

Etude des PSQA : Synthèse

- 2007 -



Laboratoire Central
de Surveillance de la Qualité de l'Air

Thème : Modélisation

1. Remarques générales

La modélisation est de manière générale très peu développée dans les travaux rapportés dans les programmes de surveillance de la qualité de l'air. Elle n'est pas réellement considérée comme un outil de surveillance, même en complément du réseau de mesure fixe ou mobile.

Il est surprenant de constater que cela est également vrai pour les AASQA qui ont des expériences significatives en matière de modélisation. Son usage se limite plutôt à celui d'un outil de communication et d'information qui permet une représentation attractive des niveaux de pollution. De fait, l'usage de la modélisation comme outil de surveillance est minimisé dans les PSQA disponibles.

Ce constat est assez conforme aux préconisations des directives européennes qui limitent l'usage de l'analyse objective ou de modèles numériques aux situations de non dépassement de seuils d'évaluation ou en compléments des mesures fixes et indicatives.

De façon générale, la présentation des outils de modélisation dans la stratégie de surveillance reste assez peu explicitée. Certains PSQA font état de nombreux outils de modélisation potentiellement disponibles, mais l'historique de leur choix et leur contexte d'application reste souvent flou.

Seuls les polluants réglementés font l'objet de traitements numériques, et plus précisément les polluants notifiés dans les directives antérieures à la 4^{ème} directive fille. En fait, pour les autres composés le problème de l'inventaire d'émission se pose clairement. Par exemple, les incertitudes accompagnant les inventaires actuels de métaux lourds, de HAPs et de PM_{2.5} (polluant pour lequel s'ajoute le cas de la fraction secondaire) limitent l'usage qui peut être fait de modèles déterministes. Les polluants nouvellement réglementés ou en voie de l'être font par ailleurs l'objet d'une surveillance qui ne nécessite que relativement peu de stations de mesure, ce qui limite le nombre de données d'entrée de modèles cartographiques.

En ce qui concerne le traitement cartographique, le polluant dont le traitement est le plus abouti est le dioxyde d'azote, à l'échelle régionale, comme à l'échelle locale. Dans le premier cas la modélisation géostatistique est largement utilisée et permet de valoriser les nombreuses campagnes de mesures mises en œuvre par les AASQA. Cela vaut pour la phase d'évaluation préliminaire, comme pour la mise en place de la surveillance opérationnelle. Dans le second cas, les modèles dits urbains et les modèles de rue qui permettent une représentation de l'impact des réseaux routiers, sont privilégiés. C'est un phénomène assez nouveau qui s'explique par une volonté affichée des AASQA de répondre aux demandes pressantes venant du grand public (« à quels niveaux de concentration suis-je exposé ? »), du monde de la santé (études épidémiologiques), des autorités locales qui souhaitent répondre à des enjeux réglementaires (études de type PPA ou PDU).

En ce qui concerne la prévision de la qualité de l'air, les efforts se portent logiquement sur l'ozone pour lequel les modèles photochimiques déterministes et les modèles statistiques de prévision de pics sont utilisés de manière opérationnelle. Les modèles statistiques sont implantés dans de nombreuses AASQA depuis plusieurs années, et résultent généralement de coopérations fortes avec les équipes universitaires locales. On note une grande hétérogénéité dans les approches, mais une expérience significative des AASQA et des historiques de données suffisamment longs qui permettent d'accéder à des résultats satisfaisants.

Pour les années à venir les développements relatifs à la modélisation des particules devraient monter en puissance à moyen-long terme, sous l'impulsion des travaux du LCSQA, et afin de répondre à une vraie demande réglementaire et du public. A plus court terme la modélisation de la pollution à l'échelle urbaine et de proximité (rue, site industriel) prendra une importance grandissante dans les travaux des AASQA. Il s'agit d'une priorité clairement identifiée, en réponse aux sollicitations des collectivités locales et du grand public. On ressent en particulier un fort intérêt pour développer des modèles de diagnostic de l'impact des axes routiers très fréquentés sur les sites environnants.

Les inventaires d'émission locaux sont mentionnés dans 13 cas. Les initiatives interrégionales ont favorisé le développement de cadastres de haute résolution sur de larges parties du territoire et une majorité des 13 cas recensés résulte de ces regroupements : voir les expériences Esméralda sur le grand bassin parisien, et les inventaires dans les régions PACA, Rhône-Alpes et Alsace. L'Inventaire National Spatialisé (INS) n'est mentionné qu'une seule fois dans les PSQA ce qui montre que cet outil n'est pas encore considéré comme un moyen complémentaire de surveillance.

Enfin, relativement peu d'information sont données sur les incertitudes associées aux traitements numériques. Quelques indicateurs sont mentionnés, mais ils s'avèrent parfois partiels (en ne traitant par exemple que le cas de moyennes annuelles pour des polluants réglementés également sur les pics). Leur évocation n'est cependant jamais systématique dans les PSQA. On peut espérer que les contraintes des directives relatives à la qualité de l'air sont respectées, sans pour autant le vérifier à la lecture des documents.

Pour l'ensemble des polluants considérés, plusieurs AASQA déclarent être en phase d'évaluation des outils de modélisation mais ne font pas précisément état de leurs travaux dans les PSQA.

2. Les oxydes d'azote

Comme indiqué en introduction, les concentrations d'oxydes d'azote mesurées par les stations fixes ou lors de campagnes de mesure font l'objet de traitements numériques qui permettent de spatialiser l'information. Cela vaut aussi bien lors de la phase d'évaluation préliminaire qu'en situation de surveillance. En revanche il convient de bien distinguer l'échelle spatiale considérée, qui conditionne généralement le type d'outil numérique mis en œuvre :

1- A l'échelle régionale

- La cartographie de dioxyde d'azote à l'échelle de la région se fait généralement au moyen de modèles d'interpolation géostatistique. L'essor de cette approche et notamment la popularité du logiciel ISATIS commercialisé par la société Géovariances, est bien démontrée par le nombre d'AASQA produisant des cartes de concentrations sur cette base : une bonne dizaine d'AASQA déclarent utiliser ISATIS aussi bien lors de l'évaluation préliminaire qu'en phase de surveillance¹. Il faut par ailleurs noter que les incertitudes liées à l'approche ne sont pratiquement jamais évoquées et absolument jamais quantifiées dans les PSQA, pas plus que des opérations de calage des modèles géostatistiques.
- On note également le développement des systèmes déterministes de prévision de la qualité de l'air à l'échelle régionale (de type Esmeralda en Ile de France, AIRES en région PACA ou SAMAA en pays de Loire ou Urbanair en Alsace) qui permettent

¹ Les échanges techniques que le LCSQA entretient avec les AASQA laissent supposer qu'elles sont en réalité plus nombreuses à utiliser ISATIS ou un modèle d'interpolation de données.

d'accéder à une information prévue et cartographiée. Les incertitudes sont très peu décrites dans la plupart des cas. On note cependant que d'après les travaux présentés par une AASQA, elles se situeraient en dessous de 50% dans une très grande majorité des cas (80%) en moyennes horaire et journalière.

2- A l'échelle locale (urbaine, proximité)

- 3 PSQA déclarent utiliser des modèles de rue ou des modèles urbains pour l'évaluation préliminaire des concentrations de NO₂ à l'échelle locale (rue, quartier, ville). Ce chiffre passe à 10 en phase de surveillance. A cette échelle, la cartographie des concentrations n'est pas la seule justification des traitements numériques, ils peuvent aussi alimenter des études visant à établir un bilan des niveaux de concentrations actuels, et éventuellement une analyse prospective pour les années à venir. Les codes les plus cités sont STREET (modèle paramétrique de rue), OSPM et SIRANE (modèles empiriques de rue), ADMS-Urban (modèle gaussien) ou ADMS3 et Aria Impact (impact industriel). Les performances affichées font état d'incertitudes de 15 à 25% en moyenne annuelle. Aucune information relative à la modélisation des pics ou des moyennes horaires n'est fournie. Le calage de ces outils n'est pas systématiquement évoqué : 6 AASQA sur les 10 recensées mentionnent des travaux de calibrage des modèles par rapport aux stations fixes et à des campagnes de mesure, avec plus ou moins de détail.

Dans les cas de modèles déterministes ou empiriques peu d'informations sont données sur la qualité et la précision des inventaires utilisés, bien que la simulation des concentrations de dioxyde d'azote soit hautement sensible aux émissions. En revanche plusieurs AASQA identifient le besoin d'amélioration des inventaires locaux d'émissions dans une vision prospective à 5 ans, ceci afin d'améliorer la prévision et la cartographie régionale de NO₂, et surtout la cartographie en milieu urbain².

A échéance de 5 ans toutes les AASQA souhaitent développer leurs compétences dans le domaine de la cartographie de NO₂. C'est un excellent moyen de communiquer sur les niveaux de pollution mesurés, et donc de valoriser les campagnes de mesure réalisées. Un effort important sera fourni pour l'élaboration de cartographies de haute précision à l'échelle locale/urbaine, en vue de calculs d'évaluation de l'exposition des populations. Cependant il est intéressant de noter que seuls des modèles relativement simples de type gaussien (ADMS-Urban) sont envisagés pour traiter cette question. En conséquence on peut s'attendre à un accroissement important du nombre d'AASQA équipées de cet outil qui peut devenir un moyen complémentaire de surveillance. On note aussi une volonté de renforcer l'usage de modèles pour la surveillance de grandes infrastructures routières ou de sites industriels.

Du point de vue des futures méthodologies, les pratiques liées à l'assimilation de données d'observation dans les modèles déterministes ressortent assez peu. Ces approches, qui peuvent simplement reposer sur de l'interpolation optimale, méthode relativement simple à implanter et peu coûteuse en temps de calcul, permettent une amélioration nette des cartographies de concentration pour peu que le réseau de mesure soit suffisamment dense et équilibré. Leur usage doit donc être encouragé.

Enfin, le rapprochement interrégional pour bénéficier du partage de moyens de modélisation et des compétences des équipes associées, est une orientation nette de

² A noter qu'il n'est pas fait mention de l'INS dans cette vision prospective

l'analyse prospective de l'usage de la modélisation. Ce constat n'est pas propre au traitement du cas des oxydes d'azote.

3. Le dioxyde de soufre (SO₂)

Concernant l'étude du dioxyde de soufre, on constate un usage relativement restreint et ciblé des modèles numériques : une seule AASQA déclare mettre en œuvre le modèle ADMS pour contribuer à l'évaluation préliminaire des concentrations de SO₂. Il s'agit dans ce cas de la surveillance de sites industriels.

Parallèlement, des modèles gaussiens (ADMS), paramétriques (STREET), voir gaussiens à bouffées (CALPUFF) ou même eulériens (RAMS-HYSPLIT) sont utilisés dans la stratégie de surveillance de 9 AASQA. Le plus souvent, ils sont destinés au traitement de sites industriels, mais ils peuvent aussi être utilisés pour des analyses prospectives relatives au trafic routier telles que demandées dans les PDU (concerne STREET en particulier). Une AASQA déclare faire de la prévision journalière des concentrations de SO₂ à l'échelle d'une agglomération avec le modèle ADMS-Urban.

Cependant, le contexte d'utilisation relève le plus souvent des études d'impact de sources de pollution, aussi bien pour le constat de la situation actuelle que pour disposer d'une vision des situations à venir.

La question du calage de ces méthodes est très peu évoquée (dans 3 cas seulement) de même que celle des incertitudes. Les informations compilées permettent de les estimer variant de 15 à 50% en moyenne annuelle³.

Les AASQA devant gérer de nombreux sites émetteurs de SO₂ (Air Normand, AIRFOBEP notamment) disposent d'une expérience importante relative à la mise en œuvre de modèles pour l'étude voire la prévision de pics de dioxyde de soufre, mais elles n'en font pas largement état dans leur PSQA. Ceci amène donc à s'interroger sur les raisons de cette réserve.

Dans une vision prospective à 5 ans, quelques AASQA déclarent vouloir mettre en œuvre des modèles pour renforcer le système de surveillance de sites industriels, mais cela ne semble pas être une priorité.

4. L'ozone

Comme le NO₂, l'évaluation préliminaire de l'ozone peut être complétée par des sorties de modèles (déterministes ou géostatistiques) pour un quart des PSQA (10) environ. Les plates-formes de modélisation régionale bâties autour des modèles de chimie-transport de type CHIMERE et du logiciel de géostatistique ISATIS sont les approches les plus citées.

Une quinzaine d'AASQA en revanche assure utiliser des modèles déterministes, statistiques ou géostatistiques comme moyen de surveillance complémentaire à la mesure. Pour les 2/3 d'entre elles l'enjeu majeur est la prévision, puis la cartographie. Dans le cas de la mise en œuvre de modèles déterministes, ceux-ci sont généralement utilisés seuls (pas de procédures d'assimilation de données de mesure). Pour la prévision statistique, les modèles sont, par construction des outils d'évaluation complémentaire au système de mesure.

³ Ce qui est en effet conforme à l'état de l'art pour les modèles gaussiens utilisés en situation de rejets industriels

Une distinction est parfois faite entre échelle régionale et échelle locale. Ainsi des modèles tels que ADMS-Urban peuvent être utilisés pour prédire les niveaux d'ozone en milieu urbain, en dépit de leur extrême simplicité. Cependant dans ce cas l'objet est de disposer d'une analyse préliminaire et qualitative des niveaux de pollution et non d'avoir une analyse quantitative précise de leurs valeurs.

Les résultats issus de modèles déterministes de prévision de l'ozone sont générés par des modèles de chimie-transport mis en œuvre en local par l'AASQA, ou résultent, dans quelques cas, d'extractions des produits mis à disposition par le système national PREV'AIR. Dans le cas de simulations réalisées en local, PREV'AIR fournit généralement les conditions aux limites indispensables au bon fonctionnement du modèle. Dans tous les cas un calage des sorties de modèles par rapport aux mesures disponibles aux stations fixes et lors de campagnes a été effectué par l'AASQA. Cette information est généralement livrée sans plus de détails.

Concernant les incertitudes, relativement peu de données chiffrées sont fournies dans les PSQA. Le respect de la réglementation européenne est généralement souligné mais peu argumenté. Pour la prévision des concentrations d'ozone, un critère de qualité semble être le pourcentage de bonnes prévisions de dépassements. Or il ne s'agit pas, au sens réglementaire du terme, d'un indicateur permettant de décrire l'incertitude des prévisions, et il s'agit d'un objectif à seuil très difficile à concilier. En effet le résultat peut être considéré comme négatif à 1 ug/m³ près, alors que l'on se trouve largement dans la marge d'erreur du modèle. Enfin, certaines AASQA ont essayé d'évaluer les méthodes disponibles (déterministes et statistiques) les unes par rapport aux autres, et montrent que selon les cas il est difficile d'établir un classement. Des comparaisons par rapport aux performances de PREV'Air sont également proposées dans certains cas. Il est intéressant de noter que la plupart des AASQA font état de travaux d'évaluation des modèles « en cours ».

La cartographie d'ozone fait l'objet de travaux de géostatistique réalisés le plus souvent avec le modèle ISATIS, à l'issue de campagnes de mesure. L'approche est très comparable à celle adoptée pour le dioxyde d'azote.

Dans une vision prospective à 5 ans, les AASQA souhaitent améliorer leurs systèmes de cartographie de l'ozone, notamment en prenant plus et mieux en compte les données de mesures. Ainsi plusieurs systèmes de cartographie et de prévision basés sur les résultats issus de PREV'Air (de type SYRSO ou Ocarina) pourraient se développer afin d'accéder à des données plus précises voire plus sophistiquées, par une meilleure assimilation des données de mesures disponibles en local. Plusieurs AASQA ne disposant pas en propre de modèle numérique pour l'ozone espèrent pouvoir bénéficier de rapprochements avec des AASQA voisines mieux équipées à ce niveau (au titre de la « régionalisation »).

5. Le monoxyde de carbone et le benzène

Le monoxyde de carbone et le benzène sont des composés typiques de la pollution de proximité et ne constituent plus un problème crucial dans la grande majorité des agglomérations, en dépit de quelques points de dépassement récurrents. Néanmoins la surveillance des niveaux de concentrations aux abords des axes routiers est une partie intégrante de la surveillance pour la mise en œuvre de laquelle les modèles peuvent apporter une information pertinente. Il est cependant important de noter la grande sensibilité des concentrations de CO à ses émissions à l'échelle locale.

Généralement les modèles empiriques ou paramétriques dits « de rue » sont logiquement privilégiés dans cette démarche. Quatre (respectivement cinq) PSQA font état de l'usage de tels modèles en phase d'évaluation préliminaire des concentrations de CO (respectivement de benzène), là où l'occurrence de dépassements n'est normalement pas redoutée. Les modèles OSPM, STREET, SIRANE et ADMS-Urban sont les quatre outils cités. A noter que pour le benzène, la disponibilité de données issues de campagnes de tubes passifs permet d'élaborer des cartographies à l'aide d'ISATIS (dans 3 cas cités).

Le taux d'utilisation de ces mêmes modèles est doublé lors du recensement des moyens de surveillance. Généralement les modèles de rue sont utilisés pour des études visant le constat de niveaux de pollution, ou des études d'impact prospectives destinées à qualifier les situations futures (dans le cadre de PDU ou de PPA).

Les questions de calage et d'incertitude sont très peu évoquées, quelques AASQA assurent cependant une incertitude inférieure à 20% en moyenne annuelle. Pour le benzène il est plus souvent fait mention d'opération de calage du fait de la disponibilité d'un nombre plus important de mesures issues de campagne. Il n'est jamais fait mention des problèmes liés à la grande variabilité spatiale et temporelle des concentrations de ces polluants dans les rues des agglomérations.

A l'échéance de 5 ans, plusieurs AASQA envisagent de s'équiper de modèles de proximité afin de compléter leur dispositif de surveillance du monoxyde de carbone et du benzène. Dans quelques cas, la substitution de stations de mesure par des résultats de modèles est même évoquée. L'approche est pertinente, puisqu'il s'agit de polluants considérés comme passifs à ces échelles et dont le comportement dispersif est donc relativement simple à simuler. Cela passe par la disponibilité d'un inventaire de bonne qualité, ce qui est aussi une voie de progrès identifiée par les AASQA. Un point sensible semble être la surveillance des infrastructures routières de grande importance (autoroute) pour laquelle le développement l'implantation de modèles est envisagée. Ce point doit être considéré avec prudence au vu des piètres résultats de la littérature sur leur pertinence dans de telles situations⁴.

6. Les particules

Seules les PM10 font l'objet de travaux de modélisation et de cartographie rapportés dans les PSQA. C'est assez logique considérant que les PM2.5 ne sont pas encore réglementés, la relative jeunesse du réseau de mesure et des modèles développés. Cette situation devrait évoluer dans les années à venir.

En évaluation préliminaire, les modèles ne sont utilisés qu'à l'échelle de la rue pour reproduire des niveaux de proximité des particules primaires émises par le trafic routier. On recense trois cas dans lesquels les modèles STREET, et ADMS sont utilisés pour une analyse préliminaire des niveaux de pollution particulaire (particules primaires) dans les rues des agglomérations.

Huit PSQA utilisent des modèles déterministes, empiriques ou statistiques dans leur dispositif de surveillance des concentrations de PM10. Quatre d'entre elles utilisent des modèles statistiques pour la prévision basés sur des approches diverses (méthode CART, réseaux de neurone). Mais dans la grande majorité des cas, des modèles de proximité sont

⁴ Cette question sera investiguée dans les travaux du LCSQA sur la modélisation de la pollution de proximité en 2007-2008

utilisés pour établir des constats relatifs aux concentrations actuelles et à venir (études de scénarios).

Les questions de calage sont à peine évoquées (souvent pas du tout) de même que la quantification des incertitudes liées à la modélisation. Dans tous les cas ce sont les particules primaires qui sont visées, les modèles déterministes de chimie-transport ne font pas partie des outils privilégiés par les AASQA pour la surveillance des particules. Cela peut s'expliquer par le fait que les derniers développements de ces modèles sont encore relativement récents.

Cette analyse est d'ailleurs confirmée par les plans de développement à cinq ans proposés par la plupart des AASQA qui intègrent la mise en œuvre de modèles chimiques de particules dans les plates-formes régionales de prévision déterministe de qualité de l'air (prévu en Alsace, dans Esmeralda en Ile de France, AIREN en PACA et IRIS en Pays de Loire). Les AASQA souhaitent également renforcer leur moyen de surveillance des particules à l'échelle locale (rue ou agglomération), ce qui passera par une amélioration de la qualité des inventaires. Certaines souhaitent également étendre l'approche utilisée pour les PM₁₀ aux PM_{2.5}.

7. Les métaux lourds et les HAPs

Généralement la surveillance de ces polluants nouvellement réglementés n'induit pas l'usage de modèles en complément des mesures, car les inventaires d'émissions sont encore entachés de trop grandes incertitudes pour ces composés. Cet état de fait est bien constaté à la lecture des PSQA, qui n'évoquent rien sur le sujet. La situation est la même pour les polluants non réglementés.

On constate également que l'usage de traitement numérique pour améliorer les données de surveillance de ces polluants n'est pas évoqué dans les plans de développement à 5 ans détaillés dans les PSQA.