

Les programmes LEFE/CHAT et PRIMEQUAL : 15 ans de recherche sur la qualité de l'air

Paolo LAJ

La Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 a considérablement modifié l'approche des problèmes de qualité de l'air par les pouvoirs publics et les organismes de contrôle. Répondant à l'impérieuse nécessité de réduire les concentrations de polluants observées dans de nombreuses villes françaises, il est bien vite apparu que des connaissances et des outils manquaient pour mettre en place des politiques efficaces de réduction des émissions et des systèmes de prévision de la qualité de l'air. Au cours des 15 dernières années, des travaux de recherche dans le monde académique et un fort partenariat avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont permis d'améliorer la quantification des sources et de comprendre les processus de formation et transformation des polluants, mais aussi de développer les outils d'aide à la décision permettant l'évaluation du rôle des différentes sources et la prévision de la qualité de l'air. Au cœur de cette évolution, les programmes de recherche LEFE/CHAT (Les Enveloppes Fluides et l'Environnement/CHimie ATmosphérique) du CNRS-INSU et PRIMEQUAL (Programme de Recherche Inter-organismes pour une MEilleure QUalité de l'Air à l'échelle Locale) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) et de l'ADEME ont joué à tous les niveaux un rôle prépondérant.

Par le biais d'appels à propositions de recherches ouverts ou ciblés, ces deux programmes ont été essentiels à la communauté française pour améliorer les connaissances fondamentales de chimie atmosphérique mais aussi développer des nouveaux outils expérimentaux et de modélisation et leurs applications, souvent dans le cadre de partenariats avec les AASQA. Au final, environ 200 projets et un investissement de plus de plus de 14 M€ sur les 10 dernières années (hors coûts de personnel) ont drastiquement changé notre compréhension des mécanismes agissant sur la composition de l'air et ont accompagné la mise en place de politiques de réduction des émissions tant sur le plan local que national.

Initié en 1998 et axé sur l'acquisition de nouvelles connaissances, le programme de recherche fondamentale LEFE/CHAT a pour objectif l'étude des cycles des principales classes de composés réactifs dans l'atmosphère – photo-oxydants, acides, aérosols, radicaux, ainsi que leurs précurseurs – qui affectent à la fois la qualité de l'air et le climat de façon directe ou indirecte. Les projets LEFE/CHAT ont

permis d'accomplir d'importants progrès scientifiques sur la connaissance des processus majeurs de transformation physico-chimique en phases gazeuse et condensée (aérosol, nuage), ainsi que sur les processus de transport et d'échange aux différentes interfaces au sein de l'atmosphère. Notre compréhension de ces cycles a considérablement évolué et il suffit pour s'en rendre compte de se pencher sur des articles de synthèses sur la formation de l'Ozone (Pitts and Pitts, 1993) ou des aérosols (Heintzenberg, 1996) pour voir à quel point les idées qui prévalaient il y a 20 ans sont maintenant obsolètes.

Le programme LEFE/CHAT a financé en premier lieu des études fondamentales qui permettent aujourd'hui la quantification des taux de formation de polluants secondaires en phase gazeuse, liquide et particulaire. Ces travaux, qui découlent tant d'études expérimentales en chambre de simulation que d'observations en atmosphère naturelle, ont apporté une compréhension des mécanismes réactionnels et des cinétiques de réaction pour de nombreux polluants directement impliqués dans la formation d'ozone ou d'aérosols organiques secondaires. Ainsi les études, aussi bien théoriques qu'expérimentales, de dégradation de plusieurs grandes familles de composés organiques volatiles (terpènes, fluorés, carbonyles) ont permis d'améliorer grandement la connaissance du cycle de ces polluants et leurs impacts. C'est aussi sur le point précis de la formation d'aérosols organiques secondaires que les études de LEFE/CHAT ont été fondamentales, jetant les bases théoriques et expérimentales pour mieux quantifier la part et l'origine des aérosols secondaires dans la masse particulaire PM.

Tous les spécialistes s'accordent à dire que la description des émissions et les dépôts conditionnent largement la pertinence des simulations en matière de pollution et qualité de l'air. Là encore, LEFE/CHAT a largement contribué à une meilleure quantification des sources, notamment les sources naturelles de composés organiques volatils ou de certains composés soufrés ou azotés. La spécificité des travaux de LEFE/CHAT a été de développer une approche multi-instrumentale et multi-échelle pour estimer les émissions passées, présentes et futures. Ainsi, les travaux, à partir du capteur IASI embarqué sur le satellite METOP, permettent le suivi des émissions par les feux de végétation de l'échelle locale à la grande échelle. À une autre échelle, les travaux sur l'amélioration des facteurs d'émission permettent

aujourd'hui de disposer d'inventaires d'émissions bien plus précis et fiables qu'il y a quelques années. C'est cet ensemble de nouvelles mesures et de nouveaux concepts que l'on retrouve dans les modèles Chimie/Transports comme CHIMERE et MOCAGE qui constituent aujourd'hui le noyau dur des futurs services opérationnels de prévision de la composition chimique et de la qualité de l'air à courte et longue échéances.

L'étude du transport longue-distance de la pollution a fait l'objet dans LEFE/CHAT d'une attention particulière, accompagnée en cela par d'autres dispositifs de l'INSU que sont les Services d'observation pour le suivi de la variabilité de la composition atmosphérique. À l'interface entre le climat et la qualité de l'air, LEFE/CHAT a financé la participation française à de grandes campagnes internationales associant observations au sol et aéroportées, observations satellites et modélisation, en particulier celles qui se sont déroulées sur le sol européen. L'approche multi-instrumentale développée lors de campagne internationale est souvent l'unique moyen d'approcher de manière intégrée la pollution à l'échelle régionale, et si l'impact scientifique de ces grandes opérations est souvent plus long à se concrétiser que pour des projets plus ciblés, leur portée est généralement bien supérieure.

Lors des 5 dernières années, la communauté scientifique a d'ailleurs considérablement fait évoluer la connaissance sur les caractéristiques de l'atmosphère européenne à travers ces grandes campagnes en Europe du Nord (EUCAARI), du Sud (PEGASOS) ou autour de la mégapole parisienne (MEGAPOLI). Cette dernière campagne a montré par exemple que la quantité d'aérosols fins ($\text{Ø} < 2.5 \mu\text{m}$) était contrôlée majoritairement à l'échelle régionale par l'advection. Avancées sur la connaissance des transformations photochimiques des émissions naturelles et anthropiques, sur le rôle des transports atmosphériques horizontaux et verticaux notamment entre couche limite et troposphère libre ou sur le lien entre niveaux de pollution et conditions météorologiques, permettent entre autre de disposer aujourd'hui de modèles bien plus fiables qu'auparavant mais aussi et surtout de disposer de bases de données de qualité pouvant servir à la ré-analyse de situations particulières. Pour la première fois, des évaluations fiables de l'impact des politiques de réduction des émissions des précurseurs d'aérosols sur le climat européen futur (2040) ont ainsi pu être proposées.

Les progrès substantiels dans la compréhension des processus physico-chimiques régissant la composition atmosphérique et du transport de polluant obtenus dans le cadre des travaux du LEFE/CHAT ont vu nombreuses de leurs applications dans les projets PRIMEQUAL. Depuis 1995, PRIMEQUAL a en effet largement contribué à concevoir, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques en matière de qualité de l'air par le biais de projets de recherche appliqués.

En premier lieu, PRIMEQUAL a été essentiel pour mettre en place les outils d'identification de sources, tant pour le milieu urbain que pour le bruit de fond régional. Qu'il s'agisse de la caractérisation à la source, notamment dans le domaine des transports terrestres, ou des méthodes d'identification et de quantification d'émissions, les projets PRIMEQUAL ont fourni le cadre permettant aujourd'hui de comprendre les facteurs contrôlant la qualité de l'air dans de nombreuses villes de France. Une des avancées fondamentales du programme a été la mise en évidence, d'abord dans les vallées alpines et ensuite pour la plupart des villes, du rôle de la combustion de biomasse dans la pollution particulaire. À la base de cette découverte, la capacité de laboratoires de recherche de mettre en œuvre des techniques de caractérisation de traceurs chimiques de combustion de bois, souvent mises au point dans le cadre de projets LEFE/CHAT. Au-delà de l'identification d'un traceur particulier, la communauté dispose désormais de profils de sources et de méthodes appropriées pour estimer les contributions respectives de différents secteurs d'activité contribuant à la qualité de l'air et à sa détérioration. Des résultats très intéressants ont d'ores et déjà été obtenus dans le cadre de campagnes à Marseille et Grenoble où les contributions des sources primaires et secondaires ont pu être quantifiées de manière extrêmement précise. D'autres villes, hors cadre PRIMEQUAL, sont maintenant demandeuses de pouvoir bénéficier de ce genre d'applications.

Estimer la contribution du fond régional à la pollution urbaine a également fait l'objet d'un certain nombre d'études du projet PRIMEQUAL. Là encore, il ressort des études que cette part est souvent sous-estimée, tant pour la pollution par l'ozone que pour la pollution particulaire. La communauté dispose désormais des outils tant expérimentaux que numériques qui permettent cette évaluation et qui confirment, pour les quelques agglomérations étudiées, l'importance de cette part extra-urbaine de la pollution. Là encore, l'appui aux dispositifs d'observation, tant au niveau des outils de caractérisation que des plate-formes d'observation, permet une description beaucoup plus précise du bruit de fond régional, de sa variabilité et de son impact sur le dépassement des niveaux réglementaires, notamment lors d'épisodes spécifiques comme le transport de poussières sahariennes ou de feux de biomasse.

Datant maintenant d'une dizaine d'années, la campagne ESCOMPTE reste un excellent exemple de projet de recherche appliquée financé dans le cadre de PRIMEQUAL. Les études couplées chimie-dynamique ont apporté la compréhension nécessaire des mécanismes de petite échelle qui influencent la variabilité spatiale et temporelle dans une région où la circulation des masses d'air est fortement influencée par le relief et la présence de la mer. Encore aujourd'hui, inventaires d'émissions et plate-forme de modélisation opérationnelle de prévision de la qualité de l'air de la région forment l'héritage de ce projet.

PRIMEQUAL s'est particulièrement intéressé aux aspects des impacts santé de la pollution atmosphérique, se différenciant alors complètement du programme LEFE/CHAT. Qu'il s'agisse de travailler sur la pertinence de certains indicateurs de pollution et leurs effets sanitaires spécifiques ou sur la quantification des impacts par le biais d'études épidémiologiques ou toxicologiques, les projets ont mis en évidence le rôle particulièrement néfaste de la pollution particulaire, et notamment de sa fraction fine. Le programme PRIMEQUAL a été en ce sens la contribution française à l'action européenne CAFE (Clean Air for Europe) qui permet aujourd'hui de proposer une révision de la directive cadre sur la qualité de l'air sur la base de nouvelles connaissances scientifiques. On retrouve aussi dans le Plan Particule ou dans le 2^e Plan national Santé-Environnement (PNSE2) des propositions qui ont pour origine les travaux scientifiques de PRIMEQUAL.

Les questions relatives à la perception collective ou individuelle de la qualité de l'air et aux facteurs régissant l'acceptabilité des mesures de régulation et de prévention ont fait l'objet d'études tout à fait originales, souvent directement utilisables par les décideurs. Ces connaissances sont autant d'éléments nécessaires aux pouvoirs publics pour que les décisions prises soient les plus efficaces possible, les mieux adaptées aux spécificités locales et par conséquent les mieux acceptées. L'expérience des zones à basse émission européenne et sa déclinaison nationale ZAPA (Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air) montrent à quel point connaissances scientifiques et dimensions sociale et psychologique ne peuvent être déclinées séparément.

Par leur complémentarité, les programmes LEFE/CHAT et PRIMEQUAL ont fourni un cadre idéal aux travaux sur la qualité de l'air en France. L'investissement national sur ces projets de recherche fondamentale et appliquée a créé un cadre de collaboration scientifique associant diverses communautés dans le monde académique travaillant jusqu'à présent de façon indépendante. Ce rapprochement s'est concrétisé par des nouveaux projets communs à plusieurs équipes, au-delà du strict cadre de LEFE ou PRIMEQUAL, et a permis de donner aux équipes des moyens à la hauteur de certains de leurs partenaires européens. Ce sont d'ailleurs ces moyens qui sont souvent synonymes de « tickets d'entrée » aux projets européens de recherche ou d'infrastructures. Ces collaborations se sont souvent étendues aux AASQA, notamment dans le programme PRIMEQUAL créant dans certaines villes un partenariat fort et efficace, et surtout très spécifique au plan européen. C'est là une très grande réussite de l'ensemble de ces projets et de la stratégie mise en place tant par l'INSU que par l'ADEME et le MEDDE.

Des nouveaux questionnements scientifiques continuent de voir le jour, associant notamment les problématiques de qualité de l'air et de changement climatique. La communauté scientifique mais aussi les organismes de contrôle de qualité de l'air doivent pouvoir continuer à bénéficier de cette synergie entre programmes de recherche fondamentale et recherche appliquée dont les bénéfices sont directement mesurables aujourd'hui, entre science, d'une part, et prise de décision publique, d'autre part.

