoire national où les populations sont affectées par les niveaux de pollution atmosphériques les plus élevés. Il s'inscrit notamment dans le cadre du Plan National Santé Environnement (PNSE) 2004-2008.

Afin d'établir une telle cartographie de la qualité de l'air au niveau de l'agglomération, il est possible de spatialiser les mesures de la qualité de l'air acquises en quelques points de l'agglomération, grâce à des analyseurs automatiques ou à la mise en œuvre de campagnes de mesures. Les techniques géostatistiques sont ainsi classiquement utilisées en qualité de l'air depuis plusieurs années pour cartographier des pollutions atmosphériques à l'échelle urbaine (Cressie, 1998), régionale (Roth, 2001) ou nationale (Jeannée, 2003). L'approche géostatistique permet en outre d'intégrer d'autres informations pertinentes pour la cartographie du polluant : concentrations issues d'une modélisation physico-chimique, cadastres d'émission ou occupation des sols, mesures plus nombreuses d'autres polluants ayant un comportement similaire (Bobbia et al, 2001).

La cartographie géostatistique de données de la qualité de l'air en agglomération se focalise usuellement sur la pollution de fond. En dépit de leur importance, les phénomènes de pollution de proximité ne sont en général pas reproduits, étant délicats à appréhender par des mesures dont la représentativité spatiale est faible. Cela pose des problèmes :

- de communication, les cartographies diffusées n'illustrant qu'une partie du phénomène de pollution atmosphérique, excluant pour des polluants tels que le NO₂ la source principale de pollution, même si leurs niveaux de fond rendent compte en partie des sources liées au trafic ;
- de caractérisation de la pollution, en particulier si la cartographie doit servir de base à une évaluation de l'exposition potentielle des populations, sachant qu'une proportion de cette population réside à proximité d'axes routiers.

Les niveaux de concentration observés en proximité routière peuvent aujourd'hui être modélisés grâce à des outils numériques tels que STREET (Targeting, <http://www.targeting.fr>), ADMS-Roads (CERC, <http://www.cerc.co.uk/software/admsroads.htm>) ou SIRANE (Soulhac, 2002). En effet, à partir de différents paramètres (émissions, typologie de l'axe, météorologie, ...), ces modèles de rue évaluent les concentrations du polluant le long des principaux axes (Rouïl, 2004).

Afin d'intégrer cette information de proximité, une première approche consiste à réaliser une cartographie de la pollution de fond, puis à superposer le long des principaux axes les concentrations issues du modèle de rue. Bien que plus satisfaisante qu'une cartographie exclusivement de fond, cette méthodologie présente deux inconvénients :

- les concentrations modélisées le long des axes de circulation ne sont pas spatialisées, en dépit de leur impact reconnu sur la qualité de l'air jusqu'à 100 ou 200 m des axes routiers,
- la cohérence entre les résultats du modèle de rue et les mesures de proximité est - dans le meilleur des cas - évaluée qualitativement.

La méthodologie proposée permet de résoudre ces problèmes. Elle est présentée puis illustrée pour la cartographie de la concentration moyenne annuelle du dioxyde d'azote sur l'agglomération de Toulon pour l'année 2001. Cette agglomération a fait l'objet de plusieurs campagnes de mesure ces dernières années, menées par l'association AIRMARAIX, en raison de l'existence de populations potentiellement exposées à des niveaux significatifs de polluants tels que le dioxyde d'azote. Les

résultats obtenus sont finalement discutés en regard des objectifs attendus d'une telle cartographie.

1 - Matériels & Méthodes

En France, l'étude et le suivi de l'air ambiant sont confiés à des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). En agglomération, les mesures réalisées sont qualifiées de « proximité » lorsqu'elles ont pour but de documenter la qualité de l'air au voisinage de certaines sources de pollution (industries, axes routiers) et de mesures de « fond » (urbaines, périurbaines) lorsqu'elles sont destinées à caractériser la pollution atmosphérique moyenne sur ces zones (ADEME, 2002). Les mesures de fond et de proximité correspondent à des populations statistiques bien distinctes, à la fois en terme de niveaux de concentration et de représentativité spatiale, ce qui justifie leur traitement dissocié. La méthodologie de cartographie fond/proximité repose ainsi sur deux étapes consistant : (1) à cartographier la pollution de fond, puis (2) à lui ajouter une cartographie des « sur-concentrations » de proximité routière à la fois mesurées et modélisées par STREET (version 4.1).

La résolution d'une telle cartographie fond/proximité doit être suffisamment fine pour capturer les phénomènes de proximité, sans pour autant laisser illusoirement penser que l'on peut atteindre, en terme de cartographie de la qualité de l'air, une précision de l'ordre du mètre. Une résolution de l'ordre de 25m constitue un compromis intéressant au regard des données d'entrée : topographie, îlots de population INSEE au 1/25000^{ème}, occupation du sol CIRGE 1999 à 2,5ha.

Cartographie de la pollution de fond

La cartographie de la pollution de fond est obtenue par l'application de techniques géostatistiques classiques aux mesures de fond disponibles : krigeage des concentrations mesurées de fond, cokrigeage intégrant des variables auxiliaires telles qu'un cadastre d'émissions, etc. (voir par exemple Deraisme et Bobbia, 2003, ou Jeannée, 2004, pour une description de la méthodologie géostatistique appliquée à la qualité de l'air). Il est important d'exclure du jeu de données de fond les mesures impactées par la proximité routière. Outre les sites de type trafic ou industriel, on exclura les points de mesure qui, bien qu'étant typés de fond, présentent un niveau de concentration supérieur aux autres points de mesures de fond proches, niveau explicable par la proximité d'un axe routier. Ces points doivent être retirés du processus de construction de la cartographie de la pollution de fond, afin d'éviter d'y intégrer des points exposés à des phénomènes de proximité.

Estimation des concentrations sur le réseau routier

Disposant d'une cartographie de la pollution de fond et de sites de proximité exclus de sa construction, l'objectif est à présent de combiner ces informations à celles liées à la pollution modélisée en proximité routière, afin d'obtenir une cartographie intégrée fond/proximité pertinente.

Les modèles physico-chimiques de rue requièrent en entrée une information relative à la pollution de fond, qui doit être cohérente avec la cartographie de pollution de fond réalisée au préalable afin de ne pas donner lieu à des résultats incohérents. Il importe ensuite de garantir la cohérence entre concentrations modélisées sur le réseau routier et la pollution de fond (la concentration modélisée sur le réseau routier doit lui être supérieure) ainsi que les mesures de proximité (mesures de proximité et concentrations modélisées sur les axes avoisinants doivent être corrélées).

Cette analyse est menée sur les « sur-concentrations » de proximité, obtenues en soustrayant la pollution de fond cartographiée aux concentrations de proximité, à la fois mesurées et modélisées ; en effet, en soustrayant les tendances de fond de la pollution, l'analyse se trouve simplifiée.

Les concentrations issues du modèle de rue sont disponibles sous forme de données linéiques correspondant aux tronçons du réseau routier modélisés. Afin de permettre leur spatialisation, ces

données linéiques sont discrétisées en un chapelet fin de points couvrant le réseau routier. L'observation de biais entre mesures de proximité et concentrations modélisées sur le réseau routier pourra être corrigée par exemple par krigeage avec dérive externe, dont l'idée consiste intuitivement à garder l'allure générale des concentrations modélisées tout en les recalant aux niveaux de concentrations mesurés en proximité routière.

Spatialisation des concentrations de proximité routière

Les concentrations de proximité routière, connues exclusivement sur le réseau routier, doivent finalement être spatialisées. L'expérience acquise pour le dioxyde d'azote montre que la décroissance des niveaux de pollution autour des axes est exponentielle (ASPA, 2003, ADEME 2002). En outre, le tissu urbain environnant semble déterminant pour la distance d'impact direct de l'axe routier, de 100m maximum en milieu urbain fermé (rugosité importante, hors rues de type « canyon »), et 200m maximum en milieu ouvert (routes nationales et autoroutes). La densité de bâti permet de distinguer ces deux cas et de particulariser la spatialisation en fonction du type de milieu.

Les « sur-concentrations » de proximité routière sont connues le long du réseau routier. Pour chaque type de milieu, ces « sur-concentrations » sont spatialisées par krigeage simple à l'aide d'un modèle de variogramme exponentiel de portée égale à la distance d'impact direct de l'axe. Le krigeage simple, ou krigeage à moyenne connue, nécessite la connaissance de la moyenne des sur-concentrations en l'absence de mesure. Lorsque le réseau routier conduisant à des niveaux de concentrations significatifs est exhaustivement modélisé, la moyenne des sur-concentrations attendue en dehors de ce réseau est simplement égale à 0. Le modèle de variogramme exponentiel contribue à une décroissance exponentielle des concentrations autour des axes (figure 1).

Construction de la cartographie finale

La cartographie finale est obtenue en sommant cartographie de la pollution de fond et cartographie des sur-concentrations en proximité routière. Par construction, la cartographie ainsi obtenue respecte les données mesurées, prend en compte les informations de fond disponibles (émissions) et intègre, en les spatialisant, les niveaux de pollution modélisés en proximité routière.

2 - Résultats

Données d'entrée

L'illustration a pour objectif la cartographie sur l'agglomération de Toulon (France) de la concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote en 2001. Ces concentrations ont été évaluées par AIRMARAIX en 103 points, à partir de plusieurs campagnes de mesures réalisées sur Toulon depuis 1997 (mesures passives ou actives, statistiquement adaptées à l'année d'étude). On distingue parmi ces 103 points : 73 sites de fond et 30 sites de proximité.

Un cadastre kilométrique d'émissions en oxydes d'azote est disponible sur le domaine d'étude (inventaire régional PACA 1999 – AIRMARAIX 2004). Des données d'occupation du sol existent également à différentes échelles, dont 50m pour la plus fine. Le modèle de rue STREET a permis de modéliser les concentrations de NO₂ sur le réseau principal de l'agglomération (636 brins).

Cartographie de la pollution en NO₂ de fond

Classiquement, la cartographie du NO₂ gagne à intégrer la connaissance d'un cadastre d'émissions. En raison de la corrélation entre ces émissions et les mesures de NO₂, le cadastre améliore la qualité de la cartographie du polluant, en particulier dans les zones sous-échantillonnées. Le cadastre est transformé (lissage et calcul du logarithme) afin d'améliorer la corrélation avec les mesures du polluant. Les figures 2 et 3 illustrent le cadastre ainsi obtenu et la corrélation entre émissions transformées et concentrations de fond en NO₂. L'analyse des 73 sites de fond a conduit à en écarter 7 en raison de niveaux de concentrations qui, étant notablement plus élevés que les sites de

fond voisins, sont en outre explicables par la proximité du réseau routier. La cartographie finale de la pollution de fond est obtenue par krigeage avec dérive externe (figure 4). Les modélisations géostatistiques sont réalisées à l'aide du logiciel ISATIS (Geovariances, 2005).

Spatialisation des sur-concentrations de proximité routière et cartographie finale

Les concentrations modélisées par STREET, discrétisées tous les 20m, sont superposées à la cartographie de la figure 4. Leur corrélation moyenne avec les mesures de proximité conduit à les corriger par krigeage avec dérive externe : la forme générale de la modélisation de STREET est conservée, mais les niveaux sont corrigés afin d'être cohérents avec les mesures de proximité. Ainsi corrigées, les sur-concentrations modélisées par STREET sont spatialisées par krigeage simple à l'aide d'un modèle de variogramme exponentiel. La portée du variogramme, qui correspond à la distance d'impact direct de l'axe routier, est égale à 100m en milieu fermé (défini par une proportion de bâti supérieure à 50%) et 200m en milieu ouvert (bâti inférieur à 50%). La cartographie finale du NO₂ sur l'agglomération de Toulon, obtenue en sommant la cartographie de fond et celle des sur-concentrations en proximité routière, est illustrée à la figure 5.

3 - Discussion

Pollution atmosphérique en NO₂ sur l'agglomération de Toulon

La première approche consistant à superposer les concentrations issues du modèle de rue à la cartographie de fond est illustrée à la figure 4. On constate l'absence de spatialisation des concentrations de proximité routière, bien que de nombreuses études le long de transects routiers aient montré que les niveaux atteints sur le réseau conduisent à des sur-concentrations significatives jusqu'à 100 voire 200 m des axes. En outre, la cohérence entre les résultats du modèle de rue et les mesures de proximité n'est pas validée dans cette approche. Ces arguments ont motivé la méthodologie présentée dans cet article. La cartographie qui en découle (figure 5), présente un réalisme accru, intégrant dans sa construction l'information sur l'existence d'une zone d'influence des axes routiers sur la qualité de l'air environnant. Par ailleurs, la confiance que l'on peut avoir dans cette cartographie est meilleure, la cohérence entre les différentes informations combinées ayant été validée expérimentalement.

Reposant sur des algorithmes d'interpolation géostatistique, la méthodologie s'appliquera plus aisément en présence de mesures de polluants suffisamment nombreuses et représentatives des différentes configurations rencontrées sur la zone d'étude : à la fois de fond afin de cartographier correctement les différentes situations (centre ville dense, zones périphériques, contraintes de relief et de littoral) et des mesures de proximité afin de pouvoir notamment évaluer la cohérence du modèle de proximité routière (STREET) et le cas échéant corriger un éventuel biais de ce dernier. Bien qu'un nombre moins élevé de sites de fond eut probablement suffi pour le NO₂, dont la pollution de fond est relativement lisse et homogène, l'ensemble des mesures a été conservée pour cette première application sur l'agglomération de Toulon.

Validation de la cartographie et incertitude associée

Bien que la géostatistique permette de quantifier l'incertitude associée à une cartographie, cette évaluation est délicate dans le cas présent, l'incertitude associée aux concentrations modélisées par STREET étant méconnue. En outre, seul le réseau routier principal a été modélisé par STREET dans cette étude. La non prise en compte de certains axes constitue une incertitude supplémentaire, notamment en zone péri-urbaine, même si la corrélation avec les émissions peut compenser ce biais.

Il est également délicat de différencier avec précision milieux « fermés » et « ouverts ». L'utilisation du pourcentage de bâti comme critère de sélection introduit une incertitude supplémentaire délicate à quantifier dans le cadre de cette étude. Ce critère pourra être affiné avec une classification précise des axes selon des catégories explicites et l'introduction notamment d'un type de rue « canyon » pour mieux approcher les concentrations de proximité en milieu urbain très dense.

La cohérence globale de la cartographie obtenue a néanmoins été vérifiée par comparaison avec une modélisation numérique réalisée à l'aide d'ADMS-Urban sur une portion de l'agglomération.

Applicabilité de la méthodologie à d'autres cas

La flexibilité de la méthodologie la rend aisément transposable à d'autres cas. Ainsi, elle a déjà été appliquée dans le cadre du groupe de travail Air-ProCHE sur la Communauté Urbaine de Strasbourg. Elaborée à partir d'analyseurs automatiques uniquement, la cartographie obtenue s'est avérée cohérente avec une modélisation numérique réalisée à l'aide du modèle ADMS-Urban.

Moyennant certaines hypothèses, la méthodologie est en outre applicable en l'absence de modèle de rue, en exploitant alors les émissions sur le réseau, voire juste la position du réseau. La méthodologie conduit alors à une cartographie qui, bien que sujette à des incertitudes plus élevées, reste préférable à une cartographie de la pollution exclusivement de fond dont le biais est évident.

D'autres polluants primaires influencés par le trafic routier, tels que le benzène, peuvent également être cartographiés à l'aide de cette méthodologie moyennant une modification des hypothèses de dispersion du polluant autour des axes routiers (distance d'impact) ainsi qu'une validation de la corrélation avec l'inventaire des émissions.

Conclusion

La cartographie à fine échelle de pollutions atmosphériques est fréquemment réalisée exclusivement à partir de mesures de fond en raison du manque de représentativité spatiale des mesures de proximité, cela en dépit de l'importance de ces phénomènes de proximité. La méthodologie présentée apporte une solution à ce problème, en proposant une cartographie qui repose sur l'existence de mesures à la fois de fond et de proximité pour le polluant, d'un cadastre d'émissions classique et d'une modélisation des concentrations sur le réseau routier issue d'un modèle de rue. Elle exploite de façon pertinente ces informations, tout en garantissant leur cohérence.

Pour l'agglomération de Toulon, la méthodologie conduit à une cartographie pertinente de la concentration moyenne annuelle en NO₂, à une résolution de 25m. Le résultat final, s'il est cohérent avec l'ensemble des points de mesures à la fois de fond et de proximité disponibles, gagnerait néanmoins à être validé en quelques points non intégrés dans la construction de la cartographie et affiné du point de vue de la classification des axes en fonction de leur environnement.

La méthodologie de cartographie intégrée fond/proximité est aisément généralisable et applicable à d'autres cas : cartographie d'autres polluants, cartographie à partir d'analyseurs automatiques, cartographie focalisée sur certains axes routiers. Finalement, le cadre proposé correspond tout à fait à des besoins de cartographie de la qualité de l'air intégrant la pollution le long d'axes routiers importants, problématique fréquemment évoquée par les populations riveraines et pré-requis incontournable pour aborder la question de l'exposition de la population.

Remerciements

Le travail présenté a été partiellement développé dans le cadre du groupe de travail Air-ProCHE. Il a ainsi bénéficié d'un financement de l'AFSSET et de l'IFEN, que les auteurs tiennent à remercier.

Références

- ADEME (2002) Classification and criteria for setting up air quality monitoring stations, ADEME ed., 63 p.
- ASP (2003) Observatoire de la qualité de l'air dans la vallée de la Thur, Phase 2, rapp. 03061301ID, 76 p.
- Bobbia M, Pernelet V, Roth Ch (2001) L'intégration des informations indirectes à la cartographie géostatistique des polluants, In Pollution Atmosphérique N° 170, avril-juin 2001, p 251-261.
- Cressie N, Kaiser MS, Daniels MJ, Aldworth J, Lee J, Lahiri SN, Cox LH (1998) Spatial Analysis of particulate matter in an urban environment. In: 2nd European Conf. on Geostatistics for Environmental Applications, eds Gomez-Hernandez, Soares & Froidevaux, Kluwer Academic Publishers, p 41-51.
- Deraisme J, Bobbia M (2003) L'apport de la géostatistique à l'étude des risques liés à la pollution atmosphérique, In Environnement, Risques & Santé, Vol. 2 pp. 168-175.

- Geovariances (2005) *Isatis Technical References*, V5.1, Geovariances & Ecole des Mines de Paris, 138 p.
- Jeannée N, Nedellec V, Bouallala S, Desqueyroux H (2004) Geostatistical assessment of long term human exposure to air pollution. In: 5th European Conf. on Geostatistics for Environmental Applications, eds. Renard, Demougeot-Renard & Froidevaux, Kluwer Academic Publishers, pp 161-172.
- Roth C, Bournel-Bosson C (2001) Mapping diffusive sampling results: including uncertainty and indirect information. Int. conf. Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling, Montpellier, Sept. 26-28 2001.
- Rouil L (2004) Evaluation et contraintes d'application des modèles de rue, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, rapport DRC-04-55280-LRo .LCSQA-n°10_v1, nov. 2004, 37 p.
- Soulhac L (2002) Modélisation de la dispersion atmosphérique à l'intérieur de la canopée urbaine, rapport de thèse de l'Ecole Centrale de Lyon.

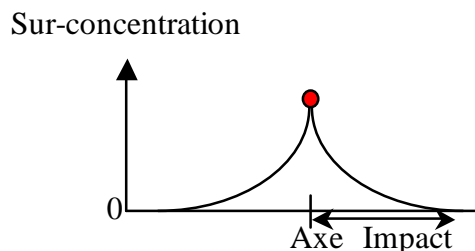


Figure 1 : Principe de la spatialisation par krigeage simple des concentrations le long d'un axe routier, jusqu'à la distance d'impact de l'axe sur la qualité de l'air environnant.

Figure 1: Illustration of how concentrations modeled along the traffic network are spatialized using simple kriging. The exponential decrease is justified by several transects studies performed along roads. The distance of impact (« Impact ») of the road on the neighboring air quality classically varies between 100m and 200m depending on the density of urban fabric, known via Corine Land Cover land use database.

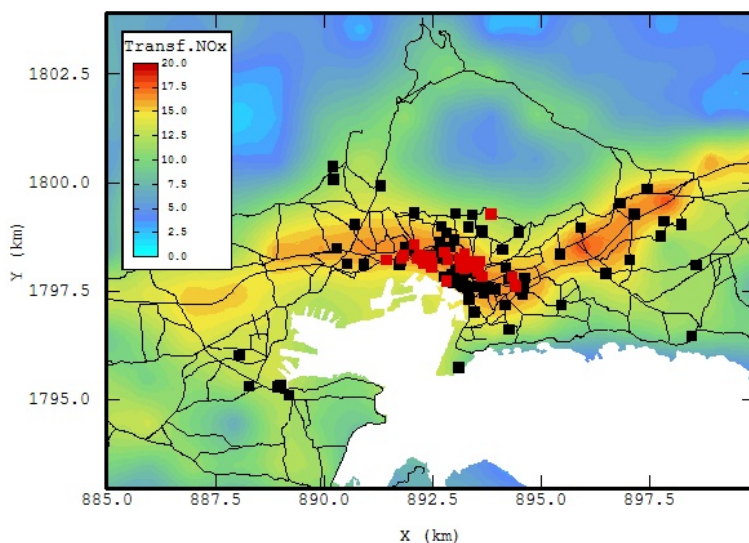


Figure 2 : Agglomération de Toulon : cadastre d'émissions en NOx transformées, position des mesures en NO₂ (carrés : sites de fond en noir, sites de proximité en rouge) et du réseau modélisé par STREET (trait noir).

Figure 2: Toulon conurbation: transformed nitrogen oxides emissions, location of NO₂ background (black squares) and proximity (red squares) measurements. Traffic network modeled by the road model STREET (thin black lines).

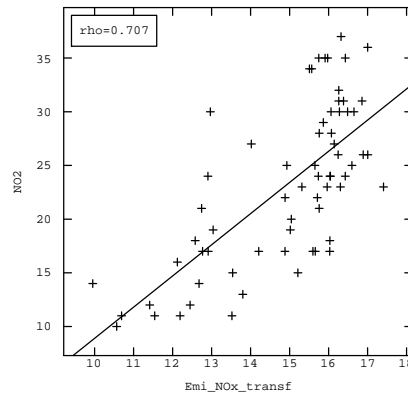


Figure 3 : Nuage de corrélation entre émissions en NOx transformées et concentrations de fond en NO₂. Indication de la droite de régression linéaire.

Figure 3: Scatter diagram between transformed nitrogen oxides emissions and measured background NO₂ concentrations. Linear regression line indicated. The quality of the correlation justifies the integration of such emissions as an auxiliary variable during the mapping of background NO₂.

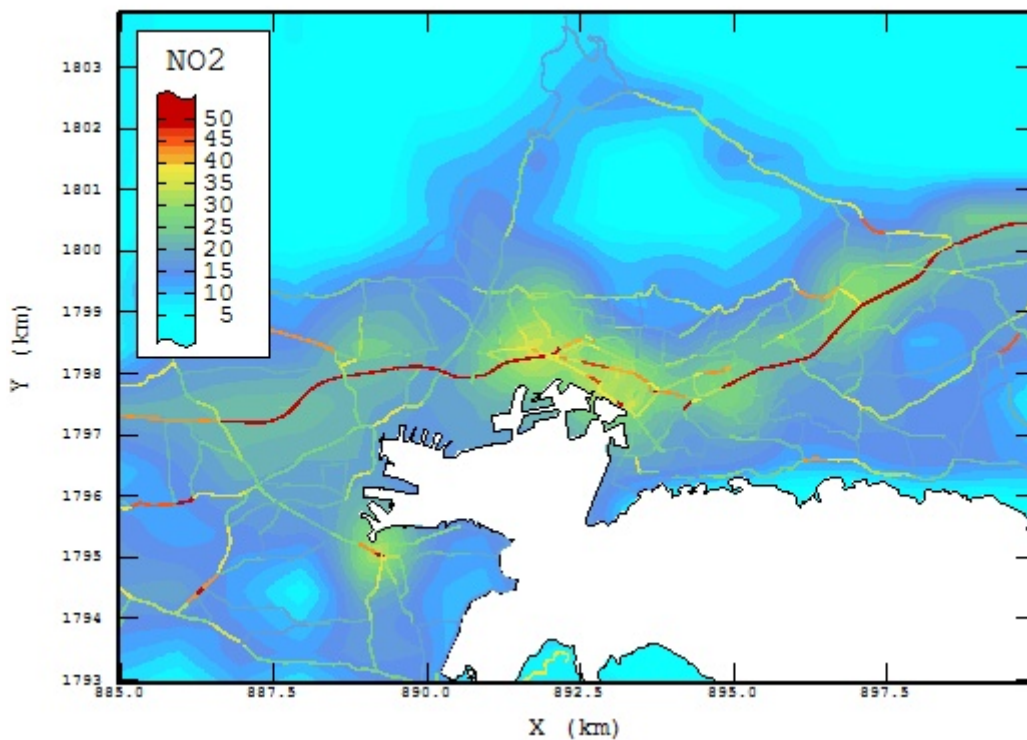


Figure 4 : Cartographie de la pollution de fond en NO₂ (µg/m³). Superposition des concentrations issues de STREET, avec la même échelle de couleur.

Figure 4: Background annual average NO₂ concentration map in µg/m³. NO₂ concentrations provided by the road model STREET are overlaid with the same color scale.

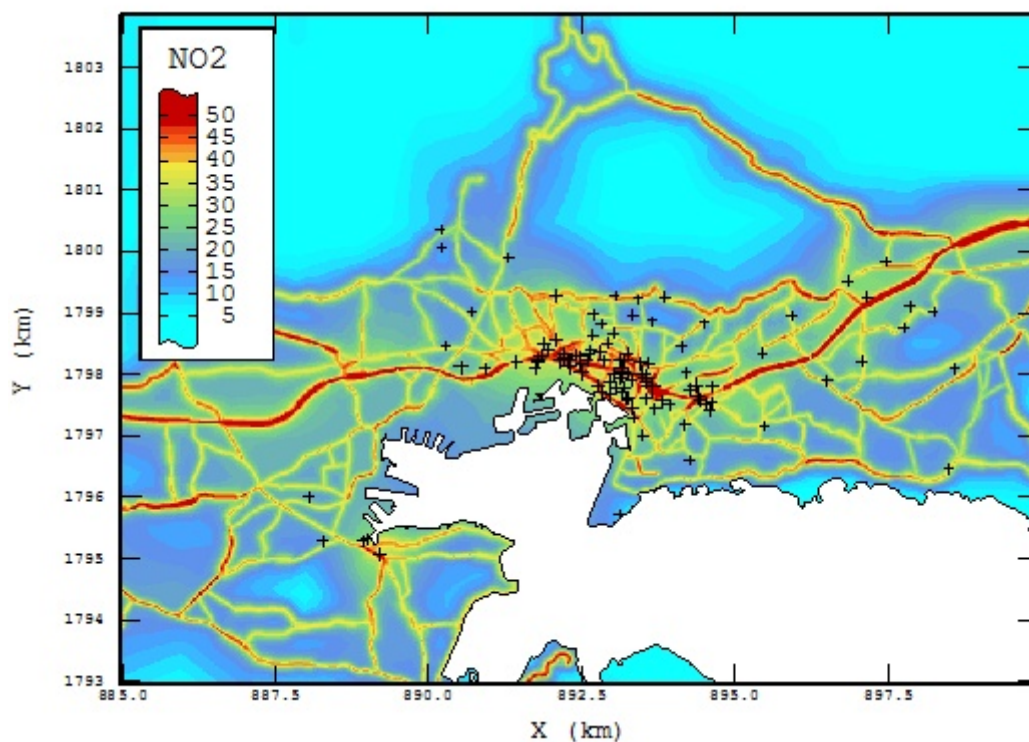


Figure 5 : Cartographie finale de la pollution en NO₂ (µg/m³) sur l'agglomération de Toulon, obtenue par sommation de la cartographie de fond et de la spatialisation des « sur-concentrations » de proximité routière.

Figure 5: Final NO₂ map (µg/m³), obtained from the summation of the background map and of the spatialized concentrations provided by the road model, corrected in order to be consistent with proximity measurements.