

Les services Copernicus Atmosphère (CAMS) : une révolution numérique au service de l'environnement

Par Laurence ROUÏL

Responsable du pôle Modélisation environnementale et Décision de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

À l'issue de près de dix ans de travaux de recherche préparatoires financés par les programmes de la Commission européenne, les services européens Copernicus de surveillance de l'atmosphère sont entrés dans une phase opérationnelle à la fin de l'année 2015 (<https://atmosphere.copernicus.eu/>). Ils proposent à tout utilisateur des prévisions, cartographies et autres données valorisées relatives à la composition chimique de l'atmosphère à l'échelle globale, à l'ozone stratosphérique, au rayonnement ultraviolet (UV) et à la qualité de l'air en Europe. La Commission européenne a délégué, en novembre 2014, au Centre européen de Prévision ECMWF ⁽¹⁾ le pilotage et la gestion de ces services opérationnels regroupés sous la bannière des CAMS (*Copernicus Atmosphere Monitoring Services*). Ceux-ci résultent d'importants travaux de recherche menés par près d'une cinquantaine d'équipes européennes exploitant tous types d'outils (modèles numériques) ou de données (*in situ* et satellite) pour élaborer des diagnostics et des prévisions à différentes échelles d'espace et de temps. Une nouvelle ère est ainsi ouverte avec la mise à disposition libre et gratuite de produits inédits par leur qualité et leur exhaustivité, focalisés sur les besoins des utilisateurs et ciblant des sujets aussi sensibles que l'environnement atmosphérique.

Présentation générale des services CAMS

Un historique

En 2015, le segment atmosphère des services européens Copernicus de surveillance de l'environnement, financés par la direction générale du marché intérieur, de l'industrie, de l'entrepreneuriat et des PME de la Commission européenne (DG GROW), voyait le jour, après plus de dix années de travaux de recherche préparatoires. Ces services, appelés CAMS (pour *Copernicus Atmosphere Services Monitoring*), sont l'une des six composantes du programme aux côtés des services en charge de la surveillance des environnements marin et terrestre, du climat, des situations d'urgence et de la sécurité de l'Union européenne (www.copernicus.eu).

Le programme Copernicus, initialement baptisé GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), et ses services s'appuient sur toutes les données disponibles

issues des réseaux d'observation *in situ* et de l'observation satellite, et sur des modèles de simulation numérique. Le programme spatial Sentinel (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>) a été spécifiquement conçu en Europe pour servir au programme Copernicus. Le premier satellite, Sentinel-1A, a été lancé en 2014 pour supporter le développement des services de surveillance de l'occupation des sols, et une vingtaine de satellites devraient être mis en orbite d'ici à 2030. Les missions Sentinel 4, 5 et 5p sont spécifiquement dimensionnées pour répondre aux besoins du CAMS et mesureront les concentrations de différents composants chimiques de l'atmosphère depuis l'espace. Sentinel 4 sera placé sur une orbite géostationnaire pour surveiller le continent européen dès le début de la prochaine décennie. Sentinel 5p (précurseur) devrait permettre de tester de nouveaux

(1) ECMWF : European Centre for medium-Range Weather Forecasts.

instruments à haute résolution dès cette année (son lancement est prévu en août 2017).

Les services Copernicus produisent un ensemble inédit de données librement accessibles et réutilisables pour développer d'autres types de services plus localisés ou sectorisés, et doper ainsi le marché de l'innovation dans le domaine de l'environnement et participer à la dynamique de la croissance verte.

Le développement et la gestion des services CAMS, tout comme ceux des services climat, ont été délégués par la Commission européenne au Centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPM/T/ECMWF) localisé à Reading (Royaume-Uni). Ce centre avait coordonné la mise en œuvre de tous les projets de recherche préparatoires et pré-opérationnels, soit 4 projets de recherche financés par les programmes cadres de la Commission européenne (6^{ème} et 7^{ème} PCRD et Horizon 2020), qui ont permis de proposer, en 2015, des systèmes opérationnels de prévision, de cartographie, des réanalyses historiques et d'autres données valorisées décrivant la composition chimique de l'atmosphère à l'échelle globale, l'ozone stratosphérique, les UV et à la qualité de l'air en Europe.

Les services CAMS

Le panel des activités couvertes par les services CAMS (<https://atmosphere.copernicus.eu/>) est particulièrement large, il s'articule autour de quatre grandes thématiques :

- la composante globale, qui intègre la surveillance des gaz à effet de serre, des gaz réactifs et des aérosols responsables de la pollution atmosphérique ;
- la composante régionale (ou européenne), qui couvre les enjeux de qualité de l'air en Europe ;
- des services spécifiques, tels que l'appui aux politiques publiques de gestion de la qualité de l'air, l'évaluation des flux de gaz à effet de serre ou la surveillance des radiations solaires ;
- des services dédiés à l'évaluation des émissions de polluants chimiques dans l'atmosphère, qu'ils soient d'origine anthropique ou d'origine naturelle.

Les services, globaux comme régionaux, proposent des prévisions à 3 jours d'échéance, des analyses pour les jours précédents et des réanalyses pour les années passées de la composition chimique de l'atmosphère, respectivement à l'échelle du globe et de l'Europe. Ils s'appuient sur la mise en œuvre de modèles numériques parmi les plus avancés et régulièrement évalués, dans lesquels tous types de données d'observation sont assimilés par des techniques mathématiques complexes pour fournir le meilleur diagnostic possible des niveaux de pollution. Parmi les produits proposés, certains sont totalement inédits et ont trouvé un écho particulier auprès des utilisateurs. Ainsi, par exemple, les prévisions d'évolution des panaches de poussières désertiques (zoom sur l'Europe, voir la Figure 1 ci-contre) ou encore les émissions de feux de biomasse dans le monde (voir la Figure 2 de la page suivante) proposent des informations déterminantes pour comprendre les contributions de sources naturelles aux niveaux de particules atmosphériques auxquels les populations sont exposées. Ces informations résultent de l'ex-

ploitation de données d'observation de la Terre sur l'ensemble du globe intégrées dans des modèles de chimie atmosphérique permettant de réaliser de nouvelles cartographies. La communauté des climatologues trouvera également un intérêt dans un certain nombre d'informations, telles que des réanalyses de forçage radiatif ou de flux de dioxyde de carbone établies de la même façon pour les années passées, à l'échelle du globe, à partir d'observations et de modèles complexes.

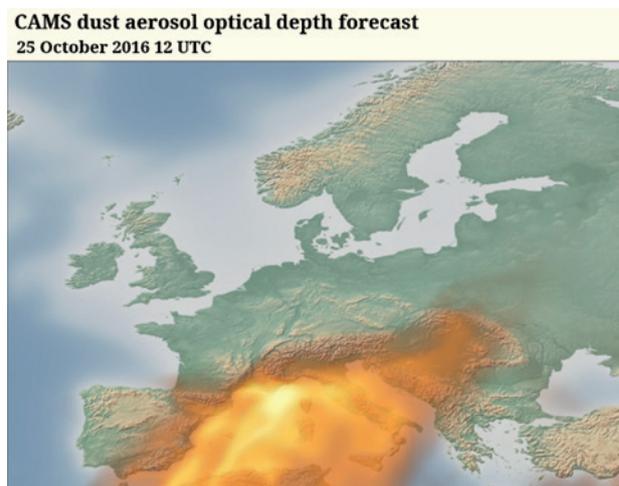


Figure 1 : Panache de poussières désertiques recouvrant une grande partie de l'Europe du Sud, le 25 octobre 2016 (Source : CAMS).

Ces services sont développés et mis en œuvre par plusieurs dizaines d'équipes, parmi les plus performantes en Europe dans le domaine de la chimie atmosphérique et de la qualité de l'air. Elles ont été sélectionnées par l'ECMWF par une procédure d'appel d'offres concurrentielle. Toutes les données issues des travaux menés dans les CAMS sont accessibles et téléchargeables sur son site *Web* au travers d'une interface conviviale, et un effort important est fourni par l'ECMWF et ses partenaires pour accompagner les utilisateurs dans l'appropriation et l'exploitation des données et pour répondre à leurs besoins spécifiques. L'objectif est non seulement de fournir prévisions et évaluations pour l'aide à la décision et pour l'amélioration des connaissances, mais aussi de faciliter le développement de produits dérivés et innovants par les PME.

Le cas particulier de la qualité de l'air

La composante dite régionale des services CAMS contribue à la connaissance de la qualité de l'air en Europe et à la gestion des épisodes de pollution atmosphérique. Il s'agit d'un domaine particulièrement sensible, puisqu'il est associé à des enjeux sanitaires faisant l'objet d'une large attention de la part du public et des médias, et est réglementé par des protocoles internationaux et des directives européennes et leurs déclinaisons dans les législations nationales des pays membres de l'Union.

Ces travaux sont coordonnés par des équipes françaises, localisées à Ineris et à Météo France, qui ont trouvé une légitimité auprès de l'ECMWF et de ses parties prenantes européennes en tirant parti, notamment, de l'expérience importante qu'elles ont acquise au cours des 15 dernières années, notamment à travers le développement et la mise

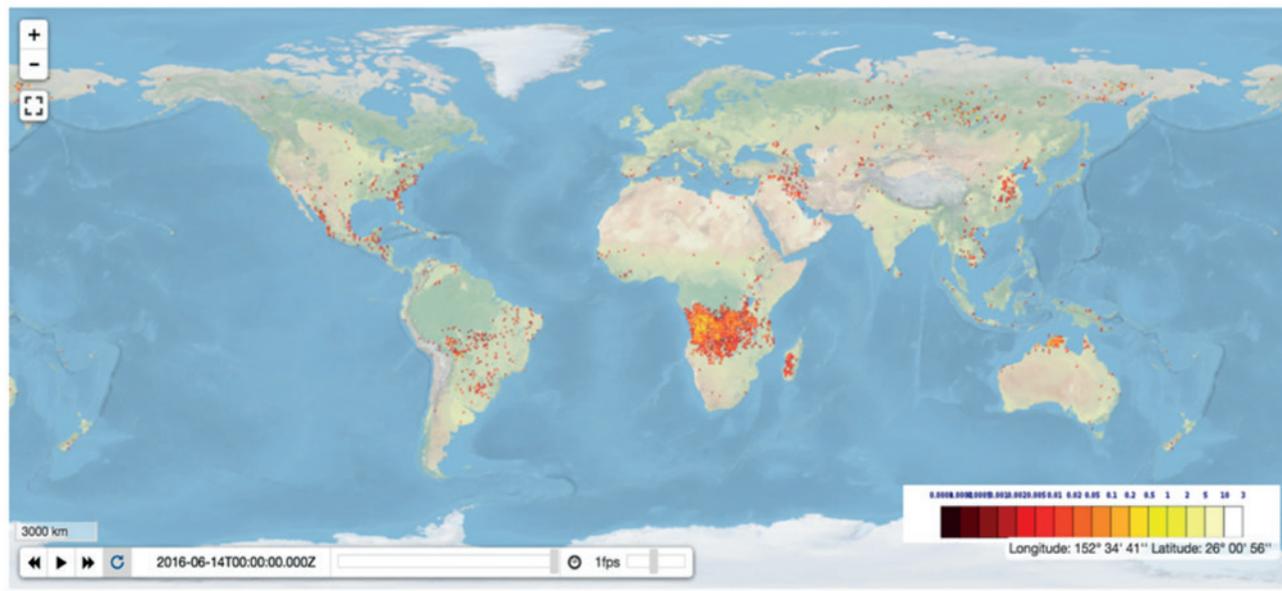


Figure 2 : Feux de biomasse détectés sur la Terre, le 14 juin 2016 (Source : CAMS).

en œuvre de la plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air, PREV'AIR (<http://www2.prevoir.org/>).

Les services de surveillance de la qualité de l'air existant en Europe permettent tout d'abord d'accéder à une description de l'évolution des champs de concentrations de polluants atmosphériques en Europe, au travers :

- des prévisions des concentrations des principaux polluants réglementés (ozone, dioxyde d'azote, particules⁽²⁾ PM₁₀ et PM_{2,5}) en Europe jusqu'à 3 jours, et également des prévisions de concentrations de pollens (dont celui du bouleau, qui est très allergisant) ;
- des analyses en temps quasi réel de la situation de la veille ;
- des réanalyses annuelles permettant d'évaluer l'évolution de qualité de l'air en Europe et l'impact des politiques de gestion et des stratégies de réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère.

Ces prévisions sont élaborées en combinant sept modèles de chimie-transport mis en œuvre par des équipes européennes, parmi lesquels les modèles de Météo France (Mocage) et de l'Ineris et du CNRS (Chimere). Elles bénéficient donc des atouts individuels de chacun des modèles et permettent ainsi de reconstruire les meilleures prévisions et cartographies possibles pour l'Europe, avec une résolution spatiale de 10 km. Les analyses et les réanalyses sont établies en assimilant les données d'observation issues des réseaux de mesures réglementaires implantés dans les pays européens et rapportées à l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE). Chaque modèle utilise les mêmes données d'entrée : prévisions météorologiques du CEPMMT, données d'émissions et conditions aux limites produites par d'autres services de Copernicus Atmosphère. L'originalité et la force de la démarche CAMS est l'exploitation de tous ces modèles pour produire un « ensemble » résultant de la combinaison de leurs résultats qui s'avère particulièrement robuste et d'une qualité su-

périeure à celle des modèles pris individuellement. Le service est régi par des processus particulièrement rigoureux d'assurance qualité et d'évaluation qui permettent une transparence totale sur les performances des modèles (voir la Figure 3 ci-dessous).

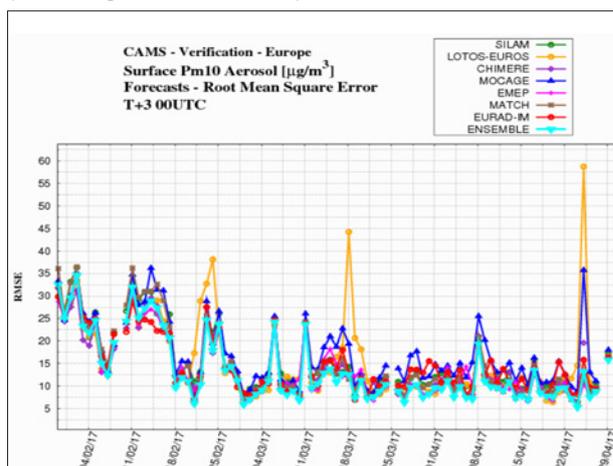


Figure 3 : Exemple d'information relative à la qualité des prévisions de qualité de l'air produites par les 7 modèles impliqués et leur ensemble. Et erreur quadratique moyenne pour les concentrations de PM₁₀ sur la période février-mars-avril 2017 (Source : <http://www.regional.atmosphere.copernicus.eu>).

L'ensemble des produits est disponible, depuis juin 2016, sur les pages du site : <http://www.regional.atmosphere.copernicus.eu>. Cette plateforme donne aux utilisateurs un accès libre et gratuit à un nombre conséquent de données et à près de 800 produits.

Dans le domaine de la qualité de l'air, d'autres produits sont proposés, notamment à destination des acteurs impliqués dans la mise en œuvre des politiques de gestion

(2) Particules de diamètres inférieurs, respectivement, à 10 microns et à 2,5 microns.

de la pollution atmosphérique en Europe – ils sont disponibles sur les pages du site : <http://policy.atmosphere.copernicus.eu/>

Ces services orientés sur les enjeux de gestion ont trois vocations principales :

- produire des bilans annuels chiffrés et des rapports d'analyse sur l'évolution de la qualité de l'air en Europe, notamment sur la base des réanalyses annuelles précédemment décrites. Ces rapports proposent un certain nombre d'indicateurs réglementaires ou représentatifs des effets sur la santé de la pollution atmosphérique (voir la Figure ci-dessous),

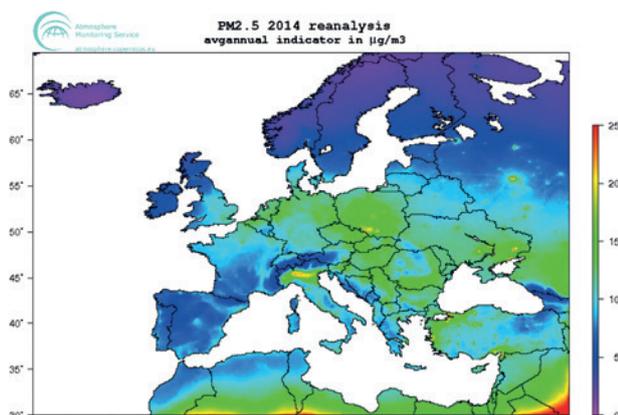


Figure 4 : Moyenne annuelle des concentrations de particules fines dans l'atmosphère de l'Europe en 2014.

- simuler quotidiennement l'effet qu'auraient sur les concentrations de polluants atmosphériques des mesures de réduction des émissions dans différents secteurs d'activité (industrie, trafic routier, chauffage résidentiel, agriculture...). L'analyse de ces résultats, présentés sous la forme de cartes d'impact, permet de qualifier les facteurs déterminants des épisodes de pollution, et donc les stratégies de gestion susceptibles de s'avérer les plus efficaces. Ces résultats rappellent que les stratégies de gestion de la pollution atmosphérique peuvent varier d'un polluant à l'autre, ainsi qu'en fonction des régions géographiques et des périodes considérées,
- simuler quotidiennement, pour les capitales européennes, la part de pollution imputable aux activités locales par rapport à celle attribuable aux pays voisins. Cette troisième application permet de disposer d'une analyse qualitative, présentée sous forme de camemberts et de séries temporelles, de la contribution du transport à longue distance des polluants atmosphériques.

Ces informations peuvent être utiles aux gestionnaires politiques pour anticiper l'efficacité des décisions qu'ils peuvent prendre. Elles les informent sur les leviers d'action nationaux ou locaux et sur les conséquences d'une action sur tel ou tel secteur d'activité. La résolution des modèles mis en œuvre ne permet pas de se focaliser sur des situations de pollutions très localisées, telles celles de la proximité des axes routiers ou de sites industriels. Elle permet néanmoins d'accompagner l'action visant à abaisser les niveaux de fond des polluants atmosphériques, et donc l'exposition chronique des populations.

Une gouvernance originale pilotée par les besoins des utilisateurs

En conclusion, les services Copernicus Atmosphere constituent une nouvelle génération de produits et de données fédérant les informations issues des réseaux d'observation *in situ*, de l'observation satellite et de modèles numériques pour mieux décrire et comprendre les facteurs influençant notre environnement atmosphérique.

Cette initiative est originale par son ampleur et les moyens alloués (elle mobilise plusieurs dizaines d'équipes de développement en Europe), par son exigence d'opérationnalité et de qualité, et par sa politique d'ouverture aux utilisateurs.

Afin de stimuler la croissance économique en Europe, un nombre inégalé de données et d'informations relatives à la qualité de l'air en Europe, mais aussi à l'échelle du globe, est mis à la disposition de tous. CAMS compte aujourd'hui plus de 5 000 utilisateurs abonnés, qui téléchargent tous les jours des données et des produits pour leurs propres évaluations ou pour développer et disséminer de nouvelles applications. Ces utilisateurs sont également une composante importante de la gouvernance du système Copernicus, lequel est largement piloté par leurs retours d'expérience et par leurs besoins. Au niveau Copernicus, un forum Utilisateurs analyse l'offre disponible et émet des recommandations, voire des requêtes sur son évolution. Le même schéma est reproduit au niveau de chaque service d'application. Ainsi, CAMS a développé une politique de communication entièrement tournée vers les utilisateurs, dédiée autant à la promotion des produits existants et à leur dissémination qu'à l'écoute des nouveaux besoins pour anticiper les futurs développements. Une base de données compilant ces requêtes est alimentée par les retours d'expérience des utilisateurs recueillis au travers d'enquêtes, d'ateliers et de sessions de formation. À terme, cette base pilotera la pérennité et l'évolution des services, ce qui constituera une nouvelle particularité du système Copernicus.

Le pari Copernicus Atmosphere a néanmoins été relevé avec la mise en place, en une dizaine d'années, de services complètement opérationnels produisant tous les jours une masse inédite d'informations permettant de décrire l'évolution de la composition de l'atmosphère dans le monde et de la qualité de l'air en Europe. Ces informations sont basées sur les outils, modèles et données les plus avancés dans l'état de l'art et répondent à de stricts critères d'assurance qualité. Ces services valorisent ainsi des travaux de recherche extrêmement poussés et illustrent les liens étroits qui peuvent être tissés entre les mondes académique, institutionnel et concurrentiel. Réciproquement, la mise en œuvre de services opérationnels et les demandes des utilisateurs mettent en exergue les incertitudes et les questions nécessitant encore un effort de recherche. Cette nouvelle dynamique ne demande qu'à se développer, dans le domaine de la surveillance de l'atmosphère comme dans les autres segments de Copernicus, pour créer une petite révolution dans les domaines de l'observation, de la simulation numérique et de la prévision fédérés au sein de services entièrement tournés vers les citoyens, de manière générale, et vers les acteurs économiques, en particulier.