

Éditorial

Retour aux sources de pollution atmosphérique : point de vue des scientifiques français

Anda IONESCU*

L'homme est source et victime de la pollution atmosphérique. Il en est de même en ce qui concerne la nature. Alors que sur les sources naturelles il est difficile d'agir – au mieux on peut prévoir leur activité – pour les sources anthropiques, la marge de manoeuvre est plus large. Malgré les conflits d'intérêts qui peuvent exister parfois, on note des efforts considérables suscités par des lois, protocoles ou conventions internationales ou bien même favorisés par une volonté naturelle pour éviter les effets néfastes de la pollution atmosphérique. Il est évident que pour pouvoir agir, il faut connaître la cause : la source. On ne peut espérer combattre victorieusement que ce que l'on connaît bien, et cela concerne non seulement **les sources**, mais aussi leur **impact** sur l'air ambiant en termes de concentrations en polluants ou en termes d'**effets** sur la santé et les écosystèmes.

Certaines sources sont chroniques et connues, mais elles peuvent être variables dans le temps et/ou dans l'espace ; plus rarement, on a affaire à des sources accidentelles, dont les conséquences sont parfois catastrophiques. Le problème se pose à toutes les échelles spatiales, en commençant par les ambiances intérieures, pour aller jusqu'à l'échelle de la planète. Les émissions (ponctuelles, diffuses, fugitives) sont transportées par l'atmosphère d'une manière très variable (la météorologie est un facteur important), et les effets se mélangent. Les scénarios s'annoncent, d'emblée, très complexes et la recherche des sources difficile. Pourtant, plusieurs scientifiques se sont proposé de relever ce défi et ont consacré une partie de leurs recherches pour retrouver les sources à partir de leurs effets, par différentes techniques de modélisation inverse.

Les méthodes développées pour résoudre ce problème ont fait couler beaucoup d'encre. En dehors de nombreux articles de revue, des ouvrages entiers leur ont été consacrés. Il est intéressant de noter que le problème de séparation des sources à partir d'un mélange n'est pas un problème propre à l'environnement, on le retrouve aussi dans d'autres domaines. L'exemple classique donné en traitement du signal est celui de la reconnaissance des voix de plusieurs personnes qui parlent en même temps, à partir des enregistrements de cocktails de sons réalisés par plusieurs microphones. On peut employer un formalisme mathématique équivalent dans les deux

domaines. Alors que les avancées des chercheurs français dans le traitement du signal se faisaient connaître par diverses publications, dans le domaine de l'environnement, les recherches sur les modèles récepteur provenaient majoritairement des États-Unis, de Finlande... Ce numéro spécial se propose de montrer un autre visage de la recherche des sources de pollution atmosphérique par des modèles récepteur, qui a commencé à fleurir aussi en France depuis quelque temps.

Loin d'être un recueil exhaustif, cet ouvrage rassemble un échantillon des travaux menés par les scientifiques français dans le domaine de la recherche des sources de pollution de l'air, mettant ainsi en évidence leur potentiel, au niveau national. Nous avons essayé de dresser un aperçu du contexte général dans lequel on étudie ce problème.

En faisant un tour d'horizon plus large, on passe en revue des aspects sociétaux, des aspects toxicologiques ou épidémiologiques qui motivent la recherche des sources. La présentation d'études de terrain permet enfin de percevoir le problème dans sa globalité, mettant en évidence quels sont les principaux organismes impliqués et comment des collaborations peuvent se nouer pour comprendre la problématique et réfléchir à des stratégies limitant l'impact de la pollution, en passant par l'étude des sources.

Les sujets présentés concernent une grande diversité d'échelles. Malheureusement, l'étude des sources de la **pollution intérieure** ne fait pas partie de notre sommaire, mais elle mérite au moins d'être mentionnée, car c'est un sujet vraiment d'actualité et qui attend plus d'efforts de la part des chercheurs et de l'infrastructure tout autour. Passant à l'autre extrémité de l'échelle spatiale, cet ouvrage présente quelques éléments de réflexion sur la méthodologie d'évaluation des flux de **gaz à effet de serre**. Bien que la classification par rapport à l'échelle paraisse simple et clairement définie, les polluants peuvent être transportés sur de plus longues distances et on est confronté à une superposition des effets : le cumul de la pollution de fond régionale, celle de fond urbaine, en plus des sources locales (industrie, trafic). Dans de nombreuses situations, la pollution transfrontalière joue un rôle non négligeable. Comment

* Centre d'études et de recherche en thermique, environnement et systèmes – Université Paris Est Créteil – 61, avenue du Général de Gaulle – 94010 Créteil Cedex – E-mail : ionescu@u-pec.fr

faire alors la part des choses ? On trouvera dans ce numéro spécial quelques éléments de réponse. Si, de plus, les effets des **sources naturelles** se superposent à ceux des **sources anthropiques**, peut-on faire la différence pour désigner « le coupable » ?

La modélisation de la pollution atmosphérique est largement dominée par les **modèles de chimie-transport**, qui sont des modèles basés sur la connaissance des sources (orientés vers les sources). Ces modèles, partant de la cause (la source) vers l'effet, sont appelés des modèles directs. Dans les trente dernières années, on a pu constater des réels progrès dans leur développement, mais l'un des problèmes auquel on se heurte toujours est celui du terme source. En effet, le développement des inventaires, des cadastres d'émissions, ne peut être ni exhaustif, ni totalement précis ; cet ouvrage nous en dira un peu plus au sujet des inventaires d'émissions.

C'est par une utilisation conjointe des modèles directs et des observations (mesures de la pollution) qu'on peut affiner la connaissance des sources d'émission, par des méthodes de **modélisation inverse** appelées **techniques d'assimilation de données**. Ces méthodes sont applicables également pour la détection des sources accidentelles, dont la localisation est inconnue ou le profil de la source mal caractérisé. Le but recherché peut être, d'une part, d'affiner le cadastre d'émission utilisé par le modèle de chimie-transport pour obtenir ensuite des champs de concentrations plus proches des observations, et d'autre part de détecter, diagnostiquer, surveiller des sources. Une revue des progrès récents dans la modélisation inverse des sources de pollution atmosphérique, présentée sous le formalisme mathématique de l'assimilation de données, et illustrée par des exemples concernant les sources accidentelles à l'échelle régionale et continentale, fait partie des contributions à la partie méthodologie de ce numéro spécial.

La modélisation inverse peut faire appel à des modèles directs plus ou moins complexes, un simple modèle gaussien pouvant parfois être suffisamment adapté. On se pose aussi la question de la pertinence de l'information fournie par les récepteurs. Quelques éléments de réflexion sont donnés sur la conception d'un réseau de mesure destiné à la surveillance des sources chroniques.

Malgré les performances indéniables des modèles orientés vers les sources, ayant servi et servant encore de base à l'élaboration de différentes stratégies (par exemple le programme CAFE au niveau de l'Union Européenne), malgré le développement incessant des inventaires des émissions, il s'est avéré nécessaire de compléter ces approches par une autre classe de méthodes, mieux adaptées à

certains polluants, comme les particules en suspension. Des modèles (orientés) récepteur, appelés ainsi car basés sur les mesures au point d'impact (le récepteur), ont été conçus spécifiquement pour permettre l'identification des sources et la quantification de leurs contributions aux niveaux de pollution observés (mesurés).

Ce numéro spécial offre au lecteur une brève présentation des notions théoriques des **modèles récepteur** dans leur version de base, ainsi qu'avec des extensions possibles provenant des contraintes rencontrées dans différents cas d'étude, à travers une synthèse bibliographique. L'accent est mis sur les **méthodes factorielles** de type PMF*, mais aussi CMB**. Parfois, leur utilisation est combinée avec des méthodes de **rétro-trajectoires**, qui sont également des modèles permettant de remonter aux sources, à partir de l'information donnée par le récepteur. On s'est limité à compléter la synthèse bibliographique avec quelques exemples des travaux effectués par les chercheurs français, en regrettant un peu de n'avoir pas pu étoffer un peu plus cette partie, car il y aurait eu de la matière !

L'identification des sources par les **méthodes factorielles de décomposition des mesures au récepteur en profils et contributions des sources**, est basée sur la notion de « signature » de la source (ensemble d'éléments caractérisant le profil de la source). Les études présentées concernent les sources ayant des **profils d'émission complexes** : c'est principalement le cas des poussières en suspension, mais aussi celui des COV et des HCNM. L'application des modèles récepteur se fait après avoir analysé la composition des poussières, des COV etc., car c'est cette analyse qui conduira ensuite vers le profil de la source. Les techniques d'analyse sont assez sophistiquées et leur choix n'est pas évident ; une revue comparée de telles méthodes est présentée. Une technique particulière pour la discrimination des sources de PM₁₀ est celle basée sur les **isotopes** de certains éléments ; elle paraît assez prometteuse.

Il importe de souligner la place qu'on doit donner au développement des modèles récepteur, y compris à l'extension d'une base de données des signatures des sources, pour résoudre le problème de la recherche des sources de particules, car c'est un problème d'actualité. En effet, aux États-Unis (EPA), en Europe (CAFE), en France (Grenelle de l'Environnement/Plan Particules) les organismes publics imposent des objectifs de réduction des niveaux de PM_{2,5}, ce qui implique une bonne connaissance des origines des particules et de leurs contributions aux niveaux de pollution atmosphérique pour définir et mettre en place des stratégies de réduction efficace des niveaux de PM_{2,5}.

* *Positive Matrix Factorization.*

** *Chemical Mass Balance.*

Espérons que ce numéro spécial pourra montrer plusieurs facettes intéressantes du problème de la recherche des sources de pollution et qu'il contribuera à constituer le noyau d'un réseau de spécialistes français œuvrant sur la même thématique. Souhaitons également que ce document fournisse des éléments susceptibles de faciliter le travail des décideurs politiques.

Le mot de la fin ne peut être que celui des remerciements, et la liste est longue. Je voudrais remercier tous les membres du Conseil Scientifique de la Revue *Pollution Atmosphérique* qui ont eu des idées et des propositions concrètes permettant d'enrichir la réflexion autour des sources par des regards et points de vue venant des spécialistes de domaines très

variés, et tout particulièrement il faut saluer le travail de Monsieur Jean-Marie Rambaud, vice-président de l'APPA, Directeur de la publication et Rédacteur en chef, et de Monsieur Rémy Bouscaren, vice-président du Comité Scientifique de la revue. Un grand merci à tous les auteurs qui ont accepté de contribuer à l'élaboration de ce numéro spécial, car ce sont eux qui ont construit l'image, l'aperçu de la problématique des sources de pollution en France, qu'on peut donner à travers ce document. *And last, but not least*, un grand merci au Professeur Philip Hopke, *Clarkson University, New York, Director of the Center for Air Resources Engineering and Science*, l'un des piliers des modèles récepteur, qui nous a fait l'honneur de s'associer à notre ouvrage.

