EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS D'OZONE PENDANT LES EPISODES PHOTOCHIMIQUES DANS LES ALPES-MARITIMES

MARTIN N[1], CARREGA P[2]

[1]*Université de Nice-Sophia, équipe G.V.E. de l'UMR Espace 6012 du CNRS, 98 Bd E. Herriot, 06204 Nice cedex 3, France, nicolas.martin@unice.fr*
[2] *Université de Nice-Sophia, équipe G.V.E. de l'UMR Espace 6012 du CNRS, 98 Bd E. Herriot, 06204 Nice cedex 3, France, pierre.carrega@unice.fr*

Résumé – *La pollution par l'ozone affecte régulièrement les Alpes-Maritimes entre avril et septembre chaque année. Ces épisodes dits photochimiques sont des périodes pendant lesquelles les concentrations d'ozone sont nettement supérieures au niveau de fond de ce polluant secondaire dans la troposphère. Entre 1998 et 2009 l'ensemble des épisodes ont été recensés dans le département afin de caractériser l'évolution des concentrations de l'ozone au fil des jours de J-1 à J+i (i étant le dernier jour de pollution par l'ozone). Il semblerait que le comportement de l'ozone jour après jour soit plus commandé par l'évolution de certaines variables météorologiques à macro-échelle plutôt que par les variations météorologiques à fine échelle. Par ailleurs, sur cet échantillon de 12 saisons photochimiques, une tendance à la diminution de l'intensité des pics d'ozone s'observe ; cette évolution pourrait être liée à la baisse des émissions de polluants primaires.*

Mots-Clés *: échelles temporelles, évolutions des concentrations d'ozone, normes européennes d'émission Euro*

Abstract - *Temporal evolution of ozone concentrations during photochemical episodes in the Alpes-Maritimes*
The ozone pollution affects regularly the Alpes-Maritimes between April and September every year. These episodes said photochemical are periods during which the ozone concentrations are sharply superior to the background ozone concentrations in the troposphere. Between 1998 and 2009 all the episodes was listed in the department to characterize the evolution of the ozone concentrations in the course of the days of J-1 to J+i (i being the last day of ozone pollution). It would seem that the ozone behaviour day after day is more ordered by the evolution of certain meteorological variables at macro-scale rather than by the meteorological variations at fine scale. Besides, on this sample of 12 photochemical seasons, a trend to the decrease of the intensity of the ozone peaks observes; this evolution could be connected to the decline of the primary pollutant emissions.

Keywords *: temporal scales, ozone concentrations trends, european emissions standards Euro*

Introduction

L'ozone troposphérique est un polluant atmosphérique secondaire qui est produit par des réactions photochimiques, sous l'impulsion d'un rayonnement ultraviolet, entre des polluants dits primaires d'origines anthropique ou biogénique directement rejetés dans l'atmosphère (oxydes d'azote, monoxyde de carbone, méthane et composés organiques volatils pour l'essentiel). Dans l'hémisphère nord et aux latitudes moyennes la saison dite photochimique s'étale généralement d'avril à septembre. Au cours de conditions météorologiques anticycloniques la diffusion horizontale et verticale des polluants ne suffit pas à les diluer correctement (Martin, 2008). En effet au cours de ces périodes de temps un régime de brises thermiques provoque, fréquemment, un aller-retour de la même masse d'air au dessus du même espace. Ainsi les polluants s'accumulent au fil des jours conduisant à un épisode de pollution par l'ozone.

Le comportement des concentrations d'ozone au cours d'une période propice à l'apparition de pics mérite une approche à deux échelles temporelles. D'une part, à court terme, l'étude des concentrations d'ozone au fil d'un épisode photochimique, depuis la veille de l'épisode (J-1) jusqu'au dernier jour (J+i) présente une progression régulière pendant les tous premiers jours avant d'atteindre un plafond. D'autre part sur 12 années de suivi de la pollution par l'ozone dans le réseau d'Atmopaca au sein des Alpes-Maritimes, il semblerait qu'une tendance à la diminution de l'intensité des pics soit observable. Mais quels sont les facteurs qui régissent ces évolutions à court et moyen termes ?

1. Impact de la persistance des anticyclones sur la pollution par l'ozone.

Au total 12 saisons photochimiques ont servi d'échantillon pour appréhender la hausse des niveaux d'ozone pendant une séquence de jours pollués. Malheureusement sur l'ensemble du réseau de mesures d'Atmopaca, les stations (14 au total) n'ont pas toutes fonctionné en continu au cours de cette période (fig. 1). Cependant certaines ont été pérennes donnant ainsi plus de robustesse aux résultats statistiques exposés plus loin.

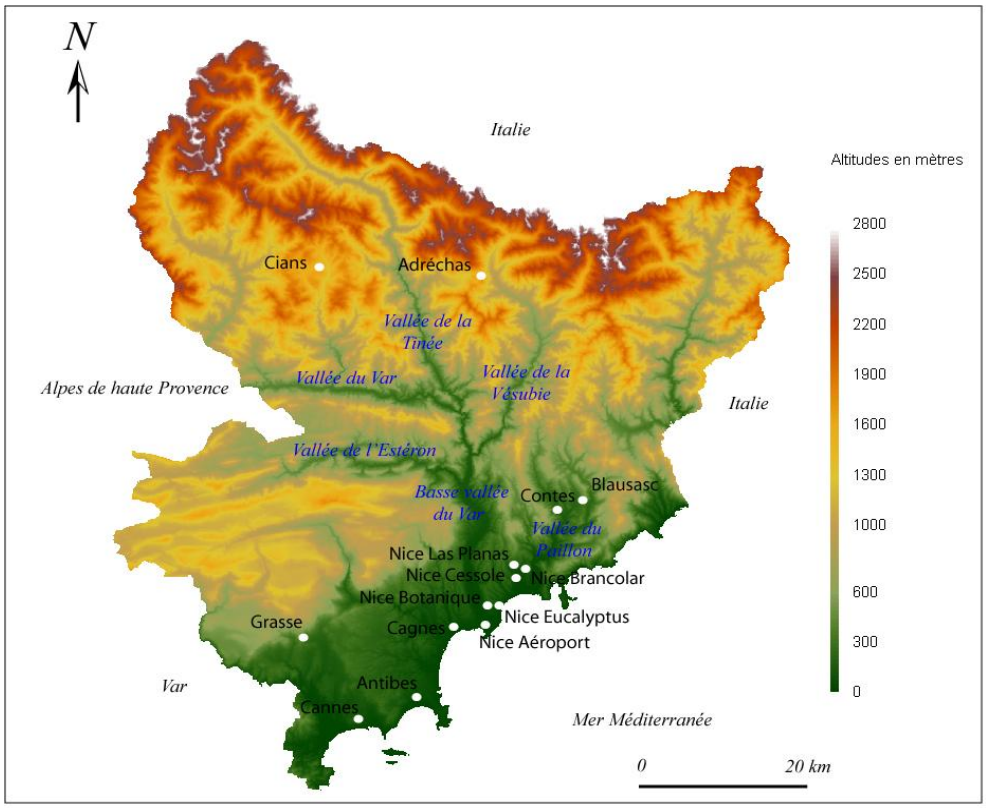


Figure 1. Localisation des analyseurs d'ozone d'Atmopaca dans les Alpes-Maritimes entre 1998 et 2009.

1.1. *Sélection des ensembles de jours définissant un épisode photochimique.*

Afin de délimiter les séquences de jours qui serviront de socle à cette analyse, l'observation croisée du geopotentiel 500 hPa et des concentrations horaires maximales d'ozone dans le réseau d'AtmoPACA permet d'identifier le jour J et les jours suivants jusqu'au terme de la période polluée. Arbitrairement le seuil des 150 µg/m^3 a été retenu pour définir le caractère pollué d'un groupe de jours. Si une des concentrations horaires maximales dépasse cette valeur durant au moins une journée, alors le groupe de jours est considéré comme pollué. Le nombre d'épisodes photochimiques et leurs durées sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. Nombre d'épisodes photochimiques recensés dans les Alpes-Maritimes entre 1998 et 2009. Leurs durées sont indiquées et un découpage temporel est effectué afin de respecter l'évolution des normes d'émissions polluantes Euro (Euro 2 jusqu'en 2000, puis Euro 3 jusqu'en 2005 et Euro 4 dès 2006).

	Episodes de 2 jours	Episodes de 3 jours	Episodes de 4 jours	Episodes de 5 jours
1998 à 2000	14	13	8	6
2001 à 2005	39	29	15	12
2006 à 2009	23	11	10	5
Total sur 12 ans	**76**	**53**	**33**	**23**

1.2. *L'évolution des concentrations au fil des jours.*

Les concentrations moyennes horaires maximales d'ozone ont été calculées pour les 14 analyseurs d'ozone d'Atmopaca installés dans le département pour chaque jour d'une séquence de pollution depuis le jour J-1 jusqu'à J+3, J+4 et J+5 en fonction du nombre d'épisodes sélectionnés ; le comportement moyen observé dans l'ensemble du réseau en fonction du nombre de séquences polluées retenues est également déterminé (fig. 2). De manière générale les niveaux d'ozone augmentent dès le premier jour de l'épisode (J). Plusieurs comportements au cours de la période de pollution sont enregistrés selon la station de suivi considérée, toutefois l'évolution moyenne de l'ozone de J à J+3 est la même quelque soit le nombre d'évènements retenus pour établir cet aspect moyen. Les plus fortes différences s'expriment entre J-1/J, J/J+1 et J+1/J+2 avec une hausse moyenne sur le réseau de mesures de plus de 10 µg/m^3 dans chaque cas, puis elles sont moins sensibles entre les jours suivants tout en suivant, parfois (pour les épisodes de 4 jours et plus) une tendance légèrement croissante.

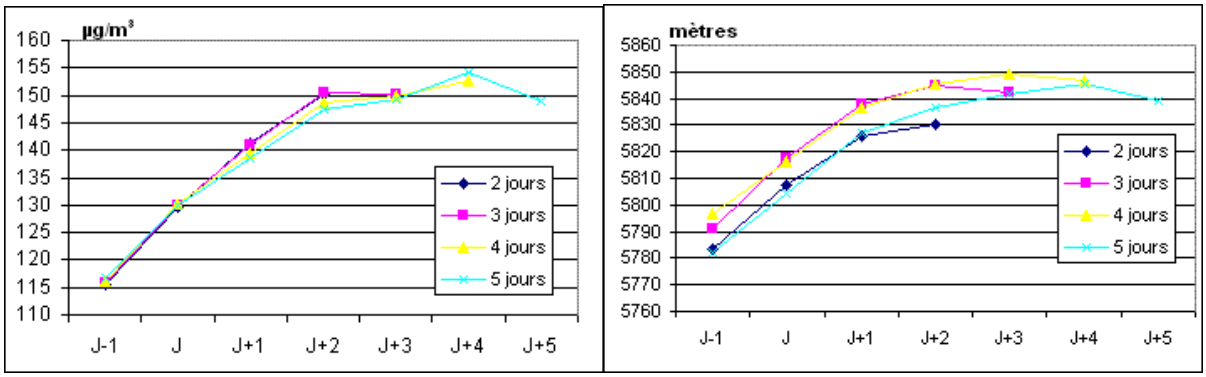


Figure 2.Comportement moyen de l'ozone dans l'ensemble du réseau en fonction de la durée de l'épisode de pollution par l'ozone entre 1998 et 2009 dans les Alpes-Maritimes (à gauche). Evolution de l'altitude de la surface 500 hPa au dessus des Alpes-Maritimes pendant une séquence de jours pollués par l'ozone entre 1998 et 2009 (à droite).

1.3. *La prégnance des conditions météorologiques à macro-échelle.*

Les facteurs régissant l'intensité de la pollution de l'air sont de deux types. En premier lieu les émissions issues de diverses sources permettent de connaître le « stock » de polluants atmosphériques ; cet aspect sera débattu dans la 2ème partie. Une fois émis, ces polluants sont plus ou moins bien dilués dans la troposphère selon les conditions météorologiques du moment à plusieurs échelles spatiales. Quelle est alors l'échelle spatiale la plus adéquate pour expliquer l'évolution des concentrations d'ozone au cours d'un épisode photochimique ? Sans apporter de véritables réponses à cette interrogation il est nécessaire de rappeler que l'expression de la micro-échelle est permise par la macro-échelle (Carrega, 2004). Autrement dit pour que localement un type de temps propice à l'occurrence de fortes concentrations d'ozone se produise, il faut que la circulation atmosphérique en amont y soit favorable.

Ainsi le comportement moyen sur 12 ans du geopotentiel 500 hPa (données issues des réanalyses du NCEP, Kalnay, 1996) est calculé dans le but de mieux comprendre l'évolution des concentrations d'ozone durant un épisode de pollution (fig. 2). L'altitude de la surface 500 hPa est la variable météorologique la plus démonstrative pour caractériser la circulation atmosphérique mais également la variable la plus fortement corrélée avec les concentrations d'ozone dans les Alpes-Maritimes (Martin, 2007). Son évolution est parfaitement superposable à celle du polluant secondaire. Les plus fortes hausses d'altitude s'observent

entre J-1/J et J/J+1 (+25 m en moyenne) pour ensuite s'atténuer dès J+2. Il semblerait donc qu'un effet d'inertie provoque entre J+1 et J+2 une forte hausse de l'ozone alors même que le géopotentiel 500 hPa n'est que peu renforcé. Ceci semble pouvoir s'expliquer par une accumulation des polluants primaires et secondaires dans l'atmosphère. A l'opposé dès lors que la dorsale anticyclonique s'affaiblit, les concentrations d'ozone déclinent de manière synchrone cette fois. La comparaison des deux graphiques montre une covariation forte entre l'ozone et le geopotentiel 500 hPa. D'autres variables météorologiques, notamment à fine échelle (température, température du point de rosée, humidité relative, vitesse du vent, pression de surface) ont fait l'objet d'une étude similaire sans que de telles covariations soient observées.

Pour conclure sur l'aspect météorologique d'un épisode d'ozone, il paraît clair que l'évolution de ce polluant est liée à la progression d'une dorsale anticyclonique sur les Alpes-Maritimes et à sa plus ou moins longue persistance. Ces conditions à macro-échelle induisent un mauvais brassage de l'air localement. Toutefois, comme il existe toujours des exceptions, quelques cas de circulations atmosphériques semblables n'ont pas entraîné une hausse de l'ozone dans le département en raison de nuages bas notamment (Martin, 2007). La persistance d'un anticyclone est donc une condition nécessaire mais non suffisante.

2. L'intensité des pics d'ozone et leur tendance à moyen terme.

Outre la capacité des phénomènes météorologiques à diluer les polluants, la concentration de l'ozone dépend aussi de la quantité de précurseurs émis. Depuis plus de 20 ans des efforts sont consentis par les sociétés et par les industriels afin de minimiser ces émissions de polluants primaires. Des lois ont été instaurées pour les véhicules motorisés (fonctionnant avec des combustibles fossiles) et une réglementation dénommée « normes européennes d'émissions Euro » a été introduite dès 1988 (Euro 0) ; aujourd'hui la 4è version Euro est en vigueur. Les polluants assujettis à cette réglementation sont les oxydes d'azotes (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures méthaniques (COVM) et non méthaniques (COVNM) et les particules (PM). A chaque instauration d'une nouvelle version des normes Euro les émissions polluantes sont de plus en plus réduites.

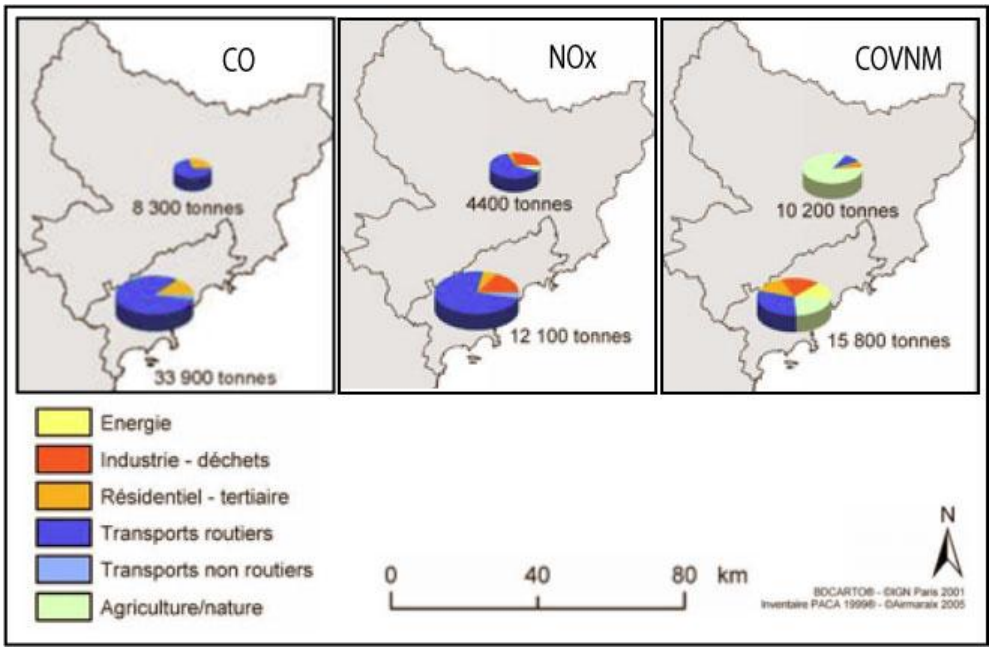


Figure 3. Emissions annuelles de CO, de NO_x et de COVNM en tonnes dans la zone urbanisée et dans le reste des Alpes-Maritimes en 1999 (source : Atmopaca, 2005).

Dans les Alpes-Maritimes la très faible activité industrielle laisse penser que la production locale d'ozone est majoritairement dépendante des émissions des transports et des forêts (fig. 3). Quel a donc été l'impact de cette réglementation européenne sur les pics ?

2.1. *De la norme Euro 2 à la norme Euro 4.*

Entre 1998 et 2009, période pendant laquelle 3 stations d'ozone (Nice Botanique, Cannes Broussailles et Antibes Jean Moulin) ont fonctionné en continu, les normes d'émissions européennes sont passées d'Euro 2 (jusqu'en 2000 inclus) à Euro 4 (depuis début 2006). L'évolution des concentrations horaires maximales d'ozone au cours des épisodes photochimiques méritent donc d'être étudiées selon un découpage en trois temps : de 1998 à 2000, de 2001 à 2005 et de 2006 à 2009.

Par ailleurs l'hypothèse selon laquelle le durcissement des normes aurait une influence sur les niveaux de pollution atmosphérique, notamment sur ceux de l'ozone, se heurte à un facteur limitant : seuls les véhicules neufs respectent en effet les nouvelles normes Euro lors de leurs applications. En fonction de la vitesse de renouvellement du parc automobile l'impact pourrait donc présenter un décalage temporel. Cependant les effets de ces normes sont bien réels sur les quantités de polluants rejetés dans l'atmosphère : le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) élabore chaque année un inventaire des émissions par polluant (CITEPA, 2009). La tendance est nettement à la baisse depuis le début des années 90 pour l'ensemble des précurseurs de l'ozone à l'échelle de la France tous secteurs confondus (-63% pour le CO, -60% pour les COVNM et -32% pour les NO_x). Le secteur des transports routiers (automobiles, motocycles et camions) profite d'une baisse encore plus forte grâce aux normes Euro (-83% pour le CO, -85% pour les COVNM et -40% pour les NO_x).

2.2. *Un affaiblissement des extrêmes.*

Dans le but d'établir des statistiques robustes il a été choisi de ne travailler que sur les épisodes photochimiques de 3 jours, et d'abandonner par conséquent ceux de 4 et de 5 jours qui ne représentent pas un échantillon assez important (cf. tab. 1). Dans les 3 stations d'ozone précitées les tendances moyennes sont identiques et montrent une légère atténuation des concentrations maximales horaires entre 1998 et 2009 pendant les périodes polluées (fig. 4, le graphique de Cannes n'apparaît pas mais il est très proche de celui d'Antibes).

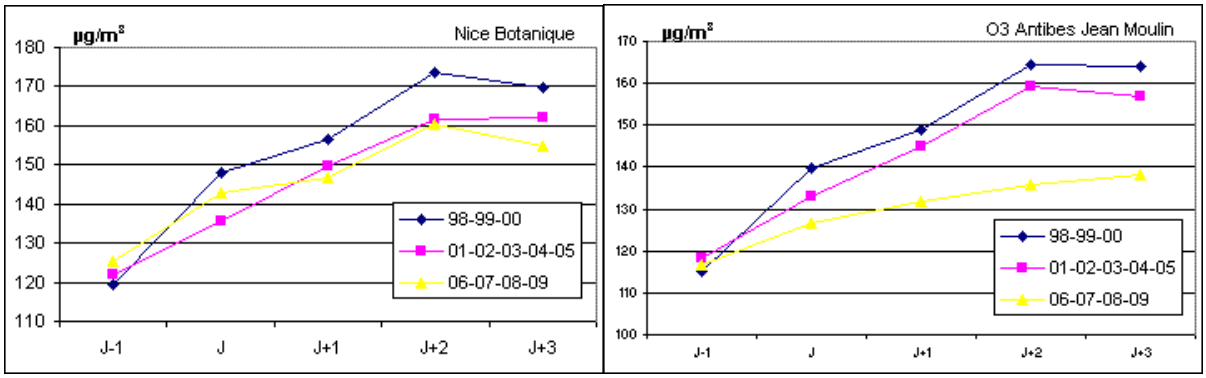


Figure 4. Evolutions des concentrations horaires maximales d'ozone à Nice Botanique et à Antibes Jean Moulin pendant un épisode photochimique de 1998 à 2000, de 2001 à 2005 et de 2006 à 2009.

Outre l'hypothèse formulée précédemment, selon laquelle des émissions de polluants primaires en baisse, à l'échelle de la France, conduirait à des pics d'ozone moins intenses, deux autres pistes sont aussi à explorer :

- *L'importance de la pollution primaire de proximité :* l'ozone est détruit par le monoxyde d'azote (NO). Ainsi la diminution de l'intensité des valeurs maximales d'ozone pourrait être causée par l'augmentation des concentrations de NO localement près de la station de mesures. Malheureusement ce polluant n'est mesuré dans aucune des 3 stations étudiées ici. Seul le dioxyde d'azote (NO_2) fait l'objet d'un suivi à Antibes et à Cannes. Les maximums horaires journaliers de ce polluant sont fortement corrélés positivement avec ceux du NO (mais ne se produisent pas à la même heure) et peuvent donc servir d'indicateur. Les concentrations horaires maximales de NO_2 pendant un épisode pollué ne sont pas en hausse à Antibes et paraissent même légèrement en baisse entre 1998 et 2009 (fig. 5).

- *La responsabilité du geopotentiel 500 hPa :* l'affaiblissement des pics d'ozone peut éventuellement être provoqué par des dorsales anticycloniques moins puissantes durant les séquences polluées. Cependant l'évolution des altitudes de la surface de pression 500 hPa au cours d'un épisode d'ozone indique au contraire un renforcement de ces dorsales (fig. 5). De 1998 à 2000 la hausse des concentrations d'ozone s'amorçait pour des altitudes de geopotentiel moindres. Aujourd'hui il faut en moyenne 50 mètres de plus pour qu'un même évènement se produise.

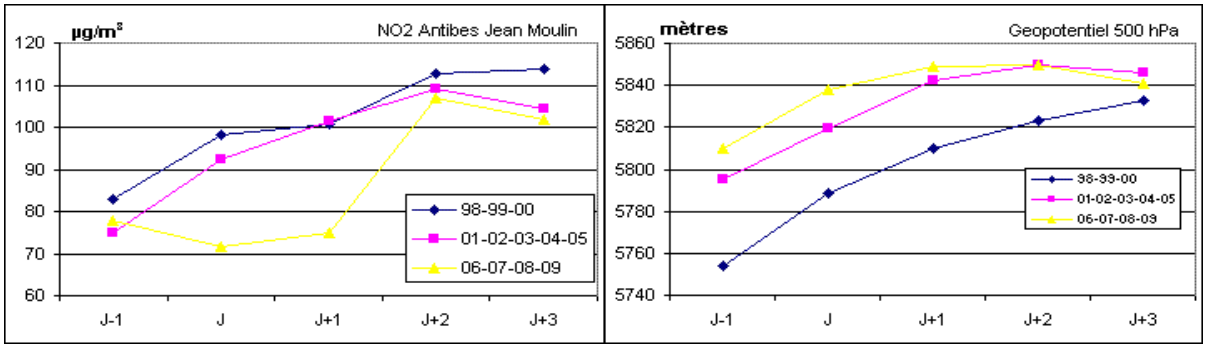


Figure 5. Evolutions des concentrations horaires maximales de dioxyde d'azote à Antibes Jean Moulin et des altitudes du geopotentiel 500 hPa au dessus des Alpes-Maritimes pendant un épisode photochimique de 1998 à 2000, de 2001 à 2005 et de 2006 à 2009

Conclusion

L'évolution des concentrations d'ozone pendant un épisode photochimique dans les Alpes-Maritimes semble, de manière générale, dictée par l'évolution des conditions météorologiques à macro-échelle plus qu'à l'échelle locale. Le développement puis la persistance d'une dorsale anticyclonique sur le sud-est de la France permet une hausse progressive d'ozone dans le département à court terme. Par ailleurs sur une échelle de temps plus longue, la législation européenne concernant les émissions de polluants primaires par le secteur des transports a permis une sensible amélioration de la qualité de l'air avec notamment une diminution des concentrations horaires maximales d'ozone au cours des épisodes photochimiques.

Bibliographie

Carrega P., Dubreuil V., Planchon O., 2004 : *Les types de temps*. Norois , n°191, 145p.

CITEPA, 2009 : *Substances relatives à l'acidification, l'eutrophisation et à la pollution photochimique*. 17p.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., 1996: *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. Bulletin of the American Meteorological Society.

Martin N., 2008 : *La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes*. Thèse de doctorat, 281p.

Martin N., 2007 : *les types de circulation atmosphérique et la pollution par l'ozone dans les Alpes-Maritimes*. Actes de la 4è édition des JIQA, Lille.