

1 Cartographie des mesures de NO₂

1.1 Problématique

1.1.1 Introduction

Dans le cadre de la protection de l'environnement et de l'observation des principes du développement durable en Suisse, des moyens ont été mis en place afin d'améliorer la qualité de l'air. Introduite en 1985, l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) prévoit qu'en cas de dépassements répétés des valeurs limites d'immission (VLI) de polluants, un plan de mesures d'assainissement de l'air doit être mis en place par l'autorité cantonale concernée. Dans le canton de Genève, qui connaît des dépassements des VLI pour les particules fines (PM10), le NO₂ et l'ozone depuis de nombreuses années, le service cantonal de protection de l'air (SCPA) est chargé d'établir ledit plan de mesures à l'intention du Conseil d'Etat. Il effectue aussi les mesurages des différents polluants présents dans l'air et informe les autorités ainsi que la population de ses résultats.

En complément des stations de mesure de la qualité de l'air, le SCPA dispose d'un réseau de près de 90 emplacements de capteurs passifs sur une zone mixte ville - campagne qui englobe toute l'agglomération genevoise et ses abords. Ce réseau de capteurs passifs permet d'obtenir, une fois par mois (deux fois par mois avant avril 2007), les valeurs moyennes d'immissions de NO₂. Afin d'être représentatifs de la pollution moyenne à laquelle la population est exposée dans une zone, et non des émissions directes des véhicules, les stations de mesure ainsi que les capteurs passifs ne sont pas placés aux bords de voies à fort trafic.

Sur la base de ces données, la moyenne annuelle point par point est calculée et une représentation cartographique des immissions est finalement effectuée au moyen d'un calcul mathématique.

C'est sur cet aspect mathématique qu'un travail a été entrepris dans le but de mieux rendre compte de la réalité de la pollution de l'air.

1.2 Méthodes d'interpolation

Lorsque l'on dispose d'un nombre limité de points de mesure pour représenter un phénomène de nature continue, comme par exemple la pollution de l'air, on a recours à des méthodes d'interpolation pour « remplir » les espaces entre les points de mesure. Une interpolation permet de déterminer la valeur d'un « nœud » à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Il existe deux groupes principaux de méthodes d'interpolation :

- les méthodes déterministes, qui utilisent des fonctions mathématiques;
- les méthodes géostatistiques, qui combinent des fonctions mathématiques et des données géo-référencées pour calculer les surfaces.

1.2.1 IDW (interpolation déterministe)

La méthode dite de l'« Inverse Distance Weighted » (IDW : pondération par l'inverse des distances) a été utilisée jusqu'à présent par le SCPA pour cartographier les concentrations en NO₂ issues du réseau de capteurs passifs. Elle suppose que l'influence de la variable

cartographiée décroît avec la distance qui la sépare de son emplacement d'échantillonnage. Certains paramètres peuvent être modifiés, pour rendre compte au mieux de la nature du phénomène à représenter :

- **paramètre « puissance »** : Il permet de contrôler l'importance des points connus sur les nœuds interpolés en déterminant une puissance à la distance (distance au carré, au cube, etc.). Ainsi, une puissance élevée privilégiera les points à proximité (surface obtenue caractérisée par un plus grand niveau de détails, « moins lisse ») alors qu'une puissance plus faible donnera davantage d'influence aux points plus éloignés (surface « plus lisse »);
- **paramètre « nombre de voisins »** : Il sert à définir le nombre de voisins à prendre en considération dans le calcul. Pour cela, on peut déterminer un nombre de voisins minimum, maximum, ou déterminer un rayon de recherche (fixe ou variable).

La figure ci-après montre une vue 3D effectuée avec cette méthode. Il en ressort la problématique des pics et des puits à l'endroit des points de mesure.

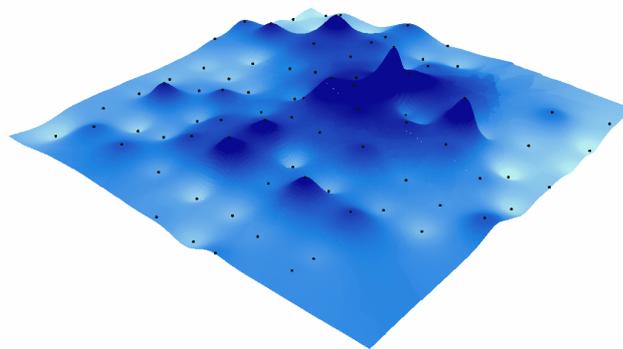


Figure 1. Vue 3D d'une surface, interpolée par IDW

1.2.2 Limites de la méthode IDW

La figure ci-dessous montre une carte (année 2003) obtenue avec la méthode IDW.

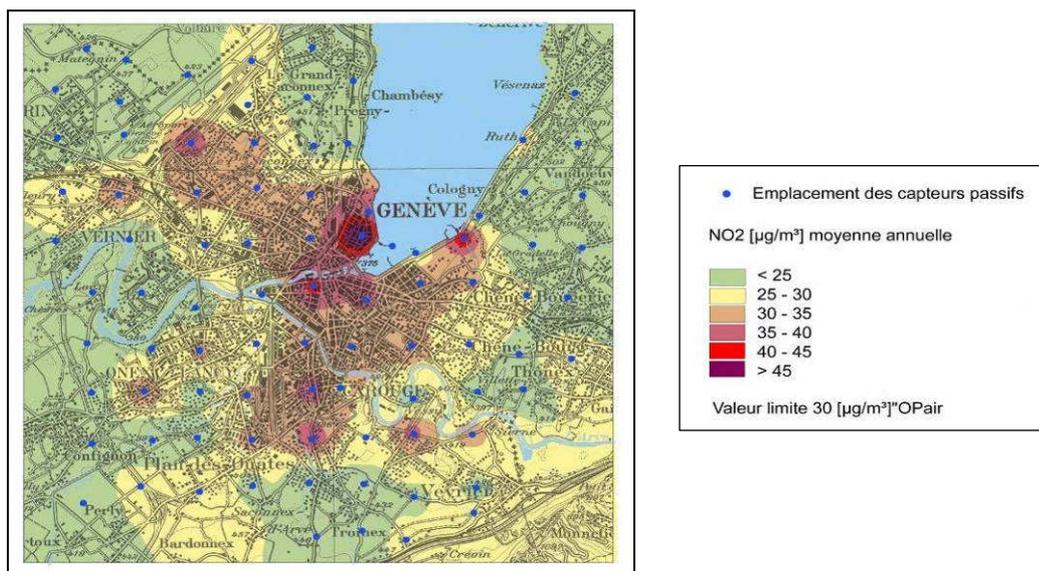


Figure 2. Concentration en NO₂ pour l'année 2003 (méthode IDW)

Avec cette méthode, le poids affecté aux données voisines les unes des autres est proportionnel à l'inverse de la distance entre le « nœud » et la donnée considérée. Plus la donnée est proche du « nœud », plus son poids augmente. Inversement, plus la donnée est

éloignée, moins elle aura de poids dans le calcul. Cette méthode est d'autant plus performante que la densité des points de mesure est importante.

La méthode IDW souffre cependant d'inconvénients majeurs :

- l'inconvénient principal est que la cartographie montre une surface où les points de mesure dont la concentration en polluants est localement plus élevée ou plus basse que les alentours immédiats apparaissent sous la forme de « pics » ou de « puits » de pollution. On voit alors des « bulles » autour de certains capteurs, qui représentent vraisemblablement une réalité déformée par la méthode mathématique utilisée pour élaborer la carte, mais probablement pas la pollution de fond;
- malgré le nombre élevé de points de mesure, on remarque que certaines zones où on pourrait s'attendre à une concentration élevée ne sont pas du tout ou irrégulièrement représentées. C'est par exemple le cas pour les régions proches des axes routiers. La méthode IDW ne permet pas de résoudre ce problème, à moins d'augmenter considérablement le nombre de capteurs passifs.

La méthode IDW, et les cartes de pollution qui en découlent, présentent certaines difficultés lorsqu'on souhaite représenter les zones où les concentrations en polluants sont relativement semblables :

- d'une part, il faut rendre compte du caractère continu de la pollution de l'air, en évitant de mettre en évidence des valeurs qui ne sont pas représentatives de la pollution moyenne dans une zone ;
- d'autre part, il faut intégrer les informations dont on dispose concernant les émissions de NO_x, qui sont susceptibles d'engendrer des concentrations de NO₂ localement plus élevées ou plus basses que les concentrations mesurées les plus proches.

Les limites de la méthode IDW et les contraintes fixées pour l'élaboration des cartes ont motivé la recherche d'autres méthodes d'interpolation, exposées ci-dessous.

1.2.3 Krigeage (interpolation géostatistique)

La géostatistique est une science de plus en plus utilisée pour cartographier la pollution de l'air. Une des méthodes géostatistiques est le « krigeage », qui a pour avantage de restituer la continuité spatiale du polluant dans l'expression cartographique.

Le krigeage est comparable à l'IDW dans la mesure où elle déduit, par pondération des points connus, des valeurs en tous lieux afin de rendre compte de l'aspect continu de la pollution de l'air.

La différence fondamentale entre les deux méthodes se situe au niveau du calcul de la pondération, celui du krigeage étant beaucoup plus sophistiqué. Il tient compte non seulement de la distance entre les points mesurés, mais aussi de la corrélation de leurs valeurs et de l'emplacement de la prévision. On utilise pour cela des fonctions de semi-variogramme et de covariance.

Le calcul se fait en deux étapes :

- on calcule tout d'abord les paramètres de l'entourage et la dépendance statistique des mesures. Ceci détermine la pondération λ de chaque point pour chaque nœud de la carte;
- on calcule ensuite une prévision pour chaque nœud.

Cette méthode utilise donc les données à deux reprises. La figure ci-après montre une vue 3D effectuée avec cette méthode. On voit que les effets de pics et de puits ont été grandement atténués.

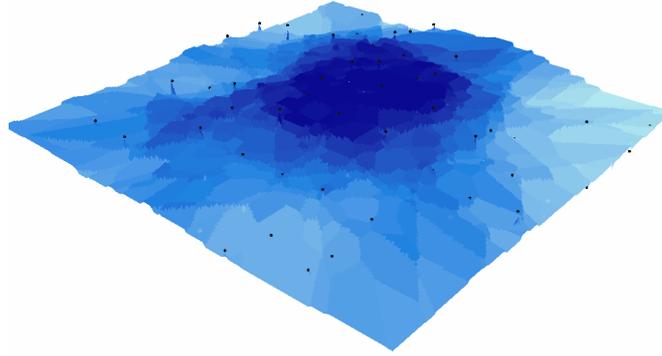


Figure 3. Vue 3D d'une surface, interpolée par krigeage

Cette méthode ne peut néanmoins pas apporter une information pertinente dans les zones peu couvertes. Ce manque est en partie comblé par la méthode ci-après qui effectue les calculs au moyen de sources d'informations complémentaires.

1.2.4 Krigeage avec dérive externe et co-krigeage (interpolation géostatistique avec intégration d'informations indirectes)

Afin d'améliorer la carte d'estimation, surtout dans les zones où la densité des données est la plus faible, la géostatistique peut permettre d'intégrer des informations apportées par des variables externes, liées à la concentration du polluant (comme les émissions du trafic, des activités industrielles ou des informations ayant trait aux conditions météorologiques). Les renseignements provenant de ces variables externes, appelées aussi variables « auxiliaires », permettent de compenser le manque d'information sur le polluant lui-même aux endroits non mesurés :

- lorsque la variable auxiliaire suit la forme générale du phénomène (comme la densité de population), on utilise la technique du « krigeage avec dérive externe ». On modélise la forme de la dérive externe, fondée sur la variable auxiliaire, puis on insère cette dérive externe dans le système du krigeage;
- lorsqu'il existe un lien direct entre la variable auxiliaire et le polluant, ce lien peut être pris en compte avec la technique du co-krigeage. Cela consiste à utiliser une grille de pondération spécifique à la problématique du NO₂ qui donne des informations supplémentaires sur le comportement spatial du phénomène.

Le SCPA utilise les sources d'émissions de NO_x comme variable auxiliaire, connaissant la relation : $NO_x = NO + NO_2$. Pour mettre en œuvre le co-krigeage, il faut modéliser les semi-variogrammes de la variable auxiliaire et du polluant. Le variogramme croisé mesure la corrélation des paires d'emplacement entre le polluant et la variable auxiliaire. Les poids optimaux à affecter aux données mesurées sont ainsi déterminés pour tous les nœuds, en tenant compte des deux types d'informations utilisées.

Par ailleurs, la géostatistique permet d'établir une carte de prédiction de l'incertitude de l'estimation. On constate sans surprise que la fiabilité des prédictions aux nœuds dépend de la densité des points de mesure situés autour d'eux.

En résumé, l'utilisation du co-krigeage proposée part du même principe qu'une pondération IDW mais, en plus de considérer la distance comme information extérieure, elle prend en compte l'emplacement du point de prédiction et l'agencement des points de mesure. Par ailleurs, le co-krigeage permet d'introduire, en plus de la variable principale (les mesures d'immission de NO₂), une variable secondaire (les émissions de NO_x) pour laquelle ces mêmes facteurs de distance et d'agencement sont calculés.

1.3 Résultats

Les figures présentées ci-dessous montrent, pour l'année 2006, une comparaison entre les cartes des immissions de NO₂ générées par les méthodes IDW et co-krigeage.

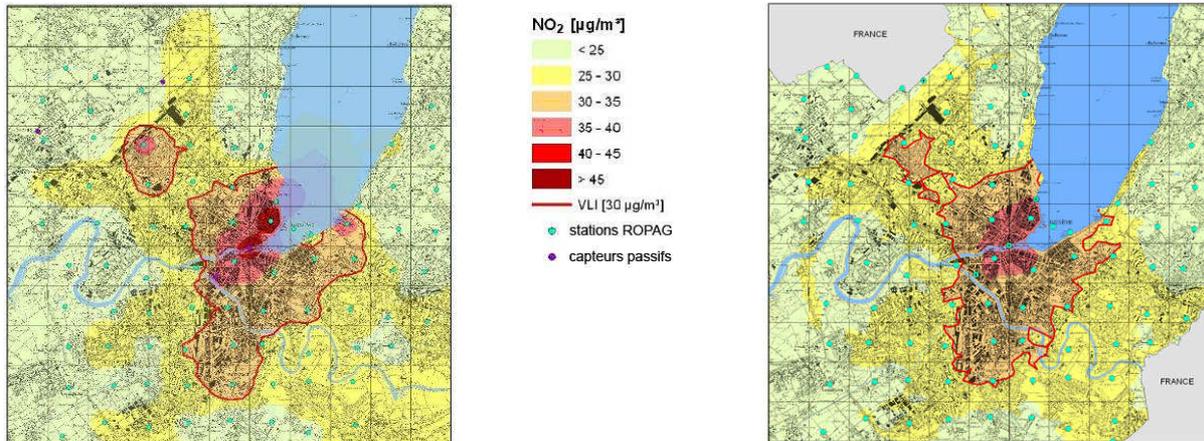


Figure 4. Comparaison pour l'année 2006 des cartes élaborées avec la méthode IDW (à gauche) et la méthode co-krigeage (à droite)

On remarquera que l'aspect général des cartes élaborées par chacune des deux méthodes est similaire. Le passage à la méthode du co-krigeage permet cependant de minimiser les problèmes induits par la méthode IDW (pics et puits, information manquante), ce qui permet de mieux rendre compte de l'aspect continu de la pollution de l'air.

La méthode du co-krigeage permettant d'obtenir des représentations plus proches de la réalité à partir des données livrées par le réseau de capteurs passifs, les cartes pour les années à venir seront élaborées exclusivement avec cette méthode.

De plus, cette méthode est suffisamment précise pour que l'on puisse utiliser une échelle plus fine que précédemment (pas de 2 µg/m³ au lieu de 5 µg/m³). Ceci permet, notamment, d'avoir une meilleure représentation des zones où les immissions sont proches de la VLI OPair annuelle de 30 µg/m³, comme le montre la figure de droite ci-dessous.

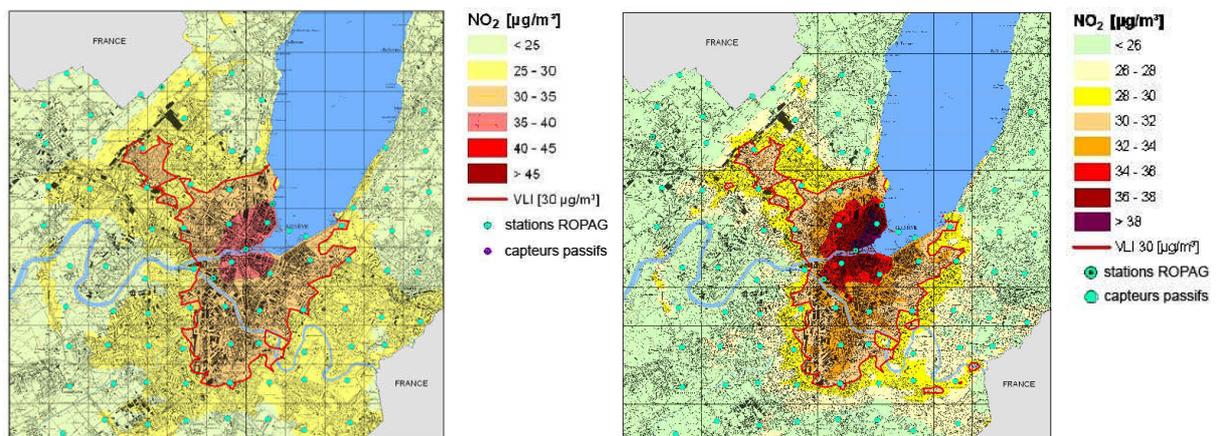


Figure 5. Comparaison pour l'année 2006 des cartes élaborées avec la méthode co-krigeage, avec un pas de 5 µg/m³ (à gauche) et un pas plus fin de 2 µg/m³ (à droite)