

Prévision des épisodes d'ozone : état de l'art dans le monde

World review of ozone forecasting methods and roles

Anne FROMAGE (*), Elisabeth GILIBERT (**)

RÉSUMÉ

Face à la sensibilisation croissante de la population vis-à-vis de la pollution urbaine, les organismes de surveillance de la qualité de l'air d'un grand nombre de pays ne se contentent plus de mesurer les concentrations de polluant dans l'air ambiant : ils prévoient également l'occurrence de pointes de pollution aiguës, généralement 24 heures à l'avance. Pour cela, ces organismes utilisent des modèles de prévision, dont la plupart sont fondés sur des considérations statistiques.

Après avoir exposé brièvement le contexte de la pollution atmosphérique dans le monde, l'article recense ces outils de prévision. On en dégage ensuite les tendances actuelles et on met en évidence les caractéristiques communes à tous les modèles : forte dépendance vis-à-vis des prédicteurs météorologiques, difficulté à prévoir des événements rares, plus ou moins grande capacité d'évolution dans le temps. On présente ensuite les performances atteintes par les outils de prévision.

Une fois qu'un modèle de prévision a fourni un résultat, celui-ci est communiqué à la population : on s'intéresse par conséquent aux modes de diffusion des résultats des modèles de prévisions. Enfin, l'article conclut sur le rôle que peuvent avoir les prévisions au sein des politiques globales de lutte contre la pollution atmosphérique.

1. Introduction

La sensibilisation croissante de la population en matière de pollution atmosphérique et l'évolution du cadre réglementaire impliquent une évolution du rôle des organismes de surveillance de la qualité de l'air : on leur demande non seulement de mesurer, mais aussi de prévoir les épisodes de forte pollution. Cette prévision permet à la fois d'améliorer l'information du public mais également la mise en place de mesures temporaires de réduction des émissions. Par exemple, dans le

ABSTRACT

The growing concern of the population with regards to the problem of atmospheric pollution has induced a change in the role of air quality monitoring networks, especially those monitoring air pollution in large cities which suffer from summer smog. The population is no longer satisfied with real-time measurements but wants to be warned of high pollutants concentrations in advance (typically 24 hours in advance).

A brief review of the world air pollution situation shows the diversity of contexts regarding air quality (rules, distribution of the different roles, pollution levels). Some countries have been forecasting air pollution, and especially ozone, for a large number of years. Although most of them use statistical models based on the analyses of past conditions which induced high pollution episodes, some predict ozone levels using only their knowledge of the meteorological situation. Nowadays two trends appear regarding ozone forecasting : either very basic statistical methods, such as regression, or more sophisticated ones, such as neural networks.

The paper then reviews several behaviours common to most forecasting models : the uncertainty due to the great dependence upon the input data (especially the predicted value of meteorological parameters), the difficulty in predicting rare events, and the different capabilities to be adapted when faced with changing air pollution conditions. Consequently the best skill-score one can expect from an ozone forecasting model (around $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as mean absolute error) depends only slightly on the method used.

Once the forecast is made by a bureau, the latter has to release it to various targets. To help the population understand, the bureau often drastically simplifies the forecast, regarding the prediction itself as its spatial scale. This helps to clarify the message and thus heighten public awareness. The paper concludes with the role of a forecasting system among other strategies to cut down the emissions and thus reduce air pollution.

(*) Institut Supérieur d'Ingénierie et de Gestion de l'Environnement, 35, rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex.

(**) AIRPARIF, 10 rue Crillon, 75004 Paris.

cadre de la procédure d'alerte et d'information du public en Ile-de-France, des restrictions des émissions (circulation automobile et industries) peuvent être mises en place par le Préfet de Police en cas de dépassement du niveau d'alerte.

Cependant, de telles mesures doivent être prises par anticipation. Au moment du dépassement du seuil d'alerte, il est déjà trop tard pour prendre des mesures de réduction efficaces car les polluants ont été émis dans les heures qui précèdent (ceci est particulièrement vrai pour l'ozone dont les concentrations maximales se retrouvent en milieu d'après-midi). De plus, si des restrictions de la circulation automobile sont prises, les usagers doivent disposer du temps nécessaire pour s'organiser et utiliser d'autres moyens de transport que leur voiture particulière.

A la demande de son Conseil d'Administration, AIRPARIF, organisme de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France [10], doit se doter d'un système permettant de prévoir en début d'après midi pour la journée du lendemain les épisodes de pollution. La conception d'un tel outil de prévision pour le lendemain met nécessairement en jeu de nombreux acteurs (réseaux de mesure, météorologistes, statisticiens). Dans cet objectif et en partenariat avec le Conseil régional d'Ile-de-France et la Ville de Paris, AIRPARIF a financé une étude effectuée par une étudiante en Mastère en environnement ISIGE [5]. Cette étude, dont les principaux résultats sont repris dans cet article, vise à établir l'inventaire des systèmes de prévision opérationnels dans le monde.

2. L'ozone : une priorité dans tous les pays

Durant les 20 dernières années, la pollution de l'air a changé de visage partout dans le monde : d'une pollution majoritairement industrielle, on est passé progressivement à une pollution plus « urbaine » et plus diffuse, due essentiellement aux transports. La population, de plus en plus informée par les médias de la qualité de l'air qu'elle respire a posteriori et en temps réel, réclame d'être prévenue à l'avance de l'occurrence des épisodes de pollution élevées afin de pouvoir se protéger.

Une enquête ainsi que des visites menées auprès des structures de surveillance de la qualité de l'air et d'universitaires dans le monde entier ont révélé que la majorité des pays développés (par exemple : un grand nombre d'Etats américains, de *Länder* allemands, Canada, Autriche, Belgique, Pays-Bas, Royaume-Uni, Japon, Corée du Sud, Hong-Kong, Australie...) effectuait des prévisions des niveaux d'ozone, et ceci depuis fort longtemps pour certains : 20 ans pour le Japon, la Californie, la Pennsylvanie... En effet l'ozone, principal composant du smog photochimique estival, constitue dans le monde entier le problème le plus préoccupant, car il s'agit du polluant dont les concentrations mesurées excèdent le plus fréquemment les seuils réglementaires.

3. Une demande d'outils de prévision variée

En matière de prévision, l'étude révèle l'existence de **contextes variés**. D'un point de vue **réglementaire** d'abord, un grand nombre de pays dispose de procédures d'alertes relatives à l'ozone (Etats-Unis, Allemagne, Autriche, Japon, Australie...), mais pas la Suisse par exemple. Ces **procédures d'alerte** couvrent une zone géographique plus ou moins grande. Elles sont basées sur des niveaux de concentration définis par rapport à des valeurs seuil qui varient d'un pays à l'autre en fonction des réglementations applicables. Par exemple, les pays membres de l'Union Européenne reprennent les valeurs de la Directive Ozone 92/72/EC (seuil d'information de la population et seuil d'alerte : 180 et 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire).

Par contre, l'Allemagne a instauré un niveau plus contraignant en reprenant dans la réglementation nationale le seuil de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour déclencher des mesures de restriction de la circulation. Ce seuil est identique au standard fédéral américain (*Air Quality Standard* fédéral de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il est très rare que les prévisions soient obligatoires. Toutefois, l'Agence de Protection de l'Environnement américaine (EPA) oblige chaque Etat à prévoir un indice de pollution (PSI, tenant compte des concentrations en O_3 , SO_2 , CO et PM_{10}) pour le lendemain. Il en est de même dans une récente loi allemande (*Ozongesetz*, juillet 1995 [3]) qui rend obligatoire la prévision des dépassements du seuil de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentionné précédemment.

Dans la majorité des pays, les **organismes chargés des prévisions** sont également ceux responsables de la surveillance de la qualité de l'air. Mais ceux-ci font également appel à des instituts météorologiques qui leur fournissent les données météorologiques nécessaires à tout modèle de prévision des niveaux d'ozone, et également aussi à des universitaires ou à des bureaux d'étude qui conçoivent parfois les modèles de prévision.

Enfin, il est évident que la pollution atmosphérique affecte pays et agglomérations de manière inégale. Entre les deux extrêmes (par exemple la pollution extrêmement préoccupante, quoique en forte diminution, à Los Angeles, qui donne aux prévisions un caractère d'urgence, et les niveaux modérés d'ozone mesurés en Suisse), toutes les situations intermédiaires existent et donnent lieu à des demandes d'outils de prévision fort variées.

4. La prévision de la pollution atmosphérique : quels outils ?

Parmi les systèmes utilisés pour élaborer des prévisions de la pollution atmosphérique, on peut distinguer trois grandes familles :

- Les prévisions **empiriques** basées uniquement sur l'expertise humaine du prévisionniste (exemples : Chicago, Melbourne, Zürich). Celles-ci reposent uniquement sur l'analyse des situations météorologiques par des personnes travaillant généralement dans le même organisme depuis 10 à 20 ans, qui connaissent donc très bien les phénomènes de la météorologie locale. Elle ne donnent lieu à aucun support informatique.

- Les **modèles physiques**

Ces modèles tentent de représenter les processus de transport, diffusion et de transformation des polluants. Ils permettent ainsi d'établir une chaîne de cause à effet entre les émissions, les conditions météorologiques et les concentrations ambiantes. Ils peuvent être divisés en deux grandes familles : les modèles lagrangiens (système mobile de coordonnées) ou les modèles eulériens (système fixe de coordonnées).

Ils nécessitent la résolution d'équations complexes, de nombreuses données d'entrée et de longs temps de calculs. Pour ces raisons ces modèles sont rarement utilisés à des fins de prévision même si quelques pays utilisent des modèles lagrangiens ou des modèles de boîtes (exemples : Royaume-Uni [16], [17], Pays-Bas).

Ces modèles sont majoritairement utilisés en mode diagnostique, c'est-à-dire qu'ils permettent de tester l'efficacité des scénarios de réduction des émissions sur un épisode de pollution bien documenté.

- Les **modèles statistiques**

Ces modèles sont fondés sur l'analyse statistique des données du passé pour obtenir des corrélations entre des données d'entrée (paramètre météorologiques et de pollution) et de sortie (concentrations d'ozone). Contrairement aux modèles physiques, ils n'exigent aucune hypothèse physique, et permettent ainsi de s'affranchir de la difficulté de modélisation des phénomènes photochimiques gouvernant la production et la destruction d'ozone.

Ils sont construits à partir d'une base de données historique (fichier d'apprentissage). Ils ne permettent de prévoir que des cas connus par le passé.

Ce sont les modèles **les plus employés** dans le monde entier, car ils sont faciles à mettre en œuvre (temps de calcul de quelques minutes, peu de données d'entrée,...).

Dans la suite de l'article, seuls les modèles statistiques seront abordés en détail (description, limites, performance).

4.1. Les prévisions statistiques

On peut classer les modèles statistiques selon les méthodologies employées :

- Les modèles de **régression multivariée**

Ces régressions peuvent être réalisées sur l'ensemble des jours de la base de données (exemple : Californie, San Francisco [1], Maryland [13], Bâle, Autriche [18], Allemagne...).

Elles peuvent également être réalisées après une classification préalable des jours. Les critères de classification peuvent être multiples : type de temps, origine des masses d'air,... (exemple : Los Angeles [4], Tokyo [11], Hong-Kong [8], Saxe...).

- Les **réseaux de neurones** avec par exemple : Brandenburg [9], Bavière, Houston, Corée du Sud.

- Les méthodes de recherche de **cas passés similaires**, avec par exemple : Pays-Bas [12], Belgique...

- Les **arbres de décisions** (*Classification And Regression Tree* (CART), etc.) avec par exemple Canada [2], Sidney, Atlanta...

L'étude a permis de dégager deux tendances parmi ces modèles :

– soit l'on se tourne vers des modèles classiques (exemple : régression), avec en général peu de prédictors. Dans la majorité des cas, les prédictors sont : la température maximale prévue pour le lendemain et la concentration en ozone de la veille.

– soit au contraire on développe des modèles plus sophistiqués (logique floue, réseaux de neurones) qui utilisent en entrée plus de paramètres. Ils sont également beaucoup plus complexes et il est plus difficile d'en tirer des relations simples entre prédictors (paramètres qui servent à prévoir) et prédictand (ce que l'on cherche à prévoir).

Si les méthodologies sont diverses, **les sorties de modèles** varient également, tant dans la grandeur effectivement prévue que dans l'échelle spatiale de la prévision :

– un grand nombre d'entre eux prévoit les prévisions de dépassements de seuils (soit de manière binaire : « dépassement / pas de dépassement », soit une probabilité de dépassement), d'autres prévoient un intervalle de confiance pour la concentration en ozone.

– la majorité prévoit la valeur la plus « pessimiste » (concentration la plus élevée) sur toute une région, qui contient en général plusieurs

sites de mesure. Quelques-uns prévoient néanmoins les niveaux d'ozone site par site.

Les diverses méthodes statistiques répondent toutes aux **exigences d'un outil de prévision**, à savoir que celui-ci doit être ergonomique, rapidement opérationnel et utilisable facilement **en routine**.

4.2. Les limites des modèles statistiques

Tous les modèles statistiques présentent des comportements communs, notamment relatifs aux **données d'entrée**. Plus le modèle utilise de paramètres, mieux il représente les pics de concentration observés dans le passé, mais plus on accentue le problème des valeurs manquantes et les sources d'erreur potentielles. En effet, à chacune des données d'entrée est associée une incertitude, en particulier en ce qui concerne les prévisions des paramètres météorologiques (température ± 2 à 3°C selon les situations –, ensoleillement, vitesse du vent...). Selon la formule consacrée, « *Garbage in, garbage out* » : on ne peut espérer prévoir correctement les concentrations d'ozone si les données d'entrée sont elles-mêmes trop incertaines.

En outre, toutes les données pertinentes pour la prévision – sélectionnées suite à une analyse statistique préalable, par exemple une Analyse des Composantes Principales (ACP) – ne sont pas forcément disponibles pour l'organisme chargé des prévisions. Par exemple, le rayonnement est encore rarement mesuré. Il est très souvent remplacé dans les modèles statistiques par la couverture nuageuse. Les modèles utilisent généralement de **4 à 10 grandeurs d'entrée**.

De plus, les modèles statistiques ne sont valides que dans le domaine de concentrations pour lequel ils ont été établis. Si dans la base de données dont on dispose il n'y a que très peu d'épisodes de forte pollution, on ne pourra en aucun cas prétendre prévoir correctement des niveaux élevés d'ozone.

Enfin, à moins d'être à « apprentissage continu » comme certains CART et réseaux neuronaux, **la plupart des modèles statistiques ne sont valides qu'à condition de pollution identiques**. Ainsi, si la qualité de l'air s'améliore, ce que l'on ne peut qu'espérer bien évidemment (cas de la Californie par exemple), les coefficients de corrélation entre les diverses grandeurs varient. Or la plupart des modèles statistiques sont statiques, à savoir qu'ils ont été calibrés pour des conditions de pollution bien précises. Par conséquent, lorsque les conditions de pollution changent, le modèle n'est plus adapté, et ses performances baissent. Si l'on conserve un tel modèle « obsolète », on doit veiller à adapter les sorties de modèles, en fonction des conditions de pollution changeantes.

On comprend ainsi qu'un modèle ne doit rester qu'un **outil** pour le prévisionniste. C'est pourquoi dans un certain nombre de pays (à Los Angeles, dans le Maryland, aux Pays-Bas, à Berlin...) la prévision finale est effectuée par une, voire plusieurs personnes, au vu des résultats du modèle, de leur propre expérience, et éventuellement de paramètres non pris en compte par le modèle informatique (données de pollution de réseaux voisins par exemple).

5. Les performances des modèles

Il est extrêmement difficile de comparer des modèles de prévision entre eux, étant donné la variété des situations et des présentations de performances par les différents organismes. Néanmoins, un modèle de prévision doit en premier lieu fournir de meilleures performances que le « modèle de persistance », qui consiste à prévoir pour le lendemain la concentration en ozone de la veille.

On estime généralement les performances d'un modèle de deux manières :

- soit on utilise les définitions mathématiques « classiques » c'est-à-dire erreur absolue moyenne ou erreur quadratique. Au vu des nombreux modèles existants, il apparaît que les meilleurs modèles avaient une **erreur absolue moyenne de $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$** (Hollande, Autriche, New-York...),

- soit, pour la prévision de dépassement de seuils, on raisonne en terme de « **table de contingences** », à savoir que l'on compte le nombre de fausses alertes, de non détections, etc. Un certain nombre de « scores » sont alors définis (voir tableau I). En règle générale, on cherche à maximiser la probabilité de taux de détection (nombre d'événements bien prévus sur l'ensemble des événements observés) et à minimiser le taux de fausse alerte (nombre d'événements prévus à tort sur l'ensemble des événements prévus). La notion de « Threat score » est particulièrement intéressante et significative car elle exclut les jours triviaux (aucun dépassement prévu ni observé).

Le tableau II présente à titre indicatif un certain nombre de scores. Il apparaît que les différents modèles présentent des performances variables. L'exploitation de ces résultats doit néanmoins rester très prudente, puisque les scores correspondent à des seuils différents, et à des situations de pollution également très variées.

Pour les prévisions de dépassement de seuils, l'estimation de l'erreur acceptable revient à établir un compromis entre le nombre de fausses alertes et le taux de détections. En effet, si on ne veut manquer aucun épisode et par conséquent avoir un taux de détection de 100 %,

Tableau I.
Table de contingence et scores associés.
Contingency table and forecast skills.

	Dépassement prévu	Dépassement non prévu
Dépassement mesuré	A	B
Dépassement non mesuré	C	D

Scores issus de la table de contingence :

- Taux de détection $= A / (A+B)$
- Taux de non détection $= B / (A+B)$
- Taux de fausse alerte $= C / (A+C)$
- Threat score $= A / (A+B+C)$

Tableau II.
Scores de quelques modèles de prévision de dépassement de seuil en ozone (classés par taux de fausse alerte croissant).
Forecast skills regarding ozone exceedances (sorted by increasing False Alarm Rate).

Nom	Taux de fausse alerte	Taux de détection	Threat score
Baden-Württemberg (180 µg/m³) [15], [19]	5 %	86 %	83 %
Maryland (250 µg/m³) [14]	18 %	64 %	56 %
Pays-Bas, pays entier (180 µg/m³) [12]	21 %	73 %	61 %
Bavière Sud (180 µg/m³)	27 %	73 %	57 %
Autriche (140 µg/m³)	30 %	54 %	44 %
Brandenburg (180 µg/m³)	35 %	53 %	41 %
Japon (240 µg/m³)	52 %	48 %	32 %
Bavière Nord (180 µg/m³)	57 %	56 %	32 %
Pays-Bas, par région (180 µg/m³)	59 %	65 %	34 %
Londres (180 µg/m³)	69 %	80 %	29 %
Royaume-Uni, été 1995 (180 µg/m³) [16]	73 %	82 %	25 %
Royaume-Uni, été 1996 (180 µg/m³) [16]	79 %	100 %	21 %
Georgia, USA (240 µg/m³) [6]	82 %	57 %	16 %
San Francisco (250 µg/m³) [1]	88 %	75 %	11 %

on augmente inévitablement le taux de fausse alerte (exemple du Royaume Uni, été 1996)

Le rapport entre ces deux scores intervient inévitablement dans le calage des paramètres du modèle. Compte tenu de la volonté des politiques et des coûts associés aux mesures prises suite à des prévisions d'épisodes de forte pollution, deux stratégies s'opposent :

– soit on privilégie la détection des épisodes, quitte à augmenter le nombre de fausses alertes. Ceci peut se justifier par le fait que les fausses alertes correspondent souvent à des concentrations juste inférieures au seuil limite entre alerte et non alerte, si bien que l'on estime que ces fausses alertes ne remettent pas en cause les performances du modèle ;

– soit l'on considère qu'un trop grand nombre de fausses alertes diminue la crédibilité du prévisionniste auprès des autorités et de l'opinion publique, et donc en même temps l'efficacité des mesures prises pour réduire les émissions et l'exposition. On cherche alors en priorité à les diminuer.

Ce sont ces deux stratégies – et toutes les situations pratiques intermédiaires – qui expliquent les diverses notions d'erreur acceptable dans différents Etats. Finalement, une solution pourrait être d'adopter des stratégies différentes en fonction du seuil considéré. Par exemple, pour le seuil entraînant uniquement une information ou des recommandations, le modèle est calé pour maximiser le taux de détection. Par contre,

pour le seuil entraînant des mesures de restriction obligatoire de la circulation avec un coût économique fort (par exemple, seuil de 240 µg/m³ en Allemagne), le modèle doit minimiser le taux de fausse alerte.

Au vu des expériences étrangères, un taux de fausse alerte inférieur à 20 % et un taux de détection supérieur à 60 % sont souhaitables. Notons que certains modèles opérationnels ne remplissent pas ces critères, et sont néanmoins jugés convenables par leurs utilisateurs.

Notons également que l'on peut également apprécier les performances des modèles de prévision en utilisant une combinaison des outils d'évaluation précédents réunis dans une **équation de performance globale**, comme à Los Angeles [4] ou à Hong-Kong [8]. Ces scores totaux tentent de tenir compte à la fois des erreurs absolues et relatives de prévision, et des classifications correctes, donc des dépassements de seuils en particulier. On peut intégrer à ces équations de performance globale des notions adaptées à chaque contexte. Elles peuvent être utilisées en relatif pour comparer différents modèles de prévision.

6. La diffusion des prévisions

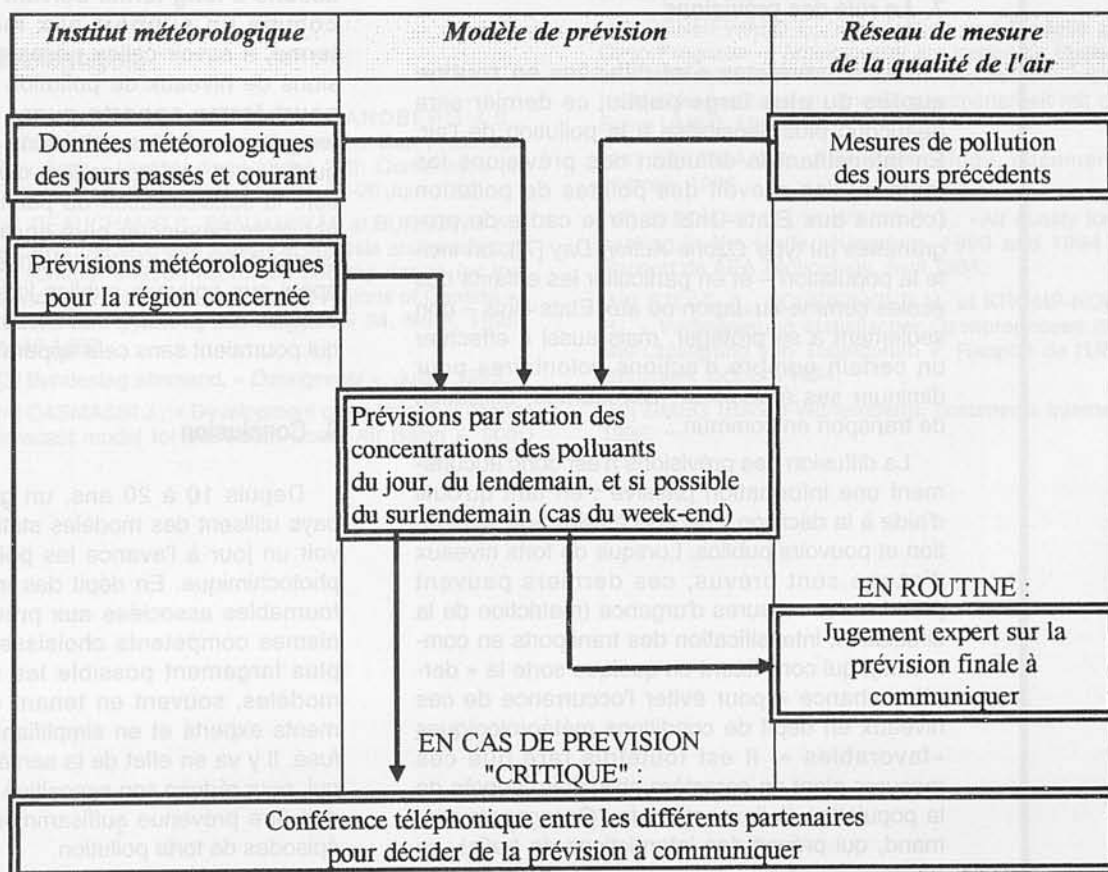
Une fois un modèle aux performances « acceptables » développé, il s'agit d'en communiquer les résultats, à la fois aux autorités, et à la population, les messages correspondant pouvant être différents. Les prévisions destinées à la population visent à l'**informer**, la **sensibiliser** et la **faire agir**, d'une part pour diminuer son exposition, et d'autre part pour réduire ses émissions. Afin que les prévisions jouent pleinement leur rôle d'information et de sensibilisation, un certain nombre de conditions doivent être remplies. Les prévisions doivent être diffusées :

- à large échelle, en utilisant tous les moyens de communication : communiqués de presse, bulletins radiophoniques et télévisuels, serveurs vocaux, serveurs Internet...

- suffisamment à l'avance : généralement, les organismes chargés des prévisions les communiquent la veille du jour pour lequel la prévision est effectuée, soit en fin de matinée ou en début d'après-midi ;

- tous les jours, donc même le week-end, et quel que soit le niveau de pollution prévu ;

Tableau III.
Organigramme des rôles des acteurs intervenant dans les programmes de prévision.
Schematic organisation of the roles of the different partners involved in the forecast.



— de manière à être très compréhensibles. C'est pourquoi les sorties des modèles de prévision sont généralement simplifiées. Le message doit néanmoins toujours contenir la **notion d'incertitude** inhérente aux prévisions. C'est pourquoi on diffuse généralement un intervalle pour la concentration en ozone, ou une probabilité « qualitative » de dépassement de seuil (« vraisemblable », etc.). En outre, les prévisions sont diffusées à l'échelle d'une région, plus ou moins grande, et jamais à l'échelle du site de mesure, ce qui n'aurait aucun sens pour la population. Parfois, les prévisions sont diffusées sous forme de carte (exemples : Maryland, Suisse, Pays-Bas, Royaume-Uni).

La diffusion des prévisions de la façon la plus satisfaisante, c'est-à-dire de manière régulière et dans les temps requis, nécessite une coopération parfaite entre les divers acteurs en présence : les **pourvoyeurs de données** (en particulier les météorologistes et les techniciens chargés de l'exploitation du réseau de mesure), les **concepteurs du modèle** (auxquels les prévisionnistes doivent pouvoir s'adresser « facilement », afin éventuellement d'adapter le modèle au gré des résultats, des erreurs relevées et des nouvelles données disponibles), les **prévisionnistes** et les **media**. Ce n'est qu'en agissant de cette manière que la qualité et l'impact des prévisions seront les plus grands.

7. Le rôle des prévisions

Si les prévisions sont diffusées **en routine auprès du plus large public**, ce dernier sera beaucoup plus sensibilisé à la pollution de l'air. En intensifiant la diffusion des prévisions les jours où l'on prévoit des pointes de pollution (comme aux Etats-Unis dans le cadre de programmes du type *Ozone Action Day* [7]), on incite la population — et en particulier les enfants des écoles comme au Japon ou aux Etats-Unis — non seulement à se protéger, mais aussi à effectuer un certain nombre d'actions volontaires pour diminuer ses émissions : covoiturage, utilisation de transport en commun...

La diffusion des prévisions n'est donc aucunement une information passive : en tant qu'outil d'aide à la décision, elle vise à **faire agir** population et pouvoirs publics. Lorsque de forts niveaux d'ozone sont prévus, ces derniers peuvent prendre des mesures d'urgence (restriction de la circulation, intensification des transports en commun...), qui constituent en quelque sorte la « dernière chance » pour éviter l'occurrence de ces niveaux en dépit de conditions météorologiques « favorables ». Il est toutefois rare que ces mesures aient un caractère obligatoire auprès de la population (à l'exception de l'*Ozongesetz* allemand, qui prévoit des interdictions de trafic), en

raison du manque de moyens de contrôle et de l'impopularité supposée de telles mesures.

Néanmoins, les effets de telles mesures d'urgence sont sujets à controverse : l'ozone étant un polluant secondaire, si la circulation diminue, l'ozone n'est plus détruit par le NO émis par les pots d'échappement... et sa concentration augmente donc dans les villes. De plus, en raison du temps de formation de l'ozone, la diminution des émissions se produit souvent trop tard : les précurseurs ont déjà été émis... sauf si on dispose d'un système de prévision. Ces mesures de crise peuvent malgré tout être efficaces si elles s'appliquent au plus grand nombre, suffisamment à l'avance, et sur une surface suffisamment grande pour qu'elles aient de l'effet. On comprend alors parfaitement le besoin de disposer d'une prévision fiable **au moins 24 heures à l'avance**.

Ces mesures d'urgence ne suffisent bien évidemment pas. Les pouvoirs publics doivent mener une politique de diminution des émissions à long terme (renforcement du contrôle des véhicules, reformulation des carburants, incitation au covoiturage comme en Californie où une voie de l'autoroute leur est réservée...). Seules ces actions à long terme peuvent entraîner une diminution durable des émissions des polluants primaires. De plus, sachant que les pouvoirs publics agissent, la population agit alors elle-même d'autant plus volontiers lorsqu'on la sollicite lors de jours de forte pollution. Ainsi, **les actions à long terme doivent être envisagées comme un support aux mesures à court terme**, à savoir celles prises suite à des prévisions de niveaux de pollution élevés. Enfin, **le court terme apporte aussi son soutien au long terme** : si les prévisions sont diffusées au quotidien et renforcées lors d'épisodes de pollution, la sensibilisation du public augmente, et il est alors beaucoup plus enclin à modifier ses comportements au quotidien et à apporter son appui aux pouvoirs publics lorsque ces derniers décident de prendre des mesures à long terme, qui pourraient sans cela apparaître impopulaires.

8. Conclusion

Depuis 10 à 20 ans, un grand nombre de pays utilisent des modèles statistiques pour prévoir un jour à l'avance les pointes de pollution photochimique. En dépit des incertitudes incontournables associées aux prévisions, les organismes compétents choisissent de diffuser le plus largement possible les résultats de ces modèles, souvent en tenant compte de jugements experts et en simplifiant le message diffusé. Il y va en effet de la santé de la population, qui, pour réduire son exposition et ses émissions, doit être prévenue suffisamment à l'avance des épisodes de forte pollution.

Les prévisions doivent donc être considérées comme des actions à part entière dans la lutte contre la pollution atmosphérique. Bien des pays l'ont compris depuis longtemps, la France se doit de combler son retard. C'est pourquoi des réseaux de surveillance, dont AIRPARIF, débute actuellement des projets. S'il est évident que **prévoir ne suffit pas, il faut toutefois prévoir**, en vertu du principe de précaution, et car prévoir, c'est participer pleinement à la sensibilisation et à l'éducation de la population.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Philippe LAMELOISE, Directeur d'AIRPARIF, pour l'aide qu'il leur a apportée dans la réalisation de l'étude. Ils remercient également les membres des organismes étrangers qui les ont reçus.

Mots clés

Prévisions, ozone troposphérique, modèles, statistiques.

Key words

Forecast, photochemical ozone, modelling, statistics.

Bibliographie

- [1] BASSO M.J., OKIN A. et SANDBERG J.S., « Objective ozone forecasting for the San Francisco Bay Area », proceedings of the 12th Conference on Probability and Statistics, Toronto, 22-26 Juin 1992.
- [2] BEAUCHAMP S., BENJAMIN M. et BURROWS W., « CART decision-tree statistical analysis and prediction of summer season maximum surface ozone for the Vancouver, Montreal, and atlantic regions of Canada », *Journal of Applied Meteorology*, Vol 34, No 8, 1995, 1848-1862.
- [3] Bundestag allemand, « Ozongesetz », Juillet 1995.
- [4] CASMASSI J., « Development of an objective ozone forecast model for the South Coast Air Basin », 80th

Annual Meeting of the APCA, New-York, 21-26 juin 1987.

- [5] FROMAGE A., « Prévision des pointes de pollution atmosphérique : état de l'art dans le monde et perspectives pour la région Ile-de-France », Thèse professionnelle de Mastère en Ingénierie et Gestion de l'Environnement effectuée à AIRPARIF, Septembre 1996.
- [6] Georgia Department of Natural Resources : Memoranda et documents internes de l'Université du Michigan.
- [7] Georgia Department of Natural Resources, Ozone Advisory Program, Clean Air Campaign : Dossier de presse pour le programme de prévision de l'été 1996.
- [8] Hong-Kong, Ministère de l'Environnement, « Assessment of the API forecast methodology », 1995.
- [9] INCO, « Analyse des Ozonsommers 1994 im Land Brandenburg zur Auswertung und Modellverfeinerung des Ozon-Prognosesystems auf der basis neuronaler Netze PROZON », im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg.
- [10] LAMELOISE P., PETIT-COUVIAUX F., THIBAUT G., « La modernisation du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, 1989-1993 », *Pollution Atmosphérique*, No 131, 1991, 418-429.
- [11] National Institute for Environmental Studies (Japon), documents internes.
- [12] RIVM (Pays-Bas), documents internes.
- [13] RYAN W.F., « Forecasting severe ozone episodes in the Baltimore metropolitan area », *Atmospheric Environment*, Vol. 29, No 17, 1995, 2387-2398.
- [14] RYAN W.F., « Preliminary report on ozone forecasts for the Baltimore metropolitan area », University of Maryland, Septembre 1995.
- [15] SENNEWALD E., « Gedanken und Modelle zur Ozon-Prognose », Arbeitspapier am Institut für Statistik und Mathematische Wirtschaftstheorie der Universität Karlsruhe, im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Firma UMEG, Mars 1993.
- [16] STEDMAN J., AEA Technology, documents internes, 1996.
- [17] STEDMAN J.R. et WILLIS P.G., « Air quality forecasting in the United Kingdom, 1993 and 1994 », Rapport de AEA Technology, Avril 1995.
- [18] STOHL A., SCHEIFINGER H. et KROMP-KOLB H., « Verbesserung statistischer Ozonprognosen mittels Clusterung von Trajektorien », Rapport de l'UBA autrichien, Octobre 1994.
- [19] UMEG (Baden-Württemberg), documents internes, 1996.