
APPORTS DES DONNEES ALADIN DANS LE CADRE D'UNE PREVISION DE L'OZONE TROPOSPHERIQUE EN BOURGOGNE

HOUZE Marie-Laure : Centre de Recherches de Climatologie, UMR5080 CNRS–Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, Tel : 03 80 39 38 22, Fax : 03 80 39 57 41. mlhouze@u-bourgogne.fr

CHEVRAND Pascale : Météo-France, Centre-Est / Développement Etudes et Climatologie, Aéroport, 69500 Bron, Tel : 04 72 35 40 48, Fax : 04 72 37 06 06. pascale.chevrand@meteo.fr

RICHARD Yves : Centre de Recherches de Climatologie, UMR5080 CNRS–Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, Tel : 03 80 39 38 22, Fax : 03 80 39 57 41. yrichard@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ. *Le CRC et les réseaux de surveillance de la qualité de l'air ATMOSF'air Bourgogne Centre-Nord et Sud élaborent un outil de prévision au lendemain de la pollution à l'ozone troposphérique. L'objectif est de prévoir les concentrations maximales quotidiennes à l'aide de modèles statistiques exploitables par les réseaux. Ces modèles considèrent des précurseurs de l'ozone, mesurés le jour où est effectuée la prévision, et les conditions météorologiques du jour pour lequel est effectuée la prévision. Une première étape fut d'étudier la prévisibilité de l'ozone à partir d'observations météorologiques ou « prévisions météorologiques parfaites ». Une seconde fut de réaliser de véritables prévisions. Elle intègre des prévisions météorologiques, par essence imparfaites : les données issues du modèle numérique ALADIN (Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational) de Météo-France, échéances 27 et 36 heures. Les performances en prévision sont plus élevées qu'en prévisibilité : les prévisions météorologiques issues du modèle numérique sont donc plus informatives, du point de vue opérationnel, que les mesures in situ. En effet, la modélisation pallie certaines carences de l'observation : en Bourgogne, l'absence de radiosondage ne permet pas de connaître la stratification verticale de l'atmosphère, paramètre très important en ce qui concerne les concentrations en ozone troposphérique.*

ABSTRACT. *The CRC and the networks monitoring air quality ATMOSF'air Bourgogne Centre-Nord et Sud would like to be able to predict ozone concentrations 24 hours in advance. The aim is to predict the daily maximum value with statistical models used by networks. These models consider precursors of ozone, measured at J, and meteorological data measured at J+1. First step is to work with meteorological observation or "perfect predicting value". Second step is to provide an operational model. So we used meteorological forecast which are not perfect: numerical model outputs ALADIN (Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational) by Météo-France, 27 and 36h run. The forecast performances are better than in previsibility: the numerical model outputs gives more information than meteorological data measured. In fact, modeling give more information, for example in Burgundy we haven't radiosonde exploration so we unknown the vertical stratification of atmosphere who is a very important parameter for tropospheric ozone concentrations.*

MOTS-CLÉS : *Prévision, Bourgogne, Ozone troposphérique, données ALADIN (Météo-France).*

KEY WORDS : *Forecast, Burgundy, Tropospheric Ozone, ALADIN data (Météo-France).*

La collaboration entre le Centre de Recherches en Climatologie (CNRS - Université de Bourgogne) et les réseaux de surveillance de la qualité de l'air ATMOSF'air Bourgogne Centre-Nord (Dijon) et Sud (Chalon sur Saône) a pour but le développement d'un outil de prévision au lendemain de la pollution à l'ozone troposphérique. L'objectif est de prévoir les concentrations maximales quotidiennes d'ozone à l'aide de modèles statistiques facilement exploitables par les membres des réseaux. La prévision en temps utile correspond à une forte attente du public et des autorités susceptibles de prendre des mesures de réduction des émissions ou, le plus souvent, d'information de la population uniquement. Elle est devenue un impératif pour l'action des autorités en cas d'épisode de pollution afin de prévenir ou limiter l'exposition des populations à des niveaux de pollution qui pourraient être nocifs pour la santé.

D'un jour à l'autre, la pollution de l'air ambiant peut varier énormément. Ces variations s'expliquent en partie par celles des émissions atmosphériques. Mais plus encore elles dépendent des conditions météorologiques contrôlant la dispersion ou l'accumulation des polluants ainsi que, pour les polluants secondaires comme l'ozone, leur formation et leur destruction. Prévoir la qualité de l'air est donc un exercice nécessitant de prendre en compte l'ensemble de ces facteurs. Le principe général des approches statistiques utilisées pour la prévision de la qualité de l'air est d'étudier, à partir d'une base de données historique, le lien existant entre les niveaux du polluant que l'on cherche à prévoir (prédictand) et des variables explicatives représentant les conditions météorologiques et la pollution (prédicteurs). Une fois ces liens identifiés, on peut accéder à une prévision des niveaux de pollution. Pour ce faire, différentes méthodes peuvent être utilisées (régressions, analyses discriminantes, réseaux de neurones). Nous présenterons ici des résultats obtenus à l'aide de la régression linéaire multiple.

Parmi les prédicteurs, observations et données issues de modèles numériques se côtoient. Nous mettrons l'accent sur l'apport que constituent les données des prévisions météorologiques, ici issues du modèle numérique ALADIN (Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational) de Météo-France par rapport aux mesures in situ. Nous présenterons les résultats de deux types de modèles, les modèles *de prévisibilité*, intégrant les observations météorologiques effectuées à J+1, et ceux *de prévision*, intégrant des sorties de modèles de prévisions météorologiques.

1. Données

Les résultats présentés portent sur trois stations situées dans le centre ville des trois principales agglomérations de Bourgogne orientale : Dijon/Pasteur, Chalon-sur-Saône/Centre et Macon/Champlevert. Les données sont mesurées par les réseaux ATMOSF'air toutes les heures. Notre période d'étude se limite à la saison chaude et ensoleillée (avril-septembre) pour laquelle les concentrations d'ozone sont maximales (Aimedieu 1996, Aranda 1992, Bavay et Roussel 1992, Carlier et Mouvier 1988, Megie et al 1993). Les données sont disponibles de 1999 à 2002. Les modèles statistiques proposés concernent l'ensemble des jours, et non uniquement les pics, définis généralement comme dépassements des normes (UE ou OMS). Nous travaillons par station, et non par agglomération, afin de prendre en compte les différences observées entre centres et périphéries (Richard et al., 2000).

1.1 Le prédictand : L'ozone troposphérique

Le prédictand est la valeur à prévoir. Elle prend la forme finale de la concentration maximale d'ozone du lendemain (J+1). Nous avons sélectionné les valeurs journalières maximales d'ozone de 10h à 18h TU inclus, tranche horaire où sont concentrées les valeurs les plus élevées (Houzé, 1999).

1.2 Les prédicteurs chimiques ou précurseurs

Nous ne présenterons ici que les prédicteurs chimiques sélectionnés par les modèles qui sont :

- L'ozone du jour (J) qui permet de prendre en compte un éventuel phénomène d'accumulation (Vergez, 1999).
- Les oxydes d'azote qui constituent l'un des principaux précurseurs de la pollution photochimique (Jacob D.J., 2000). Selon deux valeurs :

- La moyenne 10h - 18h TU du jour J, afin de minimiser l'impact d'éventuelles erreurs (valeurs anormalement fortes) ;
- Le maximum du jour J, un changement de temps rapide pouvant rendre la moyenne peu pertinente.

Les COVNM (Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques) ne sont pas mesurés en Bourgogne. Dans les milieux riches en NOx (>5ppb) la production d'ozone augmente avec celle des COVNM (Luchetta et al 2000).

Le fait que les modèles statistiques établis ne prennent pas en compte les émissions biogéniques ou anthropogéniques de COVNM pourrait expliquer certaines approximations des résultats.

1.3 Les prédicteurs météorologiques

1.3.1 Les paramètres météorologiques locaux

Les valeurs météorologiques sont issues des bases de données de Météo-France. Elles sont pertinentes dans la phase de développement du modèle, en *prévisibilité*. L'intérêt d'utiliser des données météorologiques observées le jour pour laquelle est effectuée la prévisibilité (J+1) est de s'affranchir des erreurs de prévision météorologique. Nous avons intégré des données de température et de rayonnement global (favorisant la production d'ozone), ainsi que d'humidité, de précipitations et de vitesse horizontale du vent (favorisant les dépôts humide et la dispersion de l'ozone). Ces valeurs sont mesurées dans 5 stations Météo-France : Dijon/Ouges, Chalon-Sur-Saône/Champforgeuil et Chalon-Sur-Saône/Rully, ainsi que Charnay-Lès-Mâcon.

1.3.2 Les prévisions météorologiques ALADIN

ALADIN est une version à domaine limité du modèle ARPEGE. Le modèle ALADIN-France, plus spécialement adapté aux prévisions sur la France, permet de gagner un facteur 2 par rapport à la résolution la plus forte d'ARPEGE auquel il est couplé. Nous disposons, sur trois points de grille centrés sur Dijon (Côte d'Or) et Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire) de variables simulées au niveau du sol (température, pression, flux solaires et thermiques, précipitations liquides de convection et précipitations liquides à grande échelle) ainsi que sur 11 niveaux (2, 10, 20, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500 m) au-dessus du sol (température, composantes horizontales et verticales du vent, humidité relative). Enfin, nous intégrons la nébulosité totale, jusque 1500m, de 1500m à 5km, et au-delà de 5km.

Le modèle ALADIN tourne chaque nuit à 00h t.u. Les simulations sont archivées selon des échéances séparées de 3h. Nous en avons retenues deux : 27 et 36 heures. Ainsi, chaque jour, les personnes chargées d'effectuer la prévision d'ozone, dispose des prévisions pour le lendemain 1/ échéance 27 : en fin de nuit (03h t.u., soit 5h légales en été, moment où les températures comme les concentrations d'ozone sont minimales), et 2/ échéance 36 : en début d'après midi (12h t.u., soit 14h légales, moment de la journée où températures et ozone flirtent avec leur valeurs maximales).

2 Méthodes : Régression linéaire multiple pas à pas

Il existe de nombreux outils en ce qui concerne la prévision de la pollution atmosphérique. Parmi les modèles statistiques on peut citer les modèles de régression multiples, les réseaux de neurones, les méthodes de recherche de cas passés similaires, les arbres de décisions (Fromage et Gilbert 1997). Nous avons choisi d'utiliser la régression linéaire multiple qui consiste à expliquer un phénomène, ici les concentrations maximales d'ozone à J+1, par la conjonction des variations de plusieurs phénomènes. Les variables sont sélectionnées en stepwise (pas à pas) qui est un algorithme de régression utilisant les coefficients de corrélation partielle, après chaque introduction de variable, une des variables explicatives introduites auparavant est éventuellement écartée. Nous avons décidé de ne retenir que 4 prédicteurs pour les deux types de modèle (*prévisibilité et prévision*) afin de permettre leur comparaison et parce que les modèles de prévisibilité ont un nombre de prédicteurs potentiels tout de même relativement restreint.

3 Périodes d'apprentissage et de validation des modèles

3.1 Apprentissage

Les modèles de prévision doivent être construits de sorte que les données utilisées pour caler les paramètres diffèrent des données servant à évaluer les résultats. On sépare donc les observations en un jeu d'apprentissage d'une part (1999-2001) et un jeu de validation d'autre part (2002). Sur la période d'apprentissage, nous avons utilisé la procédure de test dite *Jack-knife*. Cette méthode s'apparente à la validation croisée dans la mesure où l'on retire tour à tour chaque observation de l'échantillon d'apprentissage. Ceci permet une validation à l'aide de données différentes de celles qui ont servi à l'ajustement de la droite. Cette méthode permet d'évaluer la performance réelle d'un modèle de prévision avant qu'il ne soit appliqué (Thiria *et al.*, 1997). Nous obtenons, sur la période d'apprentissage (1999-2001), et ce pour chaque station, une équation de régression.

3.2 Validation des modèles

Pour chaque station, les équations de régression déterminées sur la période 1999-2001 sont appliquées sur le jeu de données 2002. Pour tester les performances des modèles, le coefficient de corrélation (R) est le paramètre le plus courant. Dans le cas d'une prévision parfaite R est égal à 1. Un des inconvénients de R est qu'il est insensible à des prévisions contenant un biais constant comme une moyenne ou un écart-type erronés. Le second score de précision utilisé, le LEPS (Linear Error in Probability Space) a été introduit par Ward et Folland (1991) et révisé par Potts *et al* (1996). Le LEPS est moins sensible aux grosses erreurs pouvant intervenir dans un contexte extrême (probabilité faible) qu'aux petites erreurs correspondant à un contexte normal (probabilité forte). Le LEPS diffère de R car considère les différences de positions entre valeurs observées et prévues dans leurs distributions de probabilité cumulée respectives et non simplement leur différence de valeur (Philippon, 2002). Pour les valeurs continues le LEPS est calculé à partir de l'équation :

$$\text{LEPS} = 3(1 - |P_f - P_v| + P_f^2 - P_f + P_v^2 - P_v) - 1$$

Où P_f et P_v consistent respectivement en la position de la prévision et la position de l'observation dans la distribution de probabilité cumulée. Le LEPS varie de -1 (score donné lorsque l'on prévoit l'inverse d'une situation extrême) à 2 (score attribué quand une situation extrême est parfaitement prévue). La prévision correcte d'une situation moyenne ($P_v=0.5$) donne des valeurs de LEPS de 0.5 (Philippon, 2002).

4 Résultats

Nous élaborons deux types modèles, 1/ *prévisibilité*, non opérationnel et intégrant des données d'observations météorologiques, 2/ *prévision*, opérationnel et utilisant les prévisions météorologiques ALADIN (Tableau 1). Pour chacun des deux types, et pour chaque station, nous présentons les résultats sur les périodes d'apprentissage (1999-2001) et de validation (2002).

Tableau 1 – Comparaison des deux types de modèles élaborés

		Coefficient de corrélation	LEPS	Ecart type		
				Prévision	Observation	
Dijon	<i>Prévisibilité</i>	Apprentissage (99/01)	0,61	0,40	14,18	23,27
		Validation (2002)	0,61	0,41	13,48	23,08
	<i>Prévision</i>	Apprentissage (99/01)	0,71	0,48	17,12	23,99
		Validation (2002)	0,77	0,52	17,41	22,72
Chalon-sur-Saône	<i>Prévisibilité</i>	Apprentissage (99/01)	0,63	0,44	14,26	23,19
		Validation (2002)	0,62	0,48	14,65	22,19
	<i>Prévision</i>	Apprentissage (99/01)	0,76	0,53	17,57	23,26
		Validation (2002)	0,74	0,48	16,57	22,34
Mâcon	<i>Prévisibilité</i>	Apprentissage (99/01)	0,62	0,41	17,73	28,57
		Validation (2002)	0,60	0,40	16,47	26,83
	<i>Prévision</i>	Apprentissage (99/01)	0,78	0,56	22,39	28,68
		Validation (2002)	0,79	0,54	21,32	26,98

4.1 Des performances en validation au niveau de celles obtenues en apprentissage

En *prévisibilité*, les coefficients de corrélations (R) obtenus sur la période d'apprentissage (1999-2001) sont respectivement pour Dijon, Chalon-sur-Saône et Macon de 0.61, 0.63 et 0.62. Ces valeurs quasi identiques signifient que l'ozone prévu et l'ozone observés partagent environ 38% de variance commune. Les LEPS oscillent entre 0.4 et 0.44. Ces performances sont très moyennes. Sur la période de validation (2002) les

performances ne diminuent pour ainsi dire pas : -0.01 à -0.03 en ce qui concerne R. Cela signifie que les modèles, à défaut d'être très performants sont robustes.

En prévision, sur la période d'apprentissage (1999-2001), R oscille entre 0.71 et 0.78 et LEPS entre 0.48 et 0.56. Sur la période de validation (2002) les performances se dégradent très légèrement à Chalon-sur-Saône (-0.02 pour R et -0.05 pour LEPS). Ceci peut être considéré comme un bon résultat. Ce qui est plus surprenant est que les performances s'améliorent sur Dijon et Macon par rapport à la période d'apprentissage (+0.06 et +0.01 pour R, +0.04 et -0.02 pour LEPSCONT). Ce résultat paradoxal s'explique au moins de deux façons :

- Un prédicteur est souvent pris en compte dans les régressions multiples : l'ozone du jour. Il témoigne du fait que les concentrations d'ozone d'un jour donné dépendent de celles de la veille, soit par effet cumulatif, soit par maintien de conditions météorologiques comparables. Cette auto-corrélation de rang 1 a été, par pur hasard, forte en 2002 (Tableau 2). Cela constitue en quelque sorte « une chance » pour nous ;

Tableau 2 – Coefficients de corrélations entre ozone prévu (J+1) en mode prévision et ozone mesuré (J)

Année	1999	2000	2001	99/01	2002
R	0,46	0,40	0,59	0,53	0,56

- Les 3 autres prédicteurs sont issus des prévisions météorologiques ALADIN. Leurs corrélations avec l'ozone observé tendent à augmenter depuis 1999 (Tableau 3). L'ozone ne devient pas plus sensible aux conditions météorologiques, c'est donc que les prévisions météorologiques s'améliorent d'année en année. En effet les modèles ARPEGE et ALADIN connaissent régulièrement de nouvelles versions. Nos prévisions bénéficient ainsi des progrès réalisés par Météo-France.

Tableau 3 – Coefficients de corrélations entre ozone prévu (j+1) et prédicteurs issus du modèle numérique de prévision météorologique ALADIN (Météo-France)

	1999	2000	2001	99/01	2002
Température, échéance 36h (12 t.u.), à 20m	0,41	0,60	0,78	0,52	0,55
Humidité, échéance 36h (12 t.u.), à 1250m	-0,39	-0,57	-0,73	-0,53	-0,53
Différence verticale de température entre 2m et 500m, échéance 27h (03 t.u.)	0,23	-0,53	-0,60	-0,43	-0,63

Le fait que les performances obtenues sur la période validation (2002) atteignent systématiquement, voire dépasse, celles obtenues sur la période apprentissage (1999-2001) signifie également que l'on connaît avant utilisation en mode opérationnel l'aptitude moyenne de nos modèles statistiques à prévoir l'ozone. On est ainsi à l'abri de mauvaises surprises généralisées, sauf en cas de changement climatique, qui n'intervient théoriquement que sur des périodes plus longues, ou en cas de changement concernant les émissions des précurseurs (pots catalytiques, mise en place d'un nouveau plan de déplacement urbain, ...) qui sont en partie prévisibles.

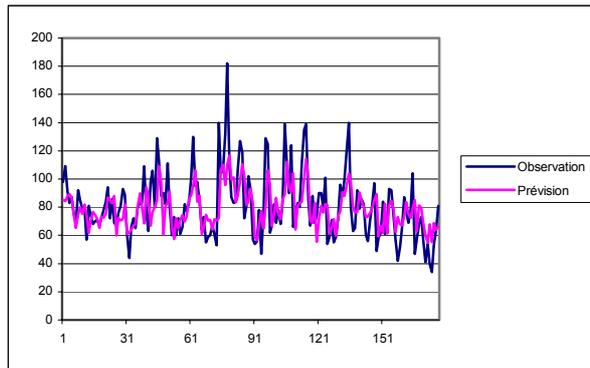
4.2 Des performances en prévision supérieures à celles obtenues en prévisibilité

Que l'on considère les périodes d'apprentissage (1999-2001) ou de validation (2002), les résultats en mode prévision sont systématiquement supérieurs à ceux obtenus en mode prévisibilité (Tableau 1). En prévision, R croît de +0.16 à Dijon, +0.12 à Chalon-sur-Saône et +0.19 à Macon. Le LEPS de +0.11, +0.05 et +0.14. Les parts de variances communes entre observations et prévisions atteignent 50% en moyenne sur les 3 stations. Pour rappel, la différence entre les modèles de prévision et les modèles de prévisibilité est que l'on utilise comme prédicteurs des prévisions météorologiques issues des modèles ARPEGE ALADIN et non plus les mesures effectuées in situ (qui correspondent pourtant à des prévisions parfaites). Les prévisions de Météo-France ne peuvent pas être plus que parfaites ! Mais elles nous renseignent mieux sur l'état de l'atmosphère que ne le font les mesures *in situ*. Dans les stations météorologiques bourguignonnes, en l'absence de radiosondage, seules les conditions à 2 ou à 10 mètres de haut sont mesurées. En revanche, les modèles numériques fournissent des prévisions certes imparfaites, mais concernant l'atmosphère dans sa dimension verticale. Ainsi, des éléments de type stratification verticale, épaisseur de la couche limite, direction du vent et humidité en altitude sont prévus.

L'examen de nos modèles de régressions multiples montre que des prédicteurs relatifs à l'humidité, à la direction et la vitesse du vent compris entre 1000 et 1500 m au-dessus du sol, ainsi que les gradients verticaux de température prévus en fin de nuit entre le sol et 500 à 750 m sont fréquemment sélectionnés.

En prévisibilité, les variations d'ozone sont nettement sous-estimées. Pour les 3 stations, la différence entre les écart-types des observations et ceux issus de la prévisibilité est de l'ordre de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figure 1 permet de mieux comparer les résultats des modèles de prévisibilité aux observations. Les pics d'ozone sont systématiquement sous-estimés en prévisibilité et les valeurs particulièrement faibles sont surestimées (figure 1). Les modèles en mode prévisibilité ne sont donc pas assez dynamiques.

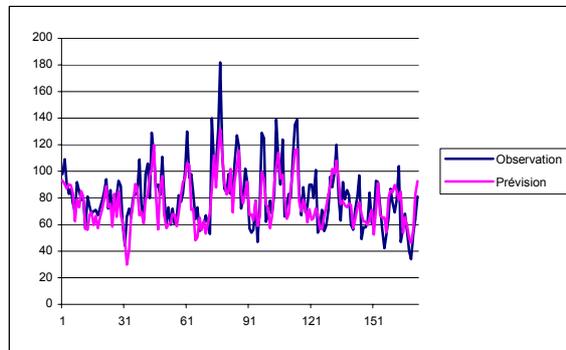
Figure 1 – Résultats en prévisibilité



Abscisses : données journalières du 01 avril au 30 septembre 2002
Ordonnées : concentrations d'ozone en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En prévision, les différences observées sur les écart-types (observations versus prévisions) s'atténuent de moitié. Elles sont de l'ordre de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les mauvaises prévisions des valeurs extrêmes sont moins marquées (figure 2).

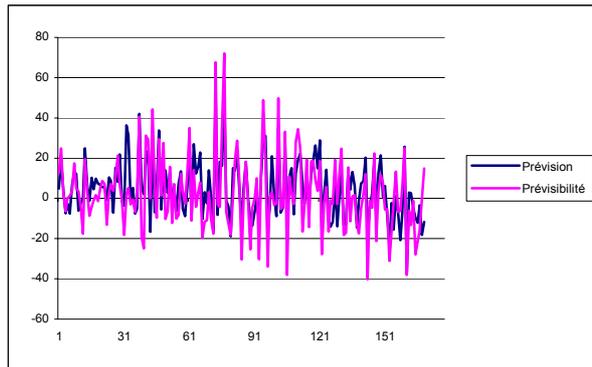
Figure 2 – Résultats en prévision



Abscisses : données journalières du 01 avril au 30 septembre 2002
Ordonnées : concentrations d'ozone en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Un comparatif portant sur les résidus (figure 3) montre que ceux calculés en prévision sont en moyenne moins élevés, mais surtout que les erreurs de prévisions les plus flagrantes sont nettement atténuées.

Figure 3 – Résidus (ozone observé - ozone prévu) en modes prévisibilité et prévision



Abcisses : données journalières du 01 avril au 30 septembre 2002

Ordonnées : concentrations d'ozone en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Les modèles en mode prévision sont plus dynamiques que ceux élaborés en mode prévisibilité. Ceci est lié au fait qu'en mode prévision nos modèles intègrent moins de prédicteurs mesurés le jour où est effectué la prévision (mesures de la qualité de l'air ATMOSF'air) et plus de prédicteurs relatifs au jour pour lequel est effectuée la prévision (conditions météorologiques Météo-France). En conséquence, les modèles en mode prévision sont plus à même de prévoir les pics d'ozone, même s'ils sous-estiment encore.

Conclusion

1. Les concentrations maximales d'ozone pour le lendemain sont en partie (50% de variance commune entre prévisions et observations) prévisibles en développant des modèles statistiques simples de conception et d'utilisation en mode opérationnel pour les réseaux ATMOSF'air de surveillance de qualité de l'air.
2. Ces prévisions sont robustes car les performances ne diminuent pas entre périodes d'apprentissage et de validation.
3. Ces prévisions s'appuient elles-mêmes sur des prévisions : celles des conditions météorologiques. Leurs performances dépendent donc de celles des modèles ARPEGE et ALADIN développés par Météo-France.
4. Les prévisions météorologiques s'améliorent chaque année, ce qui contribue à expliquer que nos performances de prévisions d'ozone sur la période de validation sont au moins égales à celles obtenues sur la période d'apprentissage (1999-2001).
5. Bien que par définition imparfaites, les prévisions météorologiques issues de modèles numériques sont d'ores et déjà plus intéressantes que les observations météorologiques effectuées le lendemain (et donc parfaites mais non utilisables en mode opérationnel). En effet, en Bourgogne, en l'absence de radiosondage, les mesures des conditions météorologiques sont très incomplètes. Les modèles numériques permettent de pallier certaines lacunes en fournissant des données relatives à l'humidité, le vent et la température à différents niveaux de l'atmosphère. Nos modèles prennent en compte ces éléments ainsi que des gradients verticaux de températures que nous avons dérivé des données ALADIN.

BIBLIOGRAPHIE

- AIMEDIEU P. (1996), *L'ozone stratosphérique*, Paris : PUF, Coll. "Que sais-je ?", 127 p.
- ARANDA F. (1992), Les niveaux d'ozone en milieu rural et urbain, Colloque ozone du 29/10/1992.
- BAVAY R. et ROUSSEL I. (1992), Pollution photo-oxydante en Europe du Nord-Ouest : l'exemple de l'été 1989, *Pollution atmosphérique*, n°153, p 36-49.
- CARLIER P. et MOUVIER G. (1988), Initiation à la physico-chimie de la basse troposphère, *Pollution atmosphérique*, n°117, p 12-24.
- FROMAGE A. et GILIBERT E. (1997), Prévision des épisodes d'ozone : état de l'art dans le monde, *Pollution Atmosphérique*.
- HOUZE M.-L. (1999), *Concentrations en ozone dans les agglomérations dijonnaise et chalonnaise et conditions météorologiques (avril-août 1998)*, Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Bourgogne, 67 p.
- JACOB D.J. (2000), Heterogeneous chemistry and tropospheric ozone, *Atmospheric Environment*, **34**, p 2131-2159.
- LUCHETTA L., SIMON V. et TORRES L. (2000), Emission des principaux Composés Organiques Volatils biogéniques en France, *Pollution Atmosphérique*, n° 167, p 387-409.
- MEGIE G., BONTE J., CARLIER P., CHAVALAUDRA J., DIZENGREMEL P., FEUGIER A., GRANIER C., HAUGLUSTAINE D., KANAKIDOU M., LE BRAS G., MARENCO A., MOUVIER G., TISSOT B., TOUPANCE G., TRUHAUT R. (1993), Rapport n°30, *Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère*, Paris : Lavoisier, Coll. tec & doc, 253 p.
- PHILIPPON N. (2002), Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : méthodes, diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001), Thèse de doctorat en géographie, Université de Dijon.
- POTTS J.M., FOLLAND C.K., JOLLIFE I.T. et SEXTON D. (1996), Revised LEPS scores for assessing climate model simulations and long-range forecasts, *Journal of Climate*, n°9, p 34-53.
- RICHARD Y., HOUZE M.-L., CHABIN J.-P., THEVENIN D. (2000), Pollution en ozone en Bourgogne orientale, *Publication de l'association internationale de climatologie*, Vol. 13, p 528-537.
- THIRIA S., LECHEVALLIER Y., GASCUEL O., CANU S. (1997), *Statistiques et méthodes neuronales*, Ed. Dunod, Paris, 311 p.
- VERGEZ G. (1999), "Prévisions des pointes d'ozone dans l'agglomération lyonnaise", Lyon : Note de travail de l'école nationale de la météorologie, n°669, 92 p.
- WARD M.N. et FOLLAND C.K. (1991), Prediction of seasonal rainfall in the Nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature, *International Journal of Climatology*, Vol 17, p. 711-743.