ARTICLES

Prévision des pics de pollution par l'ozone dans la région de l'étang de Berre

Méthodologie basée sur l'expertise et l'analyse des données

Prediction of ozone pollution peaks in the Etang de Berre area

A method based on assessment and data analysis

G. VALFRE, R. THIELEKE, A. LEOPOLD et B. A. MESBAH*

RÉSUMÉ

La prévision des risques d'occurrence d'un épisode de pollution photochimique par l'ozone est très utile à la démarche réglementaire d'information du public, et notamment des personnes sensibles.

Nous avons développé un outil de prévision des pics d'ozone (dépassement du seuil d'information de 180 microgrammes par normo-mètre cube) pour la région de l'étang de Berre, couverte par le réseau de surveillance de la qualité de l'air AIRFOBEP (Association de surveillance de la qualité de l'air sur la région de l'étang de Berre et de l'ouest des Bouches-du-Rhône).

Il s'agit d'une modélisation implicite de la pollution photochimique régionale, basée sur un ensemble de tests logiques binaires couplés. Ces tests sont réalisés sur des paramètres pertinents choisis grâce à la connaissance des phénomènes de pollution de la région (expertise) et de l'analyse des données de mesure. L'optimisation des caractéristiques de ces paramètres est faite par une simulation réalisée sur les données de l'historique du réseau AIRFOBEP

Les modèles ainsi élaborés, pour la prévision à J et à J+1, ont été testés puis validés au cours de l'été 1998. Les résultats obtenus montrent les bonnes performances de ces modèles (compromis entre les taux de bonnes et de fausses prévisions), en cohérence avec celles obtenues sur la période de construction.

ABSTRACT

Prediction of ozone pollution peaks is very useful in the procedure of people information, in particular sensitive persons, about photochemical pollution episodes occurrence.

We have developed a technique to predict ozone pollution peaks in the Etang de Berre area, where air quality monitoring is operated by the network AIRFOBEP (Association for air quality monitoring in the Etang de Berre and the west of Bouches-du-Rhone area).

The technique indirectly models the regional photochemical pollution by the use of a set of linked binary logic tests. These tests are carried out on some relevant parameters. The selection of the most sensitive parameters for the prediction is done starting from :

– the background knowledge concerning the regional air pollution phenomena (experts experiences),

– the measurement data analysis.

Characteristics of those parameters, like the time, the place of their measurement and their thresholds, are optimized with a simulation program, run on the five last years AIRFOBEP measurements data.

Models elaborated with this technique have been tested during the 1998 summer. Results concerning both a D day and a (D+1) day prediction are good. They are consistent with the expected performances and with the five last years simulation results.

Introduction

La région de l'étang de Berre est située dans le département des Bouches-du-Rhône entre Marseille, à l'est, et le delta du Rhône, à l'ouest. La région accueille un des plus importants sites industriels de France avec notamment des industries du raffinage, de la pétrochimie et de la sidérurgie. Sa situation géographique et son activité économique ont favorisé la création d'un réseau routier dense et un important trafic routier, aérien et naval. Par ailleurs, plus de 400 000 habitants se répartissent sur une trentaine de communes, formant un tissu urbanisé lâche mais fortement

* *AIRFOBEP, association agréée de surveillance de la qualité de l'air. Route de la vierge, 13500 Martigues.*

intriqué avec le tissu industriel. Les importantes émissions locales de polluants atmosphériques, précurseurs de l'ozone [CITEPA, 1998] et le fort ensoleillement favorisent l'activité photochimique dans cette région. Depuis 1979, selon les années et les sites, on totalise entre 15 et 40 jours, principalement de mai à septembre, au cours desquels on enregistre une concentration d'ozone en moyenne horaire supérieure au seuil d'information de la directive européenne 92/72/CEE (180 microgrammes par normo-mètre cube : 180 µg/m^3, en moyenne sur une heure).

L'association AIRFOBEP est membre agréé du réseau national ATMO pour effectuer la surveillance de la qualité de l'air dans l'ouest du département des Bouches-du-Rhône. À ce titre elle est un acteur privilégié dans la surveillance et l'étude de la qualité de l'air dans la région de l'étang de Berre. L'étude présentée ici fait partie des actions menées par AIRFOBEP visant à mieux comprendre et gérer le problème de la pollution photochimique par l'ozone.

Description de l'étude

Contexte et objectifs

Cette étude s'inscrit dans le cadre des préoccupations nationales et européennes de santé publique. En effet la réglementation européenne (directive européenne 92/72/CEE) et nationale (loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de décembre 1996 et ses décrets d'application de mai 1998) visent notamment la réduction de l'impact sanitaire par une limitation de l'exposition des personnes à la pollution photochimique, et principalement des personnes sensibles. C'est pourquoi l'information du public et la prévision des pics de pollution figurent parmi les objectifs prioritaires d'AIRFOBEP. Dans cette optique, AIRFOBEP s'est engagée dès 1993 dans une politique active de développement de la surveillance de la pollution par l'ozone, permettant d'accumuler données et expertise, et dans le développement de moyens de prévision des pics de pollution.

La présente étude a ainsi pour objectif le développement d'un outil opérationnel pour la prévision des pics de pollution par l'ozone. Il s'agit d'une prévision antérieure de plusieurs heures à l'occurrence du pic de pollution. L'occurrence d'un pic se traduit par un dépassement du seuil de 180 mg/m^3 d'ozone en moyenne sur l'heure, sur un des sites de mesure de l'ozone du réseau d'AIRFOBEP. L'étude chronologique de ces dépassements montre qu'ils ont lieu essentiellement après 11h TU (Temps Universel). La prévision quotidienne doit donc être faite avant cette échéance.

Méthodologie

La méthodologie adoptée dans le développement de cet outil est semi-empirique. Elle modélise l'occurrence des pics de pollution de façon implicite, sans étudier les processus complexes de la pollution photochimique.

Cette méthodologie s'appuie sur :

– l'expertise des membres d'AIRFOBEP et de ses partenaires, c'est-à-dire la connaissance « terrain » des typologies de situations (météorologiques et de pollution) donnant lieu ou non à une occurrence de pic de pollution par l'ozone ;

– l'analyse statistique de l'importante base de données de la qualité de l'air disponible à AIRFOBEP. Cette base de données représente l'historique de la zone d'étude en termes de pollution atmosphérique et de paramètres météorologiques.

Pour élaborer une procédure simple, opérationnelle et fiable de prévision, cet outil utilise de préférence des données mesurées par le réseau.

Dans cet article nous parlerons d'« épisode photochimique avec pic » pour désigner l'occurrence d'un pic de pollution par l'ozone (dépassement du seuil 180 µg/m^3). Lorsque les niveaux sont nettement plus bas que ce seuil (< 150 µg/m^3), nous parlerons de situations non polluées.

Expertise

La première étape a consisté à traduire les connaissances empiriques issues de l'expérience de 25 ans de fonctionnement du réseau en termes de paramètres potentiellement utilisables dans une démarche de modélisation.

Ainsi, l'expertise indique que, dans la région d'étude, les paramètres de premier ordre dans l'occurrence des épisodes de pollution sont météorologiques. Les conditions favorables correspondent à une situation anticyclonique, caractérisée par un régime de brises et une forte stabilité atmosphérique la nuit et le matin précédant l'épisode, et des températures élevées dès le matin.

Pour caractériser cette situation plusieurs typologies semblent possibles. Elles sont essentiellement quantifiées par les paramètres suivants :

– les vitesses du vent ;

– les températures ;

– les indicateurs de la stabilité atmosphérique tels que l'écart de température mesurée au sol entre des stations situées à différentes altitudes ou la concentration de dioxyde de soufre mesurée dans certaines stations de la zone d'étude.

Par ailleurs, la prise en compte de paramètres mesurés la veille de l'épisode (tels que température et concentration d'ozone) introduit la notion de persistance des conditions météorologiques,

observée en climat méditerranéen. De plus, elle inscrit le pic de pollution dans un processus débutant près de 24 heures avant l'occurrence de l'épisode.

Analyse des données

En se basant sur l'expertise, nous avons défini a priori les paramètres jugés importants pour l'occurrence des épisodes photochimiques dans la région de l'étang de Berre. Nous disposons ainsi d'une vision globale et qualitative d'une démarche de prévision de ces épisodes dans cette région. Dans la pratique, pour mettre au point une procédure de prévision, nous devons structurer ces paramètres sous forme d'un modèle de prévision qui requiert plus de précisions quantitatives. Pour chaque paramètre, il nous faut définir :

– où et quand la mesure de ce paramètre est la plus pertinente pour prévoir l'occurrence d'épisodes photochimiques ;

– quelles sont, pour ce paramètre, les valeurs numériques discriminantes quant à la probable occurrence ou non des épisodes photochimiques.

Nous déterminons ces choix à l'aide de l'analyse des données de l'historique métrologique du réseau de stations de mesure d'AIRFOBEP. Nous analysons l'occurrence ou non d'épisodes photochimiques avec pic en fonction des valeurs de chaque paramètre. Nous considérons les données de mesures horaires du réseau, des mois de juin à septembre, riches en épisodes photochimiques, pour les années consécutives de 1993 à 1997. Les données considérées sont de deux types : météorologiques et de pollution. Les épisodes photochimiques sont repérés en scrutant les données de mesures de l'ozone. Le tableau 1 résume, pour chaque station de mesure d'AIRFOBEP, les paramètres mesurés et disponibles pour la période d'analyse.

Analyse et sélection des paramètres

a – Choix des stations de mesures : Il s'agit de déterminer, pour un paramètre donné, la station de mesure parmi l'ensemble du réseau, la plus discriminante quant à la séparation des épisodes photochimiques avec pic, des situations non polluées. Une station est jugée discriminante pour un paramètre lorsque, au-delà ou en deçà d'une valeur choisie de ce paramètre, on totalise (de façon cumulée) un maximum d'épisodes photochimiques avec pic et un minimum de situations non polluées.

À titre d'exemple, le choix de la station pour la température maximale du jour est illustré par la figure 1, p. 62, où sont représentées l'évolution du nombre d'épisodes photochimiques avec pic et celle des situations non polluées en fonction de la température maximale du jour, pour différents sites de mesure. Pour les températures favorisant les épisodes photochimiques, parmi les trois sites testés, il apparaît que le site n° 3 présente le meilleur compromis. Il est donc retenu pour la mesure de ce paramètre.

b – Choix de l'heure de mesure : Dans les données de l'historique du réseau, nous disposons de l'ensemble des mesures horaires pour chaque paramètre. Avant l'heure de prévision, nous devons choisir, parmi cet ensemble, l'heure de mesure la plus pertinente pour la prévision d'un épisode photochimique avec pic. Nous comparons heure par heure la différence qui existe entre la moyenne de ce paramètre pour les jours où il y a eu un épisode photochimique avec pic et la même moyenne pour les jours de situation non polluée. L'heure de mesure la plus pertinente est celle pour laquelle cette différence est la plus importante.

La figure 2, p. 62, illustre le résultat d'une telle analyse dans le cas du paramètre température maximale du jour à La Gatasse et de la concentration maximale d'ozone sur le réseau. La moyenne de cette température pour les deux types de jours (pollués avec pic et situation non polluée) en fonction de l'heure de la mesure (heure du temps universel HTU) est représentée. Nous voyons que la différence entre les deux moyennes s'accentue avec le lever du jour, nous choisissons donc de la prendre à son maximum sans dépasser l'heure limite définie pour la prévision, à savoir 8 h 00 TU. Alors que pour la concentration maximale d'ozone sur le réseau, la même analyse temporelle suggère le choix de 12 h 00 TU la veille (J-1) comme heure la plus pertinente pour la valeur de ce paramètre.

c – Choix des seuils : Pour un paramètre donné, on recherche une valeur minimale ou maximale au-delà ou en deçà de laquelle on observe, au cours du jour pour lequel la prévision est faite et avec une forte probabilité, un épisode photochimique avec pic. Cette valeur que l'on nomme « seuil » est choisie en analysant la distribution des épisodes photochimiques avec pic et les situations non polluées en fonction du paramètre considéré. Ce seuil est d'abord défini par un intervalle de valeurs, puis optimisé.

Pour le choix du seuil de la température à La Gatasse, par exemple, la distribution des épisodes est évaluée à partir de la représentation de la figure 3, p. 63. Pour différentes valeurs de cette température, nous considérons deux facteurs : le nombre d'occurrences d'un épisode photochimique avec pic d'une part et le nombre d'occurrences d'une situation non polluée d'autre part. Le choix correspond à un compromis entre une valeur élevée du premier facteur et une valeur faible du second. Dans le cas considéré, nous voyons que le nombre de situations non polluées décroît de façon régulière. En revanche, le nombre d'épisodes photochimiques avec pic

Tableau 1. Le réseau AIRFOBEP en 1997 : origine des données de mesures exploitées.
AIRFOBEP measurement network in 1997: the working data origin.

Date de création de la station de mesure						
	Polluants			Paramètres météorologiques		
Nom du site	SO_2	NOx	O_3	Température	Anémomètre	Girouette
Berre-l'Étang	nov-81	juil-97	juil-97			
Carry-le-Rouet	fév-93					
Châteauneuf	juil-89					
Fos-sur-Mer	déc-89					
Fos-Carabins	juin-97	juin-97	juin-97			
Istres	mai-89	jan-96	déc-94			
La Couronne	jan-91					
La Crau	fév-82		juil-94		fév-82	fév-82
La Fare-les-Oliviers	jan-91				juil-96	juil-96
La Gatasse	nov-81			juin-80	nov-76	nov-76
Les Ventrons	fév-84					
Marignane Jaï					sep-76	jan-76
Marignane Ville	mai-97	mai-97	mai-97			
Martigues Ile	juil-89	mai-79		mai-80		
Martigues ND Marins	juin-89	mai-95	sep-93	juin-80	oct-76	oct-76
Martigues Pati	mai-91					
Miramas	jan-91	jan-97	jan-97			
Ponteau	avr-92					
Port-de-Bouc	juil-89					
Port-de-Bouc Castillon	jan-80	jan-78	jan-79	sep-76	jan-78	jan-78
Port-Saint-Louis	déc-88					
Rognac Barjaquets	fév-82	fév-82	fév-82			
Sausset-les-Pins	juil-89	oct-89	fév-89			
Vitrolles	avr-82	mai-82	avr-82			
Vitrolles Réaltor	nov-93			nov-93	nov-93	nov-93

est d'abord sensiblement constant, puis amorce une chute à partir de 18 °C. C'est donc dans un intervalle voisin de 18 °C que se situe le seuil choisi pour ce paramètre.

L'analyse des données de l'historique du réseau pour les choix des stations, des heures de mesure et des seuils est aussi orientée par l'expertise qui traduit la connaissance des particularités de la région.

Il serait intéressant de se pencher sur le sens physique des choix que nous permet de faire ce couplage de l'expertise et du traitement statistique des données de l'historique du réseau. Par retour d'informations, nous pourrions essayer de comprendre les raisons physico-chimiques qui sous-tendent ces choix.

Modèle de prévision : construction et performances

Élaboration

Le modèle de prévision que nous proposons s'articule sur un ensemble de tests logiques binaires couplés. Un épisode photochimique avec

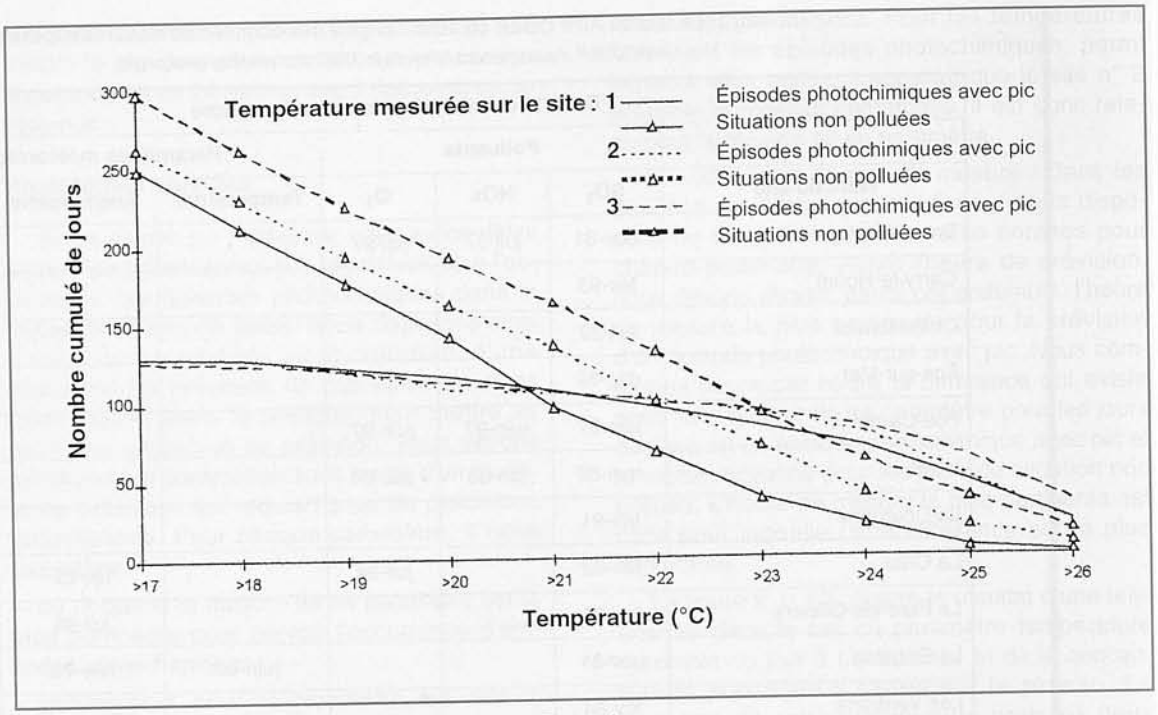

Figure 1.
Choix de la station de mesure : cas du paramètre température maximale du jour.
Nombre cumulé de jours avec pic et de jours non pollués en fonction de la température maximale mesurée sur trois sites différents.
Measurement station selection for the day maximum temperature parameter.

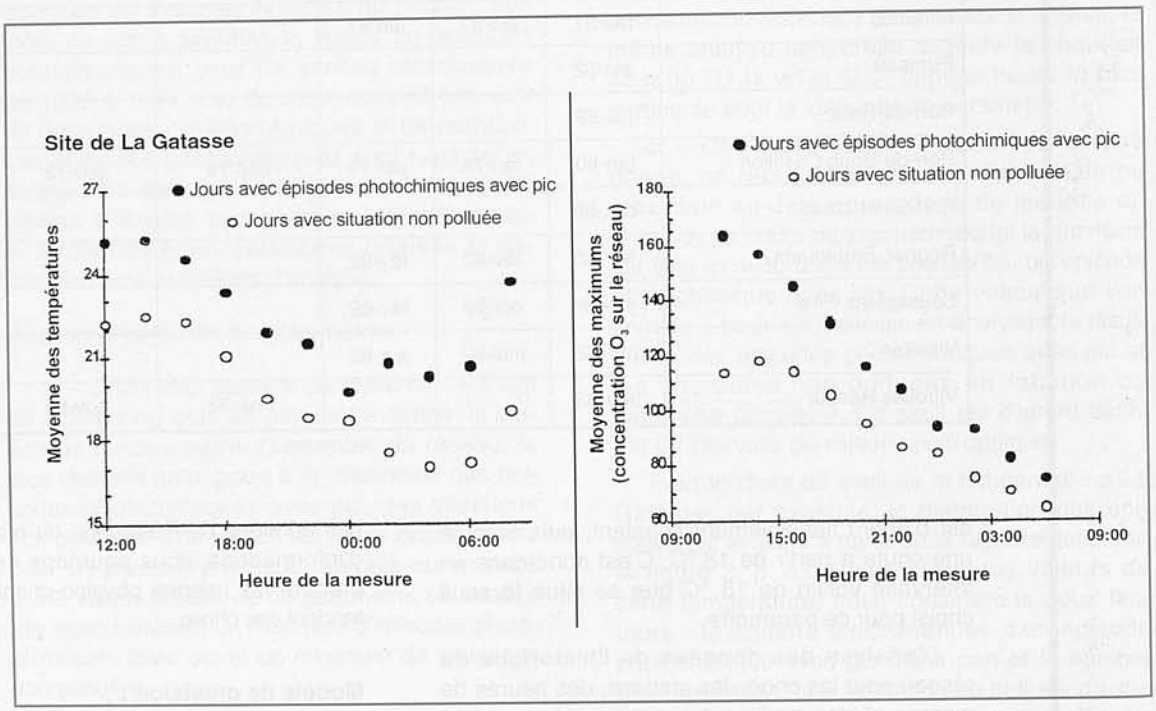

Figure 2.
Choix de l'heure de mesure : cas des paramètres température à La Gatasse et concentration maximale d'ozone.
a. Différence entre la moyenne des températures pour les jours avec pic et les jours non pollués : mesures faites à différentes heures sur le site de La Gatasse.
b. Différence entre la moyenne des maximums de concentration O_3 sur le réseau pour les jours avec pic et les jours non pollués : mesures faites à différentes heures de la journée.
Measurement time selection for the temperature and the maximum ozone concentration parameters in La Gatasse.

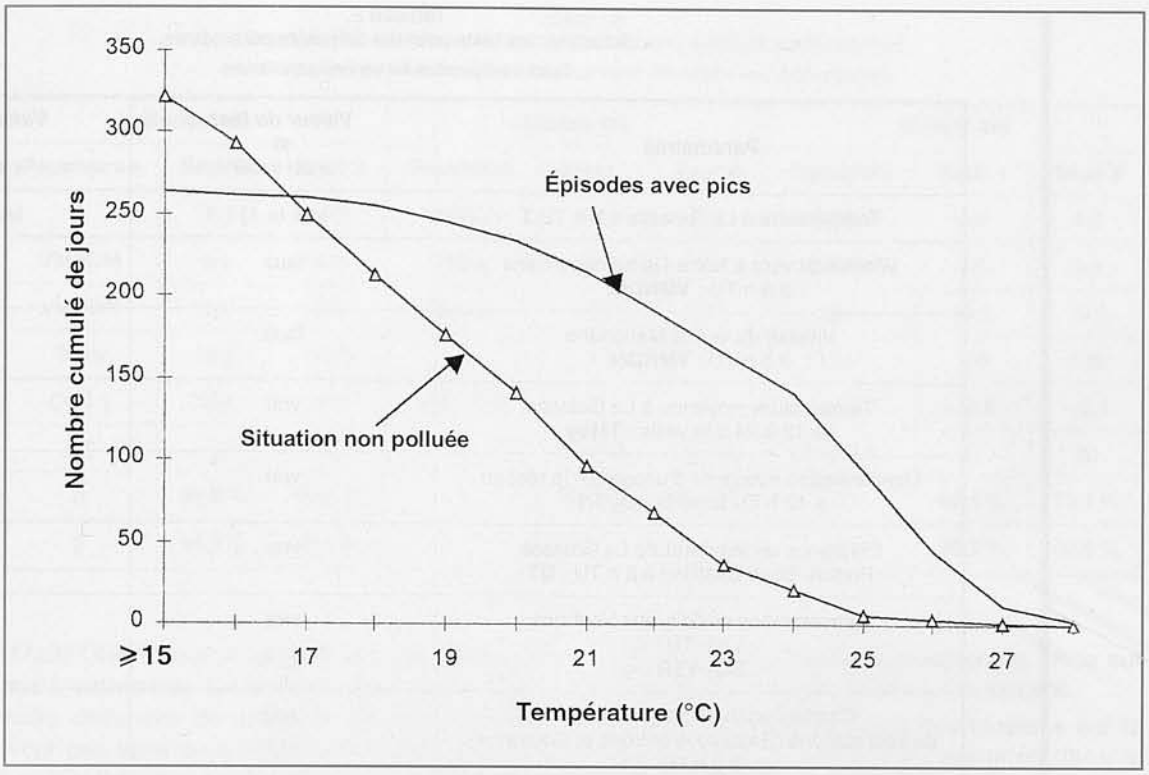

Figure 3.
Choix du seuil, cas du paramètre température maximale du jour à La Gatasse.
Nombre cumulé de jours avec pics ou non pollués en fonction du seuil fixé pour le paramètre température maximale du jour à La Gatasse.
Threshold selection for the day maximum temperature in La Gatasse.

pic est prévu si tous les tests donnent simultanément la valeur vraie (= 1). Ces tests sont basés sur les paramètres et leurs seuils respectifs. Le tableau 2 illustre des exemples de paramètres utilisés dans nos modèles de prévision.

La construction du modèle consiste alors à

– définir les paramètres à coupler et leur fixer un seuil ;

– réaliser les tests sur les données de l'historique pour en déduire les prévisions du modèle ;

– calculer la performance de prévision du modèle ;

– ajuster les seuils des paramètres pour optimiser cette performance.

Optimisation

Pour évaluer la performance des modèles, par rapport aux objectifs fixés par AIRFOBEP, nous calculons deux facteurs :

– α : pourcentage de jours avec épisodes photochimiques avec pic justement prévus.

α = Jours avec pic prévus avec pic/Total des jours avec pic.

– β : pourcentage de jours sans pic prévus avec pic.

β = Jours sans pic prévus avec pic/Total des jours prévus avec pic.

Ces deux facteurs sont plus restrictifs que le simple calcul d'un pourcentage de bonnes prévisions. Une performance est d'autant meilleure que α est élevé et β faible.

Un ensemble de paramètres est sélectionné par l'expertise et par l'analyse des données. Les modèles de prévision sont élaborés en combinant l'ensemble ou une partie de ces paramètres assortis de leurs seuils respectifs. Nous avons développé un programme informatique pour simuler les performances de prévision de différents modèles, sur les données de l'historique du réseau. La figure 4 montre, dans le cas d'une combinaison de cinq paramètres, le résultat d'une telle simulation. Sur ce type de résultats, il est possible de choisir les combinaisons optimales de seuils correspondant aux objectifs de la prévision.

Le tableau 3, p. 65, illustre des exemples de modèles ainsi élaborés et leurs performances de prévision sur les données de l'historique du réseau.

Application et résultats

Prévision des pics d'ozone au cours de l'été 1998

Nous avons testé des modèles élaborés suivant la méthodologie décrite ci-dessus avec les données du réseau de stations de mesures

Tableau 2.
Structure des tests pour les différents paramètres.
Tests configuration for various parameters.

Paramètres	*Valeur du test si > au seuil*	*Valeur du test si < au seuil*
Température à La Gatasse à 8 h TU **T**	vrai (= 1)	faux (= 0)
Vitesse du vent à Notre-Dame des marins à 8 h TU : **VMNDM**	faux	vrai
Vitesse du vent à Marignane à 8 h TU : **VMRGN**	faux	vrai
Température moyenne à La Gatasse de 12 à 24 h la veille : **TMoy**	vrai	faux
Concentration maximale d'ozone sur le réseau à 12 h TU la veille : **O_3/J-1**	vrai	faux
Différence de température La Gatasse Port-de-Bouc Castillon à 8 h TU : **DT**	vrai	faux
Concentration de SO_2 aux Ventrons à 8 h TU : **SO_2-VTR**	vrai	faux
Concentration de SO_2, maximum de trois stations (Gatasse, Ventrons et Couronne), à 8 h TU **SO_2-Max**	vrai	faux

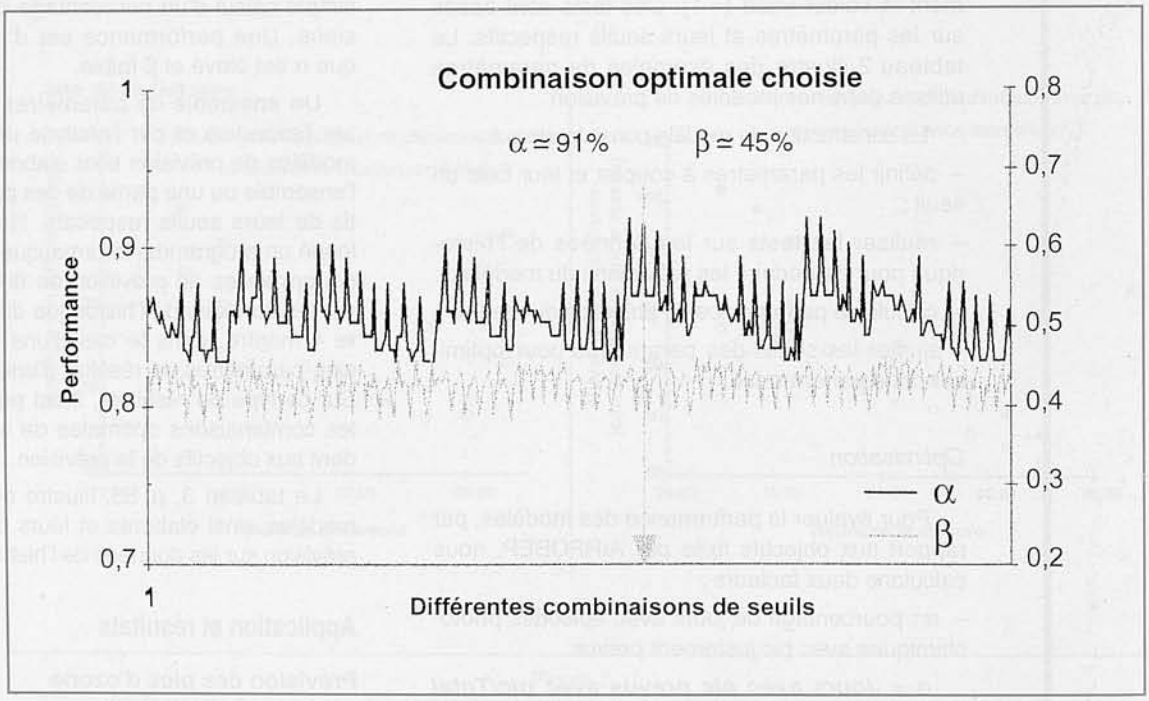

Figure 4.
Simulation de la prévision à (J) sur l'historique du réseau : combinaisons de seuils à partir de cinq paramètres.
Performances (α et β) d'un modèle avec cinq paramètres en fonction de différentes combinaisons de seuils choisis pour ces paramètres.
A D day prediction simulation run on the five last years data. Results for various combinations of thresholds of five parameters.

Tableau 3.
Exemples de modèles de prévision : structure, seuils et performances.
Examples of prediction models : configuration, thresholds and performances.

Modèle M1			Modèle M2			Modèle M3		
Paramètres	**Seuil 1**	**Seuil 2**	**Paramètre**	**Seuil 1**	**Seuil 2**	**Paramètre**	**Seuil 1**	**Seuil 2**
T	18,8	18,8	VMRGN	3,3	3,3	VMNDM	5,9	4,9
VMNDM	5,9	4,9	TMoy	19,2	19,2	VMRGN	3,5	3,3
VMRGN	3,5	3,3	O_3/J-1	109	109	TMoy	19,2	19,2
TMoy	19,2	19,2	DT	– 2,6	– 2,1	O_3/J-1	109	109
O_3/J-1	109	109	SO_2-VTR	7	10	DT	– 2,5	– 2,1
DT	– 2,6	– 2,1	α	**89,3 %**	**79,5 %**	SO_2-Max	11	20
α	**90,6 %**	**86,1 %**	β	**44,9 %**	**34,9 %**	α	**89,1 %**	**79,7 %**
β	**44,5 %**	**37,9 %**				β	**40,9 %**	**32,0 %**

d'AIRFOBEP pour la période de l'été 1998 (de mai à septembre). Ce test nous permet de valider notre démarche de prévision car ces données n'ont pas servi dans l'élaboration des modèles. Les résultats sont à comparer avec ceux obtenus sur l'historique du réseau.

Modèles de prévision à J

La prévision à J est faite pour le jour même (6 ou 8 h TU), quelques heures avant l'occurrence probable d'un pic de pollution. Pour cette prévision, nous avons choisi des combinaisons de paramètres mesurés par le réseau pour élaborer trois modèles. Un compromis entre α et β est choisi (α>80 % et β<40 %) pour avoir une prévision avec une confiance acceptable à la fois pour l'information du public et à des fins de mise en place de mesures réglementaires.

Par ailleurs, nous pensons que chaque modèle, à travers son ensemble de paramètres couplés, rend compte de typologies de situations légèrement différentes. Ainsi, pour considérer l'ensemble de ces typologies, trois modèles sont utilisés. Le résultat de la prévision se fonde sur une règle de décision basée sur la majorité.

Les résultats des tests des modèles sur la période de l'été 1998 sont résumés dans le tableau 4. Pour mieux apprécier les performances des différents modèles, nous avons noté le nombre des fausses prévisions « acceptables » : concentration d'ozone comprise entre 150 et 180 µg/m³.

Modèles de prévision à J+1

La même démarche est adoptée pour prévoir les pics de pollution pour le lendemain (J+1). Dans ce cas, les combinaisons de paramètres regroupent des paramètres mesurés par le réseau et des paramètres prévus.

La structure et les performances du modèle élaboré pour la prévision à J+1 sont données dans le tableau 5. Ce modèle concerne la prévision pour le cœur de l'été : mois de juillet et d'août. Il utilise une combinaison de quatre paramètres, deux mesurés par le réseau et deux prévus par Météo-France. Ce modèle a été optimisé à l'aide des données de l'historique, puis testé au cours de l'été 1998.

Tableau 4.
Prévision à J : tests de la modélisation au cours de l'été 1998.
D day prediction : modelling tests during the 1998 summer.

Modèle	M1	M2	M3	Combinaison
α	77 % 21/27 j	66 % 18/27 j	74 % 20/27 j	74 % 20/27 j
β	27 % 8/29 j dont 5 j > 150 µg/m³	28 % 7/25 j dont 5 j > 150 µg/m³	16 % 4/24 j dont 4 j > 150 µg/m³	26 % 7/27 j dont 5 j > 150 µg/m³

Période de test : mai - juin - juillet - août 1998.

Tableau 5.
Prévision à (J+1) : tests de la modélisation au cours de l'été 1998.
(D+1) day prediction : modelling tests during the 1998 summer.

Paramètres	Seuil 1
Concentration maximale d'ozone sur le réseau, le jour J à 13 h TU	109 µg/m^3
Concentration maximale de SO_2 sur le réseau, le jour J à 12 h TU	4 µg/m^3
Température prévue à Port-de-Bouc, le jour J+1 à 15 h TU	28 °C
Direction du vent prévue à Port-de-Bouc, le jour J+1 à 15 h TU	180-270 degrés
α	**86 %** 12/14 j
β	**37 %** 7/19 j dont 5 j > 150 µg/m^3

Conclusion

Le modèle de prévision de la pollution par l'ozone décrit dans ce rapport a été développé pour la région de l'étang de Berre.

Ce modèle est construit à partir des traitements statistiques des données, orientés par l'expertise du réseau AIRFOBEP. On sélectionne les paramètres les plus importants pour le phénomène de la pollution par l'ozone dans la région. On détermine les lieux, les heures de mesures et les seuils de ces paramètres, qui discriminent au mieux les épisodes photochimiques avec pic (concentration ≥ 180 µg/m^3) des autres situations de pollution. Ces éléments sont optimisés grâce à un programme de simulation pour obtenir, sur les données de l'historique, les meilleures performances. Par la suite, les modèles construits suivant cette méthodologie, sont validés par des tests effectués en dehors de la période de l'historique. C'est ainsi que plusieurs modèles de ce type ont été testés dans le courant de l'été 1998 pour effectuer des prévisions à J (pour le jour même) et à J+1 (pour le lendemain). Les résultats obtenus sont satisfaisants eu égard aux performances recherchées ; ils sont par ailleurs cohérents avec les simulations sur l'historique.

Mots clés

Ozone. Pic de pollution. Prévision. Qualité de l'air.

Keywords

Ozone. Pollution peaks. Prediction. Air quality.

Références

- Deniau C, Dilber S, Ghattas B. Typologie des stations d'ozone en vue d'une prévision. Rapport GREQUAM 1997.
- Émissions dans l'atmosphère des différentes régions françaises en 1994. Inventaire PRQA, CITEPA 1998.
- Fromage A, Gilibert E. Prévision des épisodes d'ozone : état de l'art dans le monde. Pollution Atmosphérique 1997 ; 154 : 52-9.
- Qualité de l'air de la région de l'étang de Berre. Bilan annuel 1997. AIRFOBEP.
- Statistiques appliquées à l'exploitation des mesures. Commissariat à l'Énergie Atomique, Masson Éd. 1978.