

# CONCENTRATIONS DE NO<sub>2</sub> A DIJON DURANT L'HIVER 1999: DEVELOPPEMENT D'UN SIG ET INFLUENCE DE LA METEOROLOGIE

N. LONG<sup>(1)</sup>, Y. RICHARD<sup>(1)</sup>, S. MONTEIRO<sup>(2)</sup>,  
JP. CHABIN<sup>(1)</sup> et V. MANNONE<sup>(3)</sup>

(1) *Centre de Recherche de Climatologie, CNRS-Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon – France. Tel. : 33-(0)3 80 39 38 22, E-mail : nathalie\_long@hotmail.com*

(2) *ATMOSF'Air, 5 rue Pasteur, 21000 Dijon – France. Tel. : 33-(0)3 80 38 92 31, E-mail : atmosfair@wanadoo.fr*

(3) *Laboratoire de géographie THEMA, Université de Bourgogne, 2 Bd Gabriel, 21000 Dijon – France. Tel : 33-(0)3 80 39*

## Résumé:

Une campagne de mesures des concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) par tubes à diffusion, effectuée par ATMOSF'air lors de l'hiver 1999, permet de réaliser une étude de la pollution sur l'agglomération de Dijon. Pour comprendre la répartition spatiale du NO<sub>2</sub> sur l'agglomération, les concentrations sont mises en relation avec les sources possibles de NO et la topographie à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), réalisé avec le logiciel MapInfo.

Les différentes couches du SIG sont croisées par régressions multiples, le NO<sub>2</sub> étant la variable expliquée. Les résultats attestent de la prévalence du trafic et de l'altitude sur les autres éléments considérés pour expliquer la répartition spatiale des concentrations en NO<sub>2</sub>. Une ACP montre également qu'il est nécessaire de nuancer les relations entre les variables du SIG. Enfin, les données météorologiques de Dijon-Longvic permettent d'expliquer les différences entre les six périodes de mesures tant au niveau des concentrations que de la répartition spatiale.

## Abstract:

A nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) measurements campaign, with passive diffusion tubes, realised by ATMOSF'Air during the winter 1999, allows to realise an atmospheric pollution study in the Dijon urban area. In order to understand the spatial NO<sub>2</sub> distribution in the urban area, NO<sub>2</sub> is correlated with NO emissions and topography thanks to a Geographical Information System (GIS).

With a multiple linear regression, NO<sub>2</sub> concentrations are explained principally by traffic and topography. A Principal Components Analysis shows the necessity to nuance the relation between these variables. So, the meteorological datas of Dijon-Longvic, could explain the different NO<sub>2</sub> distribution anomalies between the six periods.

**Mots clés:** Qualité de l'air, concentrations en milieu urbain, dioxyde d'azote, SIG, source de NO, topographie, météorologie.

**Key words:** Air quality, urban concentration, nitrogen dioxide, GIS, NO emissions, topography, meteorology.

## Introduction

La pollution atmosphérique est devenue un problème majeur en milieu urbain car les villes sont génératrices de pollution et regroupent également une grande majorité de la population, affectée par la mauvaise qualité de l'air. En France, des réseaux de surveillance des niveaux de pollution se sont mis en place. A Dijon, ce réseau se nomme ATMOSF'Air Bourgogne Centre Nord (Association Territoriale pour la Mesure, l'Observation, la Surveillance et la Formation dans le domaine de l'Air). Il assure la couverture de l'agglomération dijonnaise, constituée de 17 communes réparties autour de la ville-centre, Dijon (figure 1) et concentrant 240 000 habitants (1999, INSEE).

L'objectif de cette étude est de mettre en place un Système d'Information Géographique (SIG) pour analyser la répartition spatiale des concentrations de  $\text{NO}_2$  sur l'agglomération dijonnaise. Les taux de  $\text{NO}_2$  sont mis en relation avec les sources d'oxyde d'azote (NO) car le  $\text{NO}_2$  est formé par oxydation du NO (Bower *et al.*, 1994). D'autres facteurs peuvent également intervenir dans la répartition spatiale du  $\text{NO}_2$  comme la topographie ou les conditions météorologiques (Escourrou, 1996 et Hargreaves *et al.*, 2000).

Nous étudierons dans un premier temps, les relations entre les taux moyens de  $\text{NO}_2$ , les sources de NO et la topographie et dans un deuxième temps l'influence des conditions météorologiques sur les différentes configurations spatiales du  $\text{NO}_2$  durant la campagne de mesures.

### 1. Les données

Nous avons utilisé les mesures de  $\text{NO}_2$  provenant de la campagne de l'hiver 1999. Il y a eu 119 points de mesures répartis sur l'agglomération dijonnaise durant six

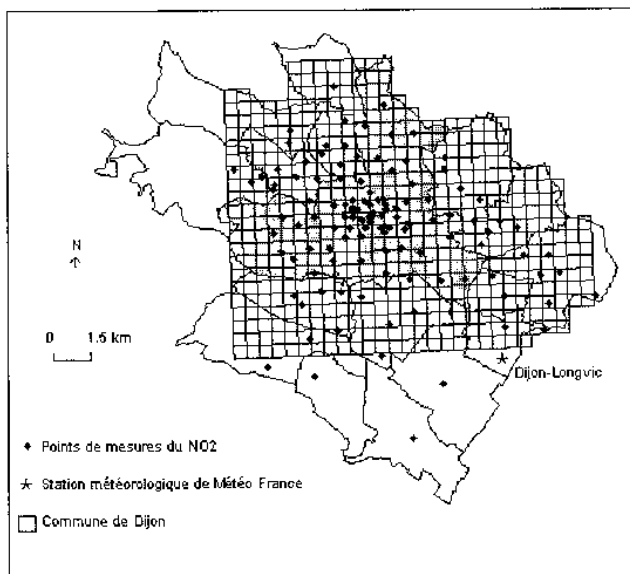


Figure 1: Carroyage et localisation de la station et des points de mesures lors de la campagne de l'hiver 1999, sur fond communal

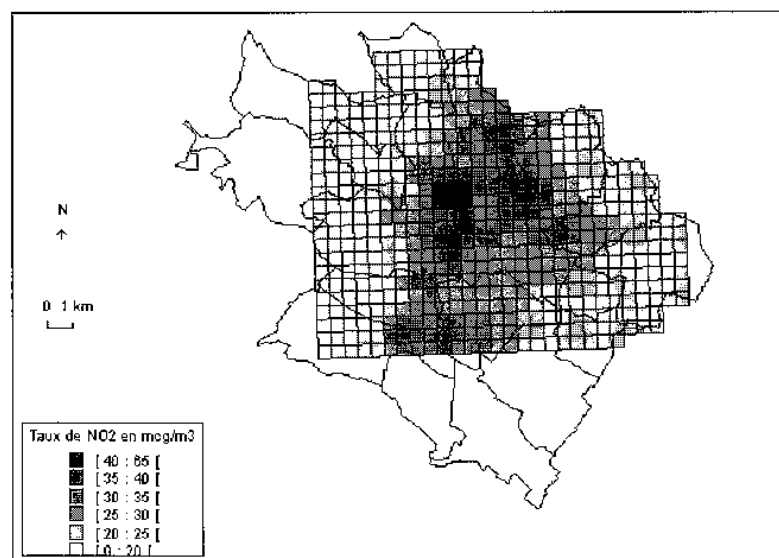
périodes successives de 15 jours, du 5 janvier 1999 au 28 mars 1999. Une interpolation entre ces 119 points a permis de donner une information à chaque cellule (500 m sur 500 m) du carroyage utilisé pour représenter les différents plans d'information du SIG (figure 1).

Les sources de NO sont représentées par 3 variables :

- le trafic : les données proviennent d'un modèle de la DDE (nombre de véhicules par jour pour chaque axe routier) ;
- le nombre d'habitants et d'emplois d'après les valeurs INSEE à l'îlot de 1990 (Sluyter, 1996) : ces deux variables représentent les émissions potentielles de NO dues à la présence de population (chauffage, feu de cheminée...).

Pour la topographie, nous avons utilisé un plan de l'agglomération, fourni par l'Agence d'Urbanisme de Dijon, où apparaissaient les courbes de niveaux. Une altitude moyenne a ensuite été calculée pour chaque cellule du carroyage.

Enfin, les données météorologiques proviennent du centre départemental de Météo-France situé à Dijon-Longvic, au sud-est de l'agglomération dijonnaise. Les températures, la direction du vent et sa vitesse sont les trois paramètres retenus. Les températures minimales relevées à Détain-et-Bruant (à 30 km au sud-ouest de Dijon et à 619 m d'altitude) sont également utilisées pour mettre en évidence les inversions thermiques. Ces paramètres sont mis en relation avec des mesures de NO<sub>2</sub> réalisées en continu, au pas de temps horaire, dans une station fixe du réseau (Pasteur) située en centre-ville. Ce dernier paramètre ne peut être intégré au SIG car on ne dispose que d'un seul point de mesures dans l'espace.



**Figure 2: Concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> observées sur l'agglomération dijonnaise durant l'hiver 1999**

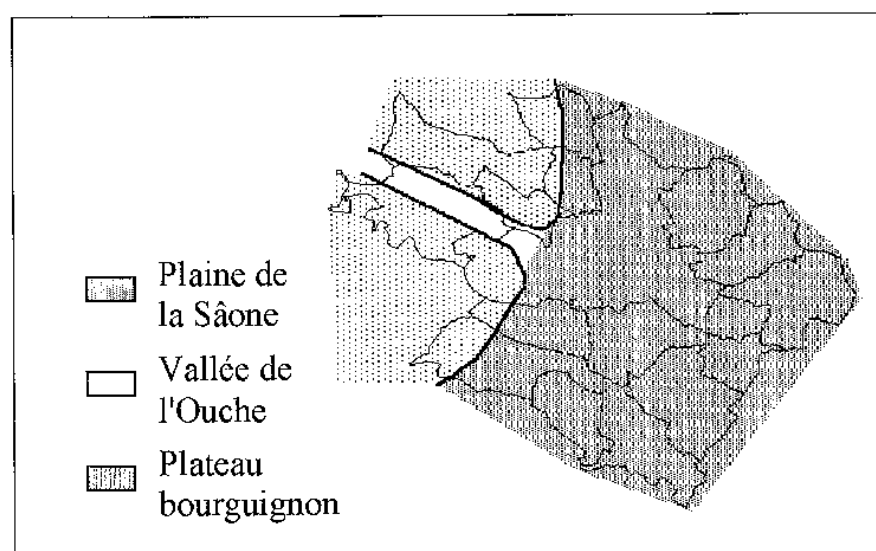
## 2. Répartition moyenne: relations entre les variables du SIG

### 2.1 Simulation des concentrations de NO<sub>2</sub>

La pollution au NO<sub>2</sub> sur l'agglomération dijonnaise durant l'hiver 1999 n'est pas très élevée mais il reste tout de même important d'identifier les zones les plus touchées.

La commune de Dijon –du centre-ville de Dijon aux quartiers nord de la commune– est la plus concernée par la pollution au  $\text{NO}_2$  (figure 2).

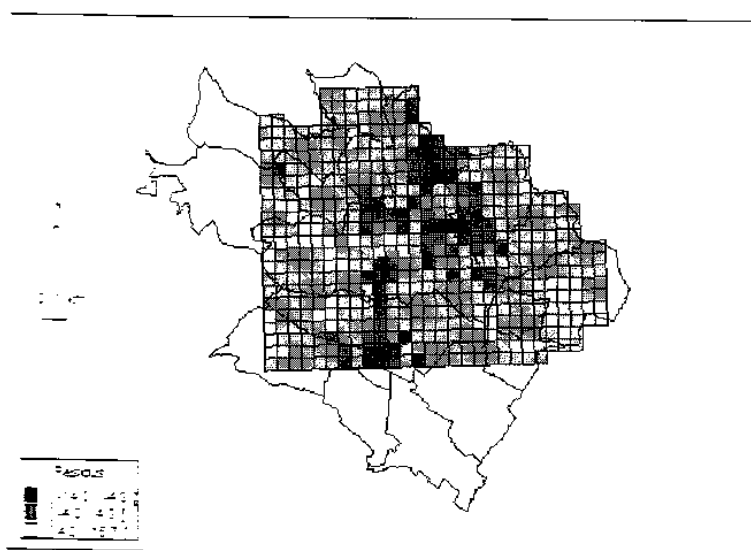
Les différents plans d'information du SIG ne peuvent pas être présentés dans cette étude. La répartition des variables  $\text{NO}_2$ , population et emplois, obéit à un gradient centre/périphérie avec des valeurs élevées sur le centre-ville et la commune de Dijon. L'infrastructure routière est dissymétrique: l'est de l'agglomération est bien desservi alors que l'ouest se caractérise par un réseau routier de moindre densité. Ce contraste est à mettre en relation avec les caractéristiques topographiques du site: à l'est, la plaine de la Saône ne présente aucun obstacle à l'extension de l'agglomération alors qu'à l'ouest, le plateau du seuil de Bourgogne et la vallée de l'Ouche offrent de plus fortes contraintes (figure 3).



Une régression linéaire multiple permet de mettre en relation les concentrations de  $\text{NO}_2$  moyennées sur l'ensemble de la campagne (variable expliquée) avec les sources de NO et la topographie (variables explicatives).

Avec ce modèle on obtient 62% de variance expliquée, la variable population est exclue du modèle car elle apparaît redondante par rapport aux autres variables. Si on compare la carte des concentrations de  $\text{NO}_2$  observées (figure 2) et celle des taux de  $\text{NO}_2$  simulés (non représentée ici), on retrouve des taux élevés sur les mêmes quartiers, mais la carte des valeurs simulées est beaucoup plus bruitée. C'est pourquoi la carte des résidus (figure 4) a été analysée afin d'identifier les zones où la différence entre l'observation et la simulation est la plus importante. On identifie une zone de résidus positifs, c'est-à-dire une zone où le modèle prévoit des taux de  $\text{NO}_2$  inférieurs aux données observées, correspondant aux quartiers où les concentrations de  $\text{NO}_2$  sont les plus élevées. Les résidus positifs se situent généralement entre les axes routiers, sur des cellules à faible trafic. En effet, dans ces secteurs, les taux de  $\text{NO}_2$  sont élevés car la pollution ne se limite pas à l'axe routier mais se disperse de part et d'autre. Or notre modèle ne prend pas en compte le phénomène de contiguïté. Il ne peut donc pas simu-

ter de pollution sur les cellules à faible trafic mais polluées par les grands axes environnants. Apparaissent également des poches de résidus négatifs, dont une centrée sur l'est de l'agglomération. Cette dernière est apparue lorsqu'on a introduit la variable « altitude » dans le modèle. Cette introduction a permis une amélioration de la simulation sur l'ouest de l'agglomération (en altitude) mais semble introduire un biais sur l'est (en plaine). Il semblerait ainsi que les facteurs explicatifs n'aient partout pas la même influence. La zone d'étude n'est évidemment pas un milieu homogène notamment en ce qui concerne la densité des habitations et l'infrastructure routière. C'est pourquoi on a réalisé une analyse en composantes principales (ACP) pour essayer de déterminer des zones homogènes au sein de l'agglomération.



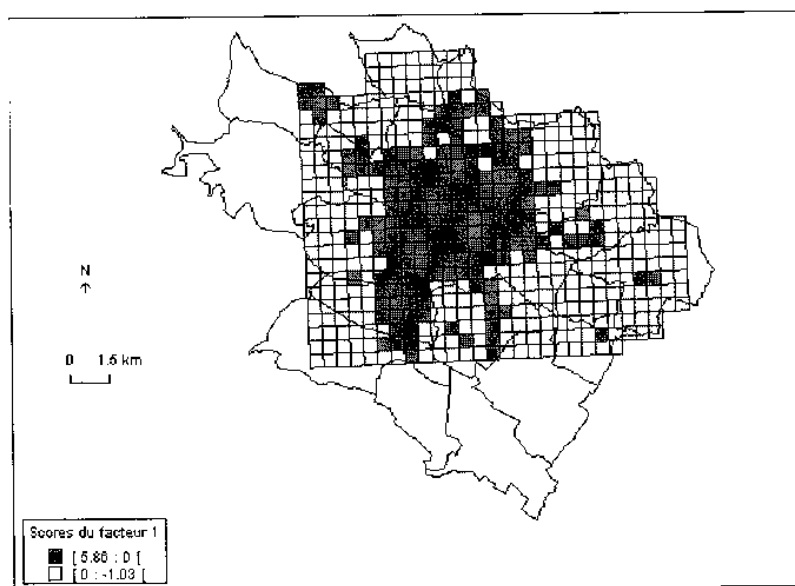
**Figure 4: Résidus de la régression**

## 2.2 Le rôle particulier de l'altitude

L'ACP est réalisée avec comme variables les 5 plans d'informations du SIG (taux moyen de  $\text{NO}_2$  sur l'hiver 1999, population, emplois, trafic et altitude) et 517 observations (les cellules du carroyage). Après analyse des résultats, il s'est avéré nécessaire d'utiliser une rotation (Varimax) afin d'améliorer la répartition de l'information sur les deux premiers axes retenus selon les critères de Kaiser (1958).

Le premier axe explique 50% de la variance. Les variables emplois, population et taux de  $\text{NO}_2$  sont corrélées positivement à ce premier facteur. La cartographie des scores montre une opposition entre la commune de Dijon et les communes périphériques (figure 5). Ainsi, lorsque les sources de  $\text{NO}$  sont importantes, les concentrations de  $\text{NO}_2$  le sont également et inversement. On peut donc en conclure que sur la commune de Dijon, les concentrations de  $\text{NO}_2$  semblent liées aux sources de  $\text{NO}$ .

Le deuxième axe explique 20% de la variance totale. Une opposition apparaît entre l'altitude, corrélée positivement avec l'axe, et le taux de  $\text{NO}_2$ , corrélée négativement. Une cartographie des scores montre une opposition entre l'est et l'ouest de



**Figure 5: Scores du premier facteur de l'ACP avec rotation**

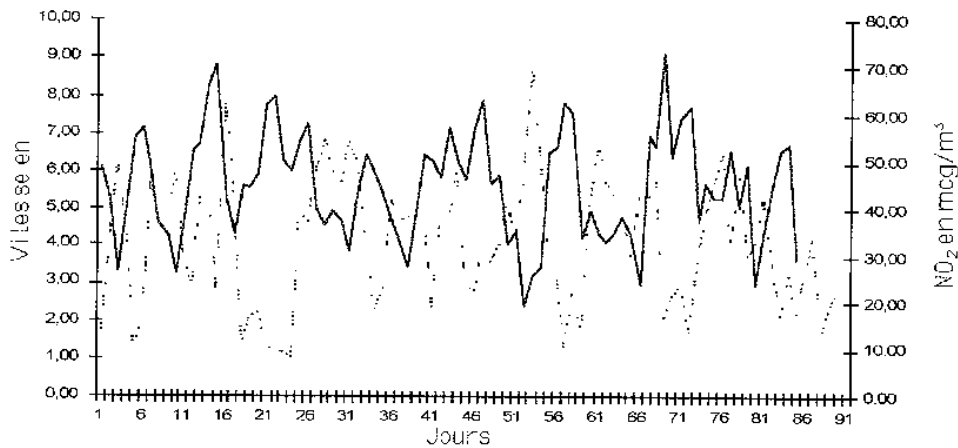
l'agglomération (non représentée ici). Ainsi, lorsque l'altitude augmente, les taux de  $\text{NO}_2$  diminuent et réciproquement. Les concentrations de  $\text{NO}_2$  semblent liées à l'altitude sans dépendre directement des sources de  $\text{NO}$ .

Les quatre variables considérées permettent globalement d'expliquer la répartition moyenne des taux de  $\text{NO}_2$  sur l'agglomération dijonnaise. L'ACP permet de mettre en évidence le rôle de l'altitude là où les dénivelés sont les plus marqués. Cependant, ces facteurs constants dans le temps, ne permettent pas d'expliquer les variations des configurations spatiales des taux de  $\text{NO}_2$  sur les six périodes. Ces variations de concentrations en terme de niveau moyen et de configurations spatiales sont à mettre en relation avec un autre facteur : la météorologie.

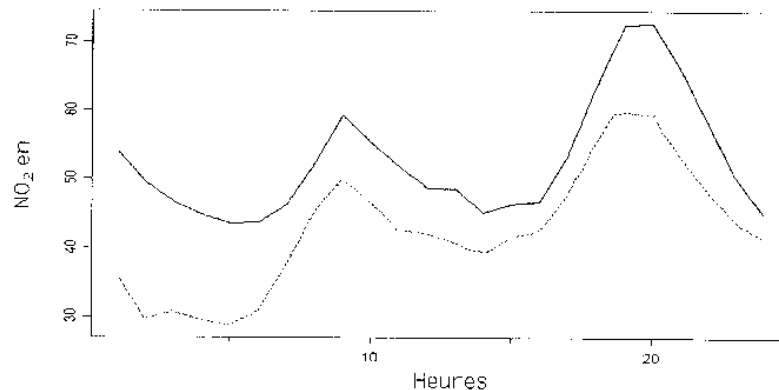
### 3. Le caractère épisodique: influence des conditions météorologiques

Trois paramètres météorologiques peuvent intervenir dans la dispersion et le transport de la pollution: la direction du vent et sa vitesse et les inversions de températures (Bower *et al.*, 1997). Les fréquences des directions de vent (rose de 8) ont été calculées pour les six périodes. On remarque que lorsque la fréquence des vents de nord est la plus élevée durant la période, des anomalies positives de pollution sont centrées sur le sud de l'agglomération. En contre partie, par vent de sud, les concentrations de  $\text{NO}_2$  sont plus élevées que la moyenne sur le nord de l'agglomération. Enfin, avec un flux d'ouest important, les taux de  $\text{NO}_2$  sont supérieurs à la moyenne sur l'est de l'agglomération. On peut établir une relation entre la direction du vent et la répartition spatiale des écarts à la moyenne des taux de  $\text{NO}_2$ . Toutefois cette relation n'est pas systématique: pour une même direction de vent, on peut avoir deux configurations spatiales différentes. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'on tient compte de la somme des conditions météorologiques sur 15 jours et il y a plusieurs types de circulation qui peuvent être combinés durant chaque période (Bénichou, 1995).

La vitesse du vent peut intervenir sur le niveau des concentrations de  $\text{NO}_2$ . Si on compare les moyennes de la vitesse du vent et des taux de  $\text{NO}_2$  pour chacune des six périodes, on n'obtient aucun résultat. Cependant, si on change le pas de temps, il semble qu'il existe une relation entre la vitesse du vent et le niveau de pollution au pas de temps journalier (figure 6). En effet, la vitesse du vent mesurée à Dijon-Longvic (figure 1) et les taux de  $\text{NO}_2$  mesurés dans une station fixe du réseau (Pasteur) située en centre-ville, sont corrélés négativement ( $-0.57$ ).



**Figure 6: Moyennes quotidiennes des taux de  $\text{NO}_2$  à Pasteur (trait plein) et de la vitesse du vent à Dijon-Longvic (tiret) du 1<sup>er</sup> janvier 1999 au 31 mars 1999**



**Figure 7: Régime du taux de  $\text{NO}_2$  à Pasteur lors d'une journée avec inversions thermiques (trait plein) et lors d'une journée en condition normale (tiret)**

Enfin, les inversions thermiques peuvent également avoir une influence sur les niveaux de concentrations de la pollution car elles limitent sa dispersion en altitude. Les jours d'inversions thermiques correspondent aux jours où la température minimale de Détain-et-Bruant (619 m) était supérieure à celle de Dijon-Longvic (219 m). D'après la figure 7, on remarque que les jours d'inversion thermique présentent des taux de  $\text{NO}_2$  supérieurs à ceux mesurés en condition moyenne.

## Conclusion

L'utilisation d'un SIG dans cette étude a permis d'établir une relation dans l'espace entre les sources de NO, la topographie et les concentrations de NO<sub>2</sub>. Un modèle statistique (régression multiple) permet de prendre en compte 62% de la variance totale. L'étude de la répartition spatiale des résidus a permis de mettre en évidence les limites de ce modèle : le décalage temporel entre les variables et le phénomène de contiguïté entre les cellules qui n'est pas pris en compte. Cependant, une ACP a permis de nuancer ces relations : les concentrations de NO<sub>2</sub> ne dépendent pas toujours des mêmes facteurs. En effet, sur le centre et les quartiers péri-centraux de Dijon, les taux de NO<sub>2</sub> sont liés aux sources de NO; par contre, sur le reste de l'agglomération y compris l'ouest de la commune de Dijon, le rôle joué par l'altitude semble prédominant, les concentrations de NO<sub>2</sub> évoluant inversement par rapport à l'altitude

Enfin, l'influence des conditions météorologiques a été difficile à montrer à cause du pas de temps utilisé pour effectuer les mesures de NO<sub>2</sub>. Toutefois, la direction du vent semble avoir une influence sur la répartition de la pollution sur l'agglomération, tandis que la vitesse du vent et les inversions thermiques ont plutôt un impact sur le niveau des.

## Bibliographie:

- BENICHOU P., 1995: *Classification automatique de configurations météorologiques sur l'Europe occidentale*, Monographie No 8, Météo-France, 94 p.
- BOWER, J.S., BROUGHTON, G.F.J., STEDMAN, J.R., 1994 : A winter NO<sub>2</sub> smog episode in the U.K., *Atmospheric Environment*, 28, 3, 461-475.
- ESCOURROU, G., 1996: *Transports, contraintes climatiques et pollution*, Editions SEDES, 172 p.
- HARGREAVES, P.R., LEIDI, A., GRUBB, H.J., HOWE, M.T., MUGGLESTONE, M.A., 2000: Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Romthasted, UK, and relationships with meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 34, 843-853.
- KAISER, R., 1958: *The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis*, *Psychometrika*, 23, 3, 187-200.
- LONG, N., 2000: *Le dioxyde d'azote sur l'agglomération dijonnaise : développement d'un SIG et impacts des conditions météorologiques*, mémoire de DEA, Université de Bourgogne, 50 p.
- SLUYTER, R., 1996: La pollution atmosphérique dans les villes d'Europe. *Bulletin de l'OMM*, 45, 2, 140-145.