

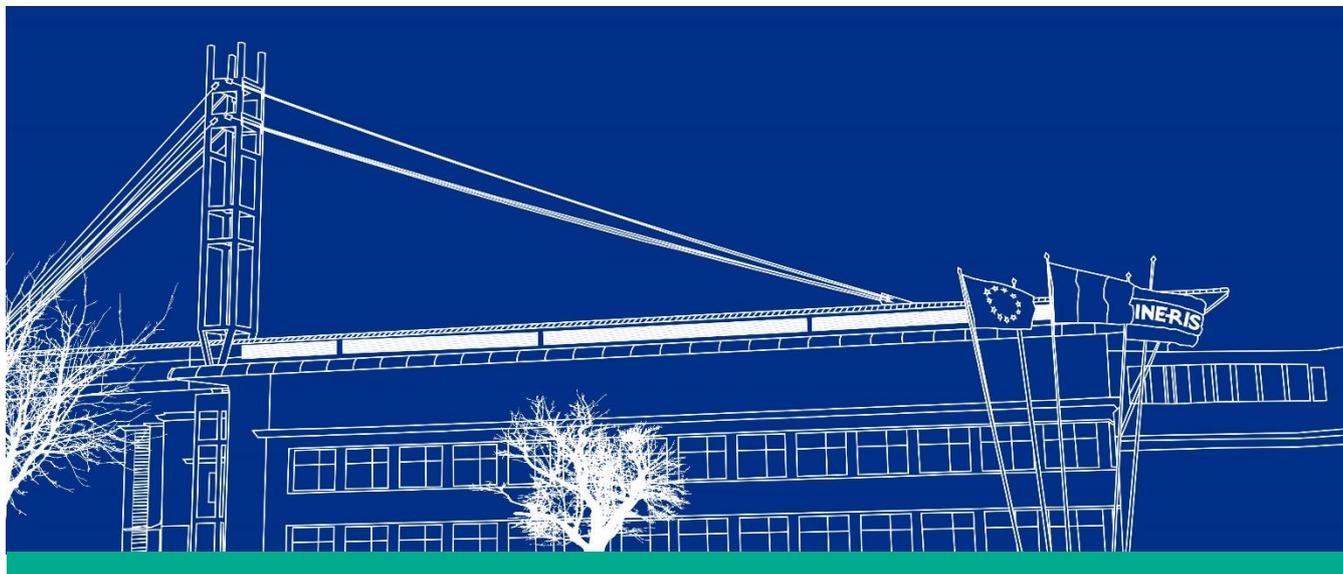


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 206575 - 2820774 - v1.0

02/01/2025

Protocole d'analyse des épisodes de pollution pour l'aide à la décision

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION MILIEUX ET IMPACTS SUR LE VIVANT

Rédaction : MELEUX Frederik

Vérification : COLETTE Augustin

Approbation : Document approuvé le 02/01/2025 par COINTE Raymond

Liste des personnes ayant participé à l'étude : COLETTE Augustin ; DURIF Marc ; FAVEZ Olivier ; LETINOIS Laurent ; MARCHAND-MARQUIS Caroline

Table des matières

1	Introduction	6
2	Cadre réglementaire	7
2.1	Niveau européen	7
2.1.1	AQUILA et CEN/TC 264 (objectifs qualité des mesures)	7
2.1.2	FAIRMODE (objectifs qualité de la modélisation)	8
2.1.3	Recommandations de l’OMS	8
2.2	Niveau national	9
2.2.1	Loi Laure	9
2.2.2	Arrêté du 16 avril 2021	9
2.2.3	Arrêté du 7 avril 2016 (Mesures d’urgence)	9
2.2.4	Référentiel technique national	11
3	Sources d’information	11
3.1	Observations depuis le sol	11
3.1.1	Réseaux de mesure réglementaires et opérationnels	12
3.1.2	Programmes et infrastructures de recherche	14
3.2	Observations satellites	16
3.3	Modélisations de la qualité de l’air	16
3.3.1	Plateforme nationale de prévision de la qualité de l’air Prev’air	17
3.3.2	Service Copernicus de Surveillance de l’Atmosphère	19
3.3.3	Plateformes régionales de prévisions des AASQA	20
3.4	Emissions Anthropiques et Naturelles de précurseurs de polluants	21
3.4.1	Inventaire National Spatialisé	21
3.4.2	Emissions CAMS	21
3.4.3	Feux de forêt	21
3.4.4	Emissions volcaniques	21
3.5	Prévisions météorologiques	22
3.5.1	Expertise Météo-France	22
3.5.2	Bulletin Météo-France (suivi canicule)	22
3.5.3	Accès aux données météorologiques	22
4	Communication	22
4.1	Prévision des épisodes	22
4.2	Analyse en cours d’épisode	23
4.3	Descriptif des épisodes au fil de l’eau et sur l’année	23
5	Structure programmatique	24
5.1	Recherche	24
5.2	Appui	24
6	Annexe 1 : Typologies des épisodes de pollution	26
6.1	Episodes de pollution en Métropole	26
6.1.1	Episode hivernal - vague de froid (PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂)	26
6.1.2	Episode printanier (PM ₁₀ , PM _{2.5})	27

6.1.3	Episode Estival (O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5})	27
6.1.4	Episodes d'origine naturelle.....	28
6.2	Episodes de pollution sur les territoires ultra-marins des Caraïbes (Guyane, Martinique et Guadeloupe) : PM ₁₀	30
6.3	Episode de pollution sur les territoires ultra-marins de l'Océan Indien (Mayotte et Réunion) : PM ₁₀ et SO ₂	31
6.4	Synthèse des typologies d'épisodes de pollution	31
6.5	Compléments concernant les épisodes de pollution au NO ₂	33
7	Annexe 2 : Exemples d'études de cas concernant des épisodes de pollution	34
7.1	Feux de Forêt Canada Juin 2023	34
7.2	Pollution particulaire (Février 2023)	35
7.3	Feux de forêt en Gironde (été 2022).....	38
7.4	Eruption volcanique aux Canaries	41

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1	: Niveaux de qualité de l'air recommandés par l'OMS (2021) et cibles intermédiaires.....	8
Tableau 2	: Seuils réglementaires utilisés pour caractériser un épisode de pollution en France.	10
Tableau 3	: Liste des produits Prev'air disponibles selon les territoires considérés	17

Figure 1	: Haut gauche : Prédiction numérique d'épaisseur optique (colonne totale) d'aérosols issue du modèle global CAMS/IFS issue le 23/06 pour le 26/06/2023 (source : atmosphere.copernicus.eu). Haut droite : comparaison du profil de rétrodiffusion à Alençon indiquant la subsidence du panache de feux et son intégration à la couche limite le 28/06 (Eprofile (e-profile.eu) Bas : concentrations de PM ₁₀ (µg/m ³) du 27 au 29 Juin pour trois stations rurales en Mayenne (53), Orne (61) et Yvelines (78) (source : geodair.fr).	35
Figure 2	: Daily time-series of PM ₁₀ concentrations, source allocation (upper panels) and chemical composition (middle panels) for Paris in the period 7-17 February 2023 from (a) EMEP and (b) LOTOS-EUROS model simulations and EEA air quality monitoring (bottom panels). The maps (top left) show the location of the considered city and the 'city area' defined as a rectangle of ca. 42kmx42km at the EMEP grid (black rectangle on the bottom panels). The Source Regions plots (upper panels) show the top 10 region-contributors to PM ₁₀ ; the Chemical Species plots (the 2nd row) show PM ₁₀ chemical composition, and finally Observations plots compare averaged city area modelled PM ₁₀ (solid black line) with observations (dashed lines) from the EEA AQ e-reporting database (the 3rd row). Pie diagrams show average for the period top 10 region-contributors to PM ₁₀ (upper panels) and the chemical composition of PM ₁₀ (middle panels). Activity sector allocation for PM ₁₀ at the receptor point of Paris from the ACT are shown on bottom panel See CAMS_71 SR policy product website for more details ...: https://policy.atmosphere.copernicus.eu/YearlyStatistics.php	37
Figure 3	: PM ₁₀ composition, derived from ACSM and AE33 measurements (5-18 February 2023): for Lyon (top) and Calais Berthelot (close to Lille, bottom). Courtesy of INERIS/LCSQA/Atmo AURA/Atmo HDF.	38
Figure 4	: Evolution temporelle des concentrations moyennes horaires en PM ₁₀ , PM _{2.5} (axe des ordonnées à gauche) et BC (axe des ordonnées à droite) pour différentes stations du programme CARA (sources de données : Geod'air)	41
Figure 5	: Concentrations des principales espèces chimiques des particules fines (PM _{2.5}) mesurées au SIRTa entre le 18 et le 20 juillet 2022.....	41
Figure 6	: Cartes de prévisions européennes des concentrations de SO ₂ à la surface par le service régional Copernicus pour le 25 septembre à 00 UTC et le 26 septembre à 00 UTC, en microgrammes par mètre cube.	42

Résumé

L'Ineris a défini un protocole d'analyse des épisodes de pollution qui retrace l'ensemble des actions réalisées pour expertiser la qualité de l'air et mener à bien les missions qui lui sont confiées dans ce cadre par l'Etat et notamment celles précisées par l'arrêté du 16 avril 2021 sur le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air.

Abstract

Ineris has defined a protocol for analysing air pollution episodes, which describes all the actions undertaken to assess air quality levels and carry out the missions entrusted to it by the government, particularly those specified by the Order of April 16, 2021, on the national air quality monitoring system.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Protocole d'analyse des épisodes de pollution, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 206575 - 2820774 - v1.0, 02/01/2025.

Mots-clés :

Episode de pollution, prévision, qualité de l'air, Prev'air, LCSQA, Geod'air, CARA

1 Introduction

L'Ineris est doté de capacités d'appui aux situations d'urgence et de crise environnementale. Dans le domaine de la qualité de l'air, l'Institut est impliqué dans la prévision et l'analyse des épisodes de pollution, en particulier pour l'information du public et des autorités et, en particulier pour les autorités, sur l'aspect compréhension des épisodes qui peuvent aider à la gestion

Avec la maturité croissante des outils de prévisions numériques de la qualité de l'air au début des années 2000, la plateforme nationale Prev'air a pu voir le jour sous la coordination de l'Ineris, en collaboration avec le CNRS, Météo-France et le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) et sous l'égide du Ministère chargé de l'Environnement. L'événement fondateur a été l'intense pic d'ozone qui a eu lieu lors de la canicule de l'été 2003 qui a permis d'identifier le besoin de disposer d'un système de prévision de la qualité de l'air.

Depuis lors, le système national de prévision a considérablement évolué. Il repose encore en grande partie sur les chaînes de modélisation de la plateforme Prev'air mais sont venues s'y adjoindre une utilisation croissante des observations intégrées à la modélisation par différentes méthodes statistiques et des stratégies spécifiques en termes d'assurance et de contrôle qualité, de diffusion des données ou encore de communication publique.

En cas d'épisode de pollution, l'Ineris - au titre de ses missions au sein de Prev'air - émet un bulletin décrivant l'état de la qualité de l'air et informe sur la persistance de l'événement. Des éléments informatifs sur les sources potentielles de pollution sont ainsi fournis dans ces bulletins en faisant référence à des typologies d'épisodes de pollution prédéfinies. Si les interprétations présentées s'appuient avant tout sur les moyens de Prev'air, elles sont enrichies grâce à d'autres sources d'informations qui contribuent à mieux caractériser en temps réel (i) le risque d'occurrence de l'épisode, (ii) sa persistance, (iii) ses principales causes, (iv) le potentiel des stratégies d'atténuation.

La remontée en temps réel au niveau national des observations faites en région par les associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) constitue une source d'information indispensable.

En parallèle, le dispositif CARA a progressivement été mis en place à partir de 2008 dans le cadre des travaux du LCSQA et en synergie avec l'observatoire EMEP/MERA¹ afin de mieux documenter, par la mesure, l'origine des particules lors des pics de pollution et sur le long terme. D'abord basé sur la mesure sur filtres, il s'est depuis enrichi d'une quinzaine de stations multi-instrumentées pour la mesure automatique de la composition chimique des particules, en étroite collaboration avec les AASQA et la composante française de l'infrastructure de recherche (IR) Européenne ACTRIS.

D'autres sources d'informations complémentaires se sont également développées au niveau Européen comme le Service Copernicus de Surveillance de l'Atmosphère.

L'objectif général de ce protocole d'analyse des épisodes de pollution pour l'aide à la décision est de détailler les méthodes, outils et processus à disposition pour produire en temps réel des éléments d'analyse par les experts afin d'informer le public et de guider les pouvoirs publics dans leur action.

Ce document présente une revue complète des informations à disposition pour le suivi de la qualité de l'air principalement en France mais aussi plus largement pour pouvoir anticiper tout transport atmosphérique de pollution qui risque d'affecter le territoire national. Il repose sur une diversité de sources d'information dont les principaux éléments sont :

- La plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air Prev'Air ;
- Les réseaux réglementaires de mesure de la qualité de l'air (AASQA) ;
- L'observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain (CARA) et le dispositif MERA (tous deux coordonnés par le LCSQA) ;
- Les Services ou infrastructures de recherche nationales et européennes (CAMs, ACTRIS, ...).

¹ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-mera>

Ce document est organisé suivant quatre grandes parties :

- Cadre réglementaire ;
- Sources d'information disponibles (observations et modélisations) pour l'analyse des épisodes de pollution ;
- Communication vers les autorités, les acteurs du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, le grand public ;
- Perspectives et Evolutions à moyen terme.

2 Cadre réglementaire

2.1 Niveau européen

La [Directive 96/62/CE du 27 septembre 1996](#) concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant constitue l'un des premiers documents européens proposant une approche communautaire pour la surveillance de la qualité de l'air.

Au-delà de fixer des objectifs relatifs à la qualité de l'air en ce qui concerne la concentration de divers polluants, cette directive introduit aussi des obligations relatives :

- Aux modalités de surveillance de la qualité de l'air ;
- A l'information des populations ;
- A la mise en œuvre des plans d'action dans les zones pour lesquelles des dépassements des objectifs sont observés afin qu'ils soient respectés dans les délais les plus courts ;
- A l'accès à la justice environnementale.

Une évolution majeure du contexte réglementaire est intervenue en 2024 avec une refonte de la directive sur la qualité de l'air ambiant (directive européenne 2024/2881²) qui devra faire l'objet d'une transposition en droit français d'ici 2026. Pendant ce délai, la directive précédente est toujours en vigueur. Elle a été adoptée en 2008³. La directive de 2024 aura des effets sur la gestion des épisodes de pollution⁴ avec la révision des seuils d'information et d'alerte des polluants déjà réglementés ou l'ajout de seuils journaliers pour les PM_{2.5}. Une révision de l'arrêté mesure d'urgence⁵ du 7 Avril 2016 (modifié en aout 2020) est donc aussi attendue.

2.1.1 AQUILA et CEN/TC 264 (objectifs qualité des mesures)

AQUILA, dont le secrétariat est assuré par le centre commun de recherche de la Commission européenne (JRC), constitue le forum européen de l'ensemble des laboratoires de référence nationaux pour la surveillance de la qualité de l'air (e.g., LCSQA pour la France). Cette coordination permet notamment l'harmonisation des pratiques et des méthodologies des réseaux opérationnels à l'échelle européenne. Elle joue également un rôle d'interface entre ces réseaux et les travaux de recherche, et un rôle de conseil auprès de la commission européenne pour la bonne application des directives et travaille également à leurs révisions.

² Remplace à partir du 11 décembre 2024 les précédentes directives 2008/50/EC et 2004/107/EC.

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32008L0050>

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L202402881>

⁵ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032376671/>

La commission TC 264 du comité européen de normalisation (CEN) est chargée de l'élaboration et la révision des normes relatives à la surveillance de la qualité de l'air ambiant. Il fonctionne sur la base de groupes de travail sur des thématiques principalement orientées sur les questions métrologiques.

2.1.2 FAIRMODE (objectifs qualité de la modélisation)

Il s'agit du Forum européen sur l'utilisation de la modélisation de la qualité de l'air dans l'application des directives. Lancé en 2007, sa présidence est assurée par le JRC et c'est le LCSQA /Ineris qui joue le rôle de point focal national pour la France.

FAIRMODE conduit des travaux afin notamment de définir des critères de qualité et de performance des modélisations, produire des guides et des outils (Delta tool, Delta emission tool) pour la mise en œuvre de méthodes de modélisation dans le cadre d'un appui à la décision politique.

2.1.3 Recommandations de l'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose des niveaux de référence⁶ dont les derniers ont été publiés en 2021⁷ pour les particules (PM_{2,5} et PM₁₀), le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃), le dioxyde de soufre (SO₂) et le monoxyde de carbone (CO). Elle communique également des informations qualitatives sur les bonnes pratiques⁸ pour la gestion de certains types de particules pour lesquels on ne dispose pas d'assez de données quantitatives pour établir des niveaux de référence.

Tableau 1 : Niveaux de qualité de l'air recommandés par l'OMS (2021) et cibles intermédiaires

Polluant	Durée retenue	Cible intermédiaire				Niveau recommandé
		1	2	3	4	
PM _{2,5} , µg/m ³	Annuel	35	25	15	10	5
	24 heures ^a	75	50	37,5	25	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annuel	70	50	30	20	15
	24 heures ^a	150	100	75	50	45
O ₃ , µg/m ³	Saison de pointe ^b	100	70	-	-	60
	8 heures ^a	160	120	-	-	100
NO ₂ , µg/m ³	Annuel	40	30	20	-	10
	24 heures ^a	120	50	-	-	25
SO ₂ , µg/m ³	24 heures ^a	125	50	-	-	40
CO, mg/m ³	24 heures ^a	7	-	-	-	4

^a 99^e percentile (c.-à-d. 3 à 4 jours d'excédent par an)

^b Moyenne de la concentration moyenne en O₃ maximale sur 8 heures et six mois consécutifs, avec la plus forte concentration en O₃ des moyennes glissantes sur six mois.

6 Les seuils de référence sont des recommandations quantitatives fondées sur des éléments factuels incluant l'examen systématique des données concernant les effets nocifs sur la santé (y compris une indication de la forme de la courbe de la concentration-réponse) pour les PM_{2,5} les PM₁₀, le NO₂, l'O₃, le SO₂ et le CO, pour les durées retenues pour le calcul des moyennes pertinentes.

7 Les cibles intermédiaires servent à orienter les démarches entreprises pour réduire la pollution atmosphérique en vue d'atteindre rapidement les seuils de référence.

8 Les informations relatives aux bonnes pratiques aident à gérer certains types de particules (noir de carbone/carbone élémentaire, particules ultrafines et particules provenant de tempêtes de sable et de poussière), lorsqu'il est impossible d'établir des seuils de référence en l'absence de preuves quantitatives claires sur les effets de chacun de ces polluants sur la santé

2.2 Niveau national

2.2.1 Loi Laure

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30/12/1996, intégrée depuis au Code de l'Environnement, prévoit une surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire national mise en œuvre dans chaque région par les AASQA (article L. 221-1 à L. 221-5) et une information du public (article L. 221-6).

L'article L. 221-6 précise notamment que lorsque les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article L. 221-1 ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être, le public en est immédiatement informé par l'autorité administrative compétente.

Cette information porte également sur les niveaux de concentration de polluants, les risques sur la santé et l'environnement, les conseils aux populations concernées et les dispositions arrêtées. L'autorité administrative compétente peut déléguer la mise en œuvre de cette information aux organismes agréés prévus à l'article L. 221-3 (AASQA).

2.2.2 Arrêté du 16 avril 2021

Les directives européennes sur la qualité de l'air sont transposées en droit français par l'article R 221-1 du code de l'environnement⁹ et par l'arrêté du 16 avril 2021¹⁰ relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

Ce dernier fixe les modalités de mise en œuvre du Code de l'environnement. Il explicite la transposition des directives européennes ainsi que des protocoles de la convention de Genève (programme EMEP notamment) et assure la qualité, la fiabilité et la représentativité des données produites par ce dispositif national ainsi que leur mise à disposition auprès du public.

L'arrêté relatif au dispositif de surveillance décrit aussi les missions de Prev'air.

Il stipule que Prev'air élabore quotidiennement et met à disposition de tous des cartes de concentrations (prévisions et analyses) et les données numériques correspondantes (prevair.org).

Prev'air fournit aux AASQA les conditions aux limites de leur région, une estimation des critères nécessaires pour le déclenchement des procédures de gestion des épisodes de pollution. L'arrêté précise également qu'en cas d'épisode de pollution persistant de deux jours ou plus et touchant trois régions ou plus, Prev'air émet un bulletin d'information sur la situation et son évolution. Conformément à l'arrêté du 16 avril 2021, Ce bulletin intègre à la fois une analyse de la situation et de son évolution au niveau national, et un état des déclarations des épisodes et procédures déclenchées provenant du Module Vigilance (issu du site internet www.lcsqa.org) déclarés à l'heure de la diffusion. Il est bien précisé que cette extraction est valide à une heure donnée. Ce bulletin est diffusé au ministère chargé de l'environnement (DGEC, CMVOA, DREAL/DEAL/DRIEAT), au ministère chargé de la santé (DGS), à SPF, aux AASQA et aux membres du Consortium Prev'air (CNRS, Météo-France, LCSQA).

2.2.3 Arrêté du 7 avril 2016 (Mesures d'urgence)

L'arrêté « dit mesures d'urgence »¹¹ (AMU) définit ce qu'est un épisode de pollution de l'air par rapport aux seuils d'informations/recommandations et d'alertes et à des superficies (au niveau de la région) et des populations exposées (au niveau départemental) excédant les seuils réglementaires. Il définit le contexte réglementaire autour déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant.

⁹ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000022964539

¹⁰ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043388197>

¹¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032376671/>

Tableau 2 : Seuils réglementaires utilisés pour caractériser un épisode de pollution en France.

	Dioxyde d'azote (NO ₂)	Ozone (O ₃)	Particules (PM ₁₀)
Niveau d'information et de recommandation	200 µg/m³ (moyenne horaire)	180 µg/m³ (moyenne horaire)	50 µg/m³ (moyenne journalière)
Seuil d'alerte	400 µg/m³ ou 200 µg/m³ (moyenne horaire) Si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et si les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.	1^{er} seuil : 240 µg/m ³ (moyenne horaire) 2^e seuil : 300 µg/m ³ (moyenne horaire, dépassée pendant 3 heures consécutives) 3^e seuil : 360 µg/m ³ (moyenne horaire)	80 µg/m³ (moyenne journalière)

Cet arrêté précise également le rôle de l'AASQA dans sa région de compétence, dans la prévision de la qualité de l'air et l'information du préfet et du grand public. Dans le *Guide¹² du Ministère du 11/04/2018 sur la gestion des épisodes de pollution de l'air ambiant* il est précisé que si les écarts de prévision entre l'AASQA et la plate-forme Prev'air subsistent, la prévision à prendre en compte pour le déclenchement des procédures préfectorales est celle de l'AASQA. Il est mentionné également que la prévision de la qualité de l'air est complexe et l'appréciation d'un dépassement de seuil reste délicate lorsque le niveau de concentration prévu est proche de ce seuil. Aussi que le bulletin Prev'air complète les prévisions régionales des AASQA.

L'arrêté AMU précise aussi le processus de déclenchement des mesures d'urgence visant à réduire les niveaux de concentrations du ou des polluants responsables de l'épisode de pollution. Ce processus est constitué des éléments suivants :

- Un document cadre établi par le préfet de zone, adaptant les mesures aux particularités locales ;
- Un arrêté préfectoral/inter préfectoral qui décline le document cadre zonal, et définit les mesures d'urgences locales susceptibles d'être prises (concertation avec les parties prenantes / avis du Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST) ;
- Annexe : recommandations ou mesures réglementaires de réduction des émissions par secteur.

L'arrêté liste un ensemble d'actions visant tous les secteurs d'activités (industriel, trafic, agriculture, résidentiel ...) :

- Exemples de recommandations : décaler les épandages, reporter les pratiques d'écobuage, suspendre l'utilisation des foyers ouverts, mettre en place des techniques de dépollution, recommander l'utilisation des moyens de transports en commun, covoiturage ...
- Exemples de mesures réglementaires : abaisser des limitations de vitesse, mettre en place la circulation différenciée ; le respect de certaines recommandations devient obligatoire.

¹² [18-0176 5B ErD Guide gestion épisodes pollution air ambiant logo](#) qui se substitue aux instructions de 2014 et 2017.

2.2.4 Référentiel technique national

L'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant requiert un référentiel technique national dont l'élaboration et la mise à jour sont confiées au LCSQA.

Le référentiel technique national est un recueil documentaire regroupant :

- Textes normatifs :
- Guides méthodologiques :
- Résolutions techniques :
- Documents d'information :
- Procédures LCSQA :
- Documents européens :
- Documents nationaux :
- Documents régionaux.

Parmi ces textes, il y a, depuis 2022, deux éléments de cadrage de la production des chaînes de prévision de la qualité de l'air¹³:

- **Qualité et traçabilité de la chaîne de prévision des épisodes de pollution**

Ce document décrit les éléments de la chaîne de prévision de la qualité de l'air, tant sur les aspects organisationnels que sur le plan de son fonctionnement opérationnel et technique. Ces éléments doivent être décrits précisément par les AASQA à travers des documents spécifiques qui pourront faire l'objet de contrôle notamment lors des audits du LCSQA.

- **Evaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air**

Ce document constitue le second volet du référentiel dédié à la prévision de la qualité de l'air qui concerne l'harmonisation des pratiques d'évaluation faisant l'objet d'un rapportage annuel comme défini dans l'arrêté surveillance.

Ces évaluations doivent être transmises chaque année au LCSQA et doivent comporter un descriptif du système de prévision, des résultats évalués et des données utilisées. Le fonctionnement de la plateforme de prévision et le taux de disponibilité des prévisions sont également à renseigner.

Il comprend une analyse synthétique des performances de l'année passée et une description plus détaillée dans le cœur du document.

Les calculs des scores de performance sont axés sur la cartographie des concentrations la plus aboutie à disposition du prévisionniste (qu'elle résulte d'un modèle brut, assimilé, ou corrigé à dire d'expert). Pour les PM₁₀ et l'ozone, des objectifs de qualité sont définis en termes de corrélation, de biais et d'erreur quadratique moyenne. Dans un souci d'amélioration continue, les étapes intermédiaires conduisant à cette cartographie doivent aussi être évaluées.

3 Sources d'information

Le panel d'information à disposition pour l'interprétation des épisodes de pollution s'est considérablement élargi au fil des années. Cette section fournit les sources disponibles à ce jour, elle a vocation à continuer à s'étoffer à l'avenir.

3.1 Observations depuis le sol

Les données d'observation au sol comprennent les données in situ mais aussi les données de télédétection sur la colonne d'air. Ces données sont acquises à la fois dans le cadre réglementaire (européen et national) décrit ci-dessus et/ou dans le cadre d'activités de recherche (infrastructures de recherche).

¹³ <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guides-methodologiques-pour-la-prevision-de-la-qualite-de-lair>

3.1.1 Réseaux de mesure réglementaires et opérationnels

3.1.1.1 Données disponibles

Les mesures réglementaires

Ces mesures sont confiées par le ministère de l'environnement aux Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQAs).

On distingue, selon les polluants :

- Les données dites automatiques, qui résultent de mesures effectuées en continu de manière automatique ; ces données sont publiées au fil de l'eau (données disponibles en temps quasi réel¹⁴).
 - Polluants réglementaires européens (Directive 2024/2881¹⁵ concernés : pour les polluants gazeux : NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, benzène, pour les particules en suspension : PM₁₀ et PM_{2.5} ;
 - Polluants d'intérêt national (PIN) concernés : espèces chimiques majeures de la fraction fine des PM (PM₁ et/ou PM_{2.5}) en temps réel mesurées dans le cadre du programme CARA, concentration totale en nombre de particules. Certains de ces PIN passent avec la Directive 2024/2881 dans le domaine de la surveillance réglementaire avec l'introduction des nouvelles variables (e.g., concentration massique de carbone suie, concentration en nombre et granulométrie des particules ultrafines).
- Les données dites manuelles, qui résultent de prélèvements effectués sur des pas de temps allant généralement d'une journée à une semaine et dont les valeurs ne sont disponibles qu'après analyse en laboratoire (données disponibles en temps différé).
 - Polluants réglementaires européens concernés : benzène, métaux lourds et benzo[a]pyrène dans les PM₁₀ et certains composés organiques volatils, ainsi que les concentrations des principales espèces chimiques des PM_{2.5} sur les (futurs) supersites ruraux (et urbains) ;
 - Polluants d'intérêt national concernés : pesticides (liste de 75 substances).

L'ensemble des données de mesure en temps réel relatives aux polluants réglementaires européens présents dans Geod'air est versé dans la base de données européenne de l'agence européenne de l'environnement (EEA¹⁶), qui regroupe également les données des autres Etats membres. Ces données sont ensuite validées par les AASQA et resoumises à l'EEA dans le cadre du rapportage annuel.

Les mesures du programme CARA¹⁷

Ce programme, mis en place en 2008, constitue l'observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain. Il répond au besoin de compréhension et d'information sur la nature et l'origine des particules fines. Piloté par l'Ineris, il est basé sur une collaboration étroite entre le LCSQA, l'infrastructure de recherche ACTRIS et les AASQA et constitue un réseau opérationnel d'observation de la composition chimique des particules unique en Europe.

Reposant à l'origine sur l'analyse chimique en laboratoire de filtres collectés par des AASQA volontaires sur différentes stations du dispositif national, principalement en PM₁₀, ce programme dispose aujourd'hui d'analyseurs automatiques dimensionnés pour la surveillance en temps réel permettant de compléter efficacement le dispositif « sur filtres » et permet le suivi des espèces chimiques du mode fin, considérées comme PIN et constituées principalement :

- Du carbone suie (ou Black Carbon), issu de la combustion incomplète d'énergies fossiles ou de biomasse.
- De la matière organique (contenant des atomes de carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote...) primaire ou secondaire ;

¹⁴ Dans le cadre de Geod'air la disponibilité de la mesure intervient dans les 2 heures qui suivent la mesure

¹⁵ Qui remplace les directives 2008/50/EC et 2004/107/EC à partir du 11 décembre 2024.

¹⁶ <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/up-to-date-air-quality-data>

¹⁷ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>

- Et des espèces inorganiques secondaires (en particulier le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium).

Le Black Carbon est mesuré à l'aide d'aethalomètres multi-longueur d'onde AE33. La matière organique et les espèces inorganiques sont mesurées à l'aide d'Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM). Des mesures automatiques complémentaires de la granulométrie des particules ultrafines et de la concentration des éléments traces métalliques viennent aujourd'hui compléter le programme CARA sur quelques stations du dispositif national.

Les mesures du réseau MERA

L'observatoire national de Mesure et d'Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance (MERA) est un dispositif de surveillance de la pollution de fond faisant partie intégrante du dispositif national de surveillance de la pollution atmosphérique et piloté par l'IMT Nord Europe dans le cadre du LCSQA. Il permet de répondre aux exigences en matière de surveillance de la qualité de l'air au niveau européen au regard des engagements français d'une part pour la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de la Commission économique pour l'Europe de l'ONU. MERA est ainsi la contribution française au programme EMEP (« European Monitoring and Evaluation Program »).

Instauré au début des années 1980, il comporte à présent 12 stations de mesure réparties sur l'ensemble du territoire français métropolitain destinées à la surveillance et à la caractérisation de la pollution atmosphérique de fond rencontrée dans des zones rurales.

Les données sont rendues disponibles dans les bases de données de qualité de l'air nationale (Geod'air¹⁸) et européenne (EMEP EBAS).

3.1.1.2 Qualité des données

Le LCSQA est chargé d'assurer la fiabilité des mesures en air ambiant extérieur produites par le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air telle que l'exigent les Directives européennes (cf. Chapitre 3). A cette fin, l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant définit différentes obligations pour le LCSQA, comme :

- L'élaboration et la mise à jour du référentiel technique national ;
- La définition des critères d'assurance qualité des mesures et notamment la production de guides méthodologiques ;
- La conduite d'audit technique de chaque AASQA au moins tous les quatre ans afin de vérifier le respect des dispositions réglementaires et du référentiel technique national, notamment la mise en œuvre par les AASQA des différentes démarches d'assurance de la qualité ;
- Le suivi de l'équivalence des méthodes de mesure autres que les méthodes de référence ;
- La mise en œuvre de la chaîne nationale de traçabilité métrologique pour les polluants réglementés ;
- L'organisation de comparaisons inter laboratoires pour les mesures ;
- Le suivi de la conformité technique des équipements destinés au dispositif national de surveillance vis-à-vis du référentiel technique national.

Les AASQA ont pour obligation de qualifier et valider les données de mesure mises à disposition, notamment celles bancarisées dans Geod'air. Le LCSQA mène également des contrôles qualité sur ces données en vue de la réalisation du bilan national de la qualité de l'air et du rapportage auprès de la Commission Européenne.

¹⁸ Disponibilité partielle jusqu'en 2025

3.1.1.3 Accessibilité des données

Geod'air¹⁹ est la base de données de référence sur la qualité de l'air en France gérée et mise en œuvre par l'Ineris au titre du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), selon les dispositions de l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

Cette plateforme centralise les données de mesure in situ des polluants réglementés et des polluants d'intérêt national (PIN²⁰) produites dans chaque région administrative de métropole et d'outre-mer par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Elle élabore également les statistiques horaires, journalières, saisonnières et annuelles sur les niveaux de concentration dans l'air ambiant selon les règles définies au niveau européen.

Pour les polluants réglementés, les données, depuis 2013, sont bancarisées dans Geod'air et sont accessibles en consultation via le site web (limitées actuellement aux polluants réglementaires) et diffusées toutes les heures vers data.gouv.fr et l'Agence Européenne de l'Environnement. L'accès en open data est garanti depuis septembre 2021. Une API permet également d'accéder aux données de Geod'air.

La visualisation des données automatiques de composition chimique du programme CARA bancarisées dans Geod'air est disponible en temps quasi-réel pour toutes les stations françaises sur une interface en développement²¹.

Cette visualisation permet ainsi de disposer rapidement, en différents points du territoire national au fur et à mesure du développement des épisodes de pollution, d'une information sur la composition des particules en carbone suie dont la partie issue du chauffage au bois (BCwb) et celle issue du trafic (BCff), en matière organique et en composés inorganiques (nitrate, ammonium, sulfate, chlore).

3.1.2 Programmes et infrastructures de recherche

3.1.2.1 Données disponibles

L'infrastructure de recherche (IR) ACTRIS : Issue de différents projets de recherche européens successifs depuis le début des années 2000, ACTRIS²² constitue aujourd'hui le principal pilier des programmes scientifiques d'observations des aérosols, des composés gazeux réactifs et des nuages en Europe. Cette IR intervient notamment en support de la recherche sur le climat et sur la qualité de l'air. Elle permet d'améliorer la compréhension de la composition atmosphérique et de l'évolution des processus qui l'influencent, en fournissant à ses utilisateurs des informations issues de plateformes d'observation et d'exploration sur la variabilité des espèces à temps de vie court avec un haut niveau de qualité.

Au niveau national, ACTRIS-France²³ dispose à ce jour de 7 plateformes d'observation assurant la mesure d'au-moins une composante (aérosols, nuage, et gaz traces ; par méthodes in situ et/ou de télédétection): le SIRTA situé sur le plateau de Saclay (Essonne), ATOLL en périphérie lilloise, la station du Puy-de-Dôme (CO-PDD), celle de l'observatoire de Haute Provence (OHP), celle du Pic du Midi (P2OA), la Météopole en périphérie toulousaine, ainsi que l'observatoire du Maïdo sur l'île de la Réunion. D'autres sites de recherche expérimentale sont également associés à ACTRIS-France, bien que non labélisés à l'échelle européenne.

¹⁹ <https://www.geodair.fr/>

²⁰ <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/liste-des-polluants-dinteret-national>

²¹ [Ineris.shinyapps.io/Programme_CARA/](https://www.shinyapps.io/Programme_CARA/)

²² <https://www.actris.eu/>

²³ www.actris.fr/

Pour les mesures par télédétection, ACTRIS intègre des stations appartenant à d'autres réseaux d'observations, qui peuvent englober un ensemble de sites bien plus importants. Il en est ainsi par exemple pour :

- Le programme GAW (*Global Atmosphere Watch*²⁴) de l'organisation météorologique mondiale ;
- Les réseaux AERONET et EARLINET pour le suivi de profils verticaux des aérosols obtenus respectivement à l'aide de mesures par photomètres et lidars ;
- Le réseau NDACC (*Network for the Detection of Atmospheric Composition Changes*²⁵), également particulièrement pertinent pour l'étude de l'ozone à l'échelle globale ;
- Le réseau EUMETNET (*European Meteorological Network*²⁶) opérant notamment le service E-profile²⁷ pour la coordination et l'échange des données issues de radars profileurs de vents et de télémètres.

D'autres IR viennent également compléter les observations de l'atmosphère réalisés par ACTRIS, en particulier IAGOS (*In-service Aircraft for a Global Observing System*²⁸) pour des mesures embarquées de différents polluants atmosphériques, dont les particules et l'ozone, lors de vols commerciaux et de campagnes de mesures aéroportées dans le cadre de projets de recherche spécifiques. L'IR ICOS (*Integrated Carbon Observation System*) est, pour sa part, dédiée aux composés à longue durée de vie dans l'atmosphère et à leurs impacts climatiques.

3.1.2.2 Qualité des données

La qualité des données produites au sein de l'IR ACTRIS est placée sous la responsabilité de centres d'expertise (ou *topical centres*) constitués de différentes unités relatives à chacune des variables observées. Ces centres d'expertise sont ainsi organisés autour des principales thématiques scientifiques d'ACTRIS : aérosols, nuages et gaz traces réactifs, qu'ils soient mesurés à l'aide de techniques de télédétection ou de mesures in situ. Les services clés et le soutien opérationnel qu'ils fournissent incluent :

- Les procédures et outils d'assurance et de contrôle qualité des mesures et données, mis à disposition sous la forme de guides méthodologiques spécifiques (e.g., pour la mesure des propriétés physico-chimiques des particules²⁹) ;
- Le transfert de connaissances et formation aux opérateurs et utilisateurs d'ACTRIS, lors de séminaires ou d'écoles thématiques dédiées, ainsi que lors de la réalisation d'essai inter-laboratoires ;
- L'amélioration des techniques existantes et l'aide au développement de nouvelles méthodologies de mesure.

Pour maintenir un haut niveau de qualité des données et stimuler l'avancement de nouvelles techniques et méthodologies, ces centres d'expertise coopèrent avec différents réseaux d'experts métrologiques (e.g., AQUILA et CEN) et fonctionnent en étroite collaboration avec les communautés scientifiques préexistantes (e.g., EMEP, WMO-GAW), permettant d'assurer des mesures à la pointe de l'état de l'art. L'Ineris est particulièrement impliqué au sein du centre d'expertise dédié à la mesure in situ des aérosols (CAIS-ECAC), en tant que responsable adjoint de ce centre et coordinateur de sa composante pour les mesures chimiques en temps réel (ACMCC).

Un fonctionnement similaire est à l'œuvre pour les IR IAGOS et ICOS, ainsi que pour les sites français associés à ces IR mais non labélisés au niveau européen.

²⁴ community.wmo.int/en/activity-areas/gaw

²⁵ ndacc.larc.nasa.gov

²⁶ www.eumetnet.eu/

²⁷ e-profile.eu

²⁸ <https://www.iagos.org/>

²⁹ www.actris-ecac.eu/measurement-guidelines.html

3.1.2.3 Accessibilité des données

Pour ACTRIS, l'ensemble des données produites par les stations d'observations ainsi que des visualisations en temps quasi-réel et les données afférentes en open data sont disponibles via les centres de données^{30,31} redirigeant également vers l'accès à l'ensemble des données des programmes AERONET, EARLINET et NDACC.

Au niveau national, la bancarisation et la diffusion des données ACTRIS sont assurées par le consortium AERIS, plus globalement imbriqué au sein du pôle Data Terra. AERIS est également partie prenante du centre de données ACTRIS européen, en particulier sur le traitement élaboré de mesures en télédétection. L'Ineris est membre du conseil scientifique d'AERIS, permettant notamment de veiller à la complémentarité et l'interopérabilité avec les bases de données opérationnelles, telles que Geod'air.

L'ensemble de ces observations donne lieu au développement et à la distribution de produits élaborés permettant une exploitation des données obtenues dans une optique aussi opérationnelle que possible. C'est par exemple le cas de la plateforme VolcPlume d'AERIS-Icare pour le suivi des émissions liées aux éruptions volcaniques survenant sur l'ensemble du globe³².

Le programme GAW dispose lui de 6 centres de données dont le Woudc (*World Ozone and Ultraviolet radiation Data Center*³³), notamment pour les mesures d'ozone.

Il est enfin à noter que chacune des stations d'observations appartenant à ces différents programmes et IR peuvent également posséder leur propre site d'accès et/ou de visualisation des données en temps quasi-réel, comme le Sirta³⁴.

3.2 Observations satellites

La mesure de la composition atmosphérique par télédétection satellitaire s'est largement développée depuis une vingtaine d'années.

Elle repose sur l'analyse du rayonnement par des sondeurs ou imageurs généralement dans l'UV, le visible ou l'infrarouge. Il peut aussi y avoir de la télédétection active avec un instrument embarqué émettant et analysant son propre rayonnement (type radar ou lidar).

En majorité, ces instruments sont portés par des satellites défilants en orbite polaire qui survolent une zone donnée une à deux fois par jour à heure fixe et offrent une couverture complète en un ou plusieurs jours. Mais on attend à l'horizon 2025 un changement de paradigme avec des mesures géostationnaires en Europe offrant un panel d'information relatif à la qualité de l'air à une fréquence jusqu'à quart-horaire.

Les espèces chimiques et variables pertinentes pour la qualité de l'air et observées depuis l'espace sont typiquement l'épaisseur optique des aérosols et les espèces gazeuses O₃, NO₂, SO₂, CO, CH₄, NH₃, HCHO, CHOCHO. En plus de la mesure de la composition chimique, les observations satellites peuvent aussi fournir des informations sur les émissions pour les applications opérationnelles, notamment pour ce qui concerne les feux de forêt (voir 3.4).

3.3 Modélisations de la qualité de l'air

Cette partie présente les différentes sources d'information issues de la modélisation numérique (faisant aussi intervenir dans certains cas des observations) disponibles pour aider à l'analyse de la qualité de l'air que ce soit à court terme (du jour courant J à J+5) ou pour des épisodes passés.

³⁰ dc.actris.nilu.no/

³¹ ebas-nrt.nilu.no/

³² www.icare.univ-lille.fr/volcplume/

³³ beta.woudc.org/

³⁴ sirta.ipsl.fr/data-overview/

3.3.1 Plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air Prev'air

3.3.1.1 Missions

En service depuis 2003, la plateforme Prev'air³⁵ est l'un des piliers du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Comme définit dans l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, Prev'air est la « plate-forme nationale de prévision et de cartographie de la qualité de l'air, développée et gérée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques, avec l'appui de Météo-France, du Centre national de la recherche scientifique et du LCSQA, dans le cadre d'un consortium ».

La plateforme Prev'air produit et met à disposition du grand public et des experts de la surveillance de la qualité de l'air, un ensemble de cartographies des concentrations des principaux polluants réglementés (O₃, NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5}). A partir de l'été 2024, l'horizon de prévision a été étendu pour inclure J+4 et J+5 (6 jours de prévisions de J+0 à J+5) sur la Métropole. Les prévisions couvrent plusieurs territoires français : la Métropole, les DROM des Antilles-Guyane ainsi que les DROM de l'Océan Indien.

Les produits de référence visualisables sur le site web sont basés sur des prévisions optimisées qui reposent sur des modélisations déterministes Chimie-Transport (dites « prévisions brutes ») corrigées grâce à des méthodes statistiques (*machine learning*). Du fait des difficultés liées à la prévision des événements extrêmes et des dépassements de seuil, ces prévisions optimisées permettent d'accroître la performance des prévisions pour la détection et le suivi des épisodes de pollution. Ce domaine fait l'objet d'une attention particulière dans le contexte du développement de l'Intelligence Artificielle.

Prev'air diffuse aussi des analyses qui représentent pour les jours passés la meilleure estimation des concentrations à la surface par une méthode de fusion de données entre les mesures et les sorties de simulations. Ces analyses sont rafraichies régulièrement afin de bénéficier de la consolidation des données validées sur le terrain.

Ces prévisions optimisées et analyses ne sont disponibles à ce jour que pour la France métropolitaine et l'Europe. Ce sont les prévisions brutes et adaptées statistiquement aux stations qui sont diffusées pour les DROM.

Le modèle de chimie-transport le plus utilisé dans ces productions est CHIMERE, codéveloppé par l'Ineris et le CNRS. Le modèle MOCAGE de Météo-France est aussi déployé quotidiennement pour la prévision opérationnelle Prev'air, afin notamment de fournir une prévision alternative.

Tableau 3 : Liste des produits Prev'air disponibles selon les territoires considérés

Produits	France	DROM Antilles	DROM Océan Indien
Prévision brute	X	X	X
Prévision avec adaptation statistique	X	X	X
Analyse	X		

Rattaché à la plateforme Prev'air, un module spécifique est dédié à l'évaluation des critères de l'arrêté mesure d'urgence (2.2), à savoir les estimations de la surface en dépassement pour chaque région et des populations exposées à des concentrations au-delà des seuils réglementaires pour chaque département. Ces calculs par région et département sont regroupés dans une synthèse par région mise à disposition des AASQA quotidiennement.

Le site web Prev'air inclus aussi une partie à accès restreint. En fonction du profil de l'utilisateur (Consortium Prevair, autres membres du dispositif national, grand public), celui-ci a accès à différents contenus qui peuvent inclure des prévisions supplémentaires pour d'autres espèces chimiques ou

³⁵ www.prevoir.org

calculées par d'autres modes d'optimisation par *machine learning* ou fusion de données, des évaluations des performances etc...

En cas de risque d'épisode d'ampleur nationale, une équipe de communication se mobilise afin d'expertiser la situation et d'informer par mail dans un premier temps les acteurs du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air sur le risque d'épisode à venir. Lorsque le risque d'épisode est imminent et confirmé, Prev'air rédige et transmet un bulletin à diffusion large (voir 4.1).

3.3.1.2 *Prevair et l'utilisation des données Copernicus*

Les modèles de Prev'air s'appuient notamment sur les prévisions IFS (fournies par ECMWF et Copernicus) à la fois pour les champs météorologiques et les champs chimiques utilisés en conditions aux limites, permettant ainsi d'intégrer la contribution du transport hémisphérique dans le calcul des concentrations européennes, métropolitaines et sur les DROM. Ces champs globaux provenant d'ECMWF/Copernicus bénéficient d'un recalage via l'assimilation de données satellitales, qui améliore la représentation de la distribution spatiale des champs de concentrations de polluants pris en compte par les modèles. Cette étape est particulièrement importante pour estimer correctement la contribution des poussières désertiques aux épisodes de pollution particulaire pour la Métropole mais surtout pour les DROM des Caraïbes (régulièrement touchées par des transports transatlantiques importants de poussières désertiques en provenance du Sahara).

Les émissions d'origine anthropique et de feux de forêt issues des services Copernicus alimentent aussi les prévisions de Prev'air (voir 3.4).

3.3.1.3 *Qualité de la production*

Astreinte technique Ineris

Une équipe composée d'une dizaine de personnes en rotation contrôle quotidiennement la production Prev'air afin de corriger le cas échéant les problèmes soit lors des calculs soit lors de l'affichage sur le site web des productions Prev'air et de garantir une haute disponibilité des prévisions

L'Ineris a établi un mode opératoire des démarches à réaliser tout au long de la journée par les personnes d'astreinte. Ce mode opératoire identifie aussi les actions correctives pour un certain nombre de dysfonctionnements ainsi que les communications à effectuer pour alerter les utilisateurs lors de retard dans la disponibilité des produits.

Supervision des ressources de calculs

Une convention d'hébergement des moyens de calcul Prev'air à Météo-France spécifie les moyens informatiques mobilisés sur le centre de calcul haute performance de Météo-France. Ces moyens comprennent la surveillance hardware de l'allocation des ressources informatiques à disposition de l'Ineris garantissant une haute disponibilité des moyens de calculs, la mise à disposition d'une partie des infrastructures réseau pour les transferts des données et des ressources de stockages utilisées pour l'archivage dont les durées de rétention sont décrites dans le référentiel technique national (0).

Sites web et ftp externalisés pour disposer de ressources importantes, stables et supervisés

Ces espaces web et ftp sont infogérés pour bénéficier d'une supervision adaptée aux enjeux de leurs hautes disponibilités. La mise en ligne de Prev'air est supervisée en 24/7 avec des temps de restauration de 15 minutes pour la partie web et 24h pour la partie ftp.

Plan qualité de la production Prev'air (tâches et workflows)

Le site web Prev'air est doté d'une documentation complète et évolutive du fonctionnement de la plateforme. Cette documentation est en cours d'intégration au nouveau site internet avec un niveau de détail adapté selon le profil du visiteur consultant ces pages, le descriptif de la plateforme allant d'une vision schématique des grandes étapes de production des prévisions à un niveau raffiné pour les profils experts (version de modèle, choix de paramétrisation ...).

3.3.1.4 *Qualité de la donnée*

Evaluation au fil de l'eau

Le site web Prev'air héberge un espace (accessible si le visiteur a un profil expert qualité de l'air) dédié pour le suivi de la qualité des prévisions avec des comparaisons modèles – mesures et des calculs de

performances remis à jour quotidiennement. Ce suivi des performances est nécessaire à l'expertise des situations à risque d'épisode de pollution.

Rapport annuel LCSQA de performances des prévisions Prev'air

Le LCSQA publie chaque année un bilan des performances des prévisions Prev'air pour l'année passée selon les métriques définies par le groupe de travail Prévision du LCSQA (inclus dans le RTN - 0) et calculés avec les observations validées par les AASQA et mises à disposition par Geod'air sur l'ensemble des territoires concernés. La validation des observations pour l'année N-1 est finalisée au 1^{er} juin de l'année N. Le rapport d'évaluation de Prev'air est publié à l'automne de l'année N. Ce rapport permet d'effectuer une surveillance sur le long terme des performances des prévisions, et de garantir le maintien à des niveaux de qualité élevée ainsi que l'aptitude des prévisions à anticiper les dépassements des seuils réglementaires.

3.3.2 Service Copernicus de Surveillance de l'Atmosphère

3.3.2.1 Service CAMS Européen

Le service européen de la qualité de l'air de Copernicus (co-coordonné par Météo-France et l'Ineris) gère la réalisation quotidienne de prévisions de la qualité de l'air. Il s'agit de la production d'un ensemble de modèles reposant sur une production distribuée via onze équipes européennes de modélisation (dont CHIMERE à l'Ineris et MOCAGE à Météo-France).

Toutes ces prévisions sont accessibles depuis le site internet de visualisation³⁶ pour une vingtaine d'espèces chimiques (dont les principaux polluants réglementés) ainsi que des taxons de pollen pour les 96h à venir (J+0 à J+3 inclus). Les données numériques sont aussi disponibles via le Atmosphere Data Store de Copernicus³⁷.

Ce service établit aussi des analyses pour la veille avec la même organisation de 11 analyses différentes soutenant le calcul d'un Ensemble. Du fait que les observations soient validées à posteriori par les organismes responsables de leur collecte, les réanalyses sont produites de 2 manières, une première avec un délai d'un an sur la base de données préliminaires (Interim Reanalyses) et une seconde avec un délai de deux ans reposant sur les données validées (Validated Reanalyses).

3.3.2.2 Service CAMS Global

Le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEPMET ou ECMWF en anglais) opère un modèle de Chimie-Transport à l'échelle du globe (IFS-COMPO) qui prévoit quotidiennement l'évolution des concentrations des polluants et gaz à effet de serre pour les 120 heures à venir sur le globe (J+0 à J+4 inclus). Ces simulations bénéficient de techniques d'assimilation de données qui permettent d'initialiser le modèle avec la prise en compte des dernières mesures satellitales disponibles.

Les prévisions IFS-COMPO sont aussi disponibles sur le site internet Copernicus³⁸ et les données numériques sont diffusées via l'Atmosphere Data Store.

Bien que la principale source d'information utilisée à l'échelle globale soit issue de CAMS, il existe aussi d'autres sources dont la consultation est pertinente, notamment le Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System³⁹ de l'Organisation Météorologique Mondiale pour les transports de poussières désertiques.

³⁶ atmosphere.copernicus.eu/european-air-quality-forecast-plots

³⁷ ads.atmosphere.copernicus.eu/

³⁸ atmosphere.copernicus.eu/global-forecast-plots

³⁹ sds-was.aemet.es/ <https://forecast.uoa.gr/en/forecast-maps/dust/europe>

3.3.2.3 Service CAMS d'aide à la décision

Le service Copernicus en soutien aux décideurs politiques⁴⁰ (coordonné par l'Ineris) fournit des informations qui visent à soutenir la prise de décision et l'élaboration de politiques dans la gestion des épisodes de pollution de l'air. Cela inclut des calculs quotidiens de la contribution des principaux secteurs d'activités ou des différents pays européens aux épisodes de pollution sur 80 grandes villes européennes.

Des indicateurs annuels sont aussi calculés et disponibles sous forme interactive et numérique. Plusieurs types de rapports sont mis en ligne pour documenter les différents épisodes ayant sévi en Europe à la fois rapidement après l'occurrence de l'événement mais aussi en différé et dans des bilans annuels de la qualité de l'air.

3.3.2.4 CAMS weather room

La CAMS weather room⁴¹ renseigne les principaux événements qui affectent la composition chimique de l'atmosphère en surface ou en altitude, en Europe et dans le reste du monde. Cela inclut donc les épisodes de pollution intense qui peuvent sévir en Europe.

Ces événements sont documentés en reprenant les informations issues des différents services Copernicus et d'autres sources extérieures aidant à l'interprétation de ces situations.

3.3.2.5 Qualité de la donnée Copernicus

Un élément important des services CAMS est l'évaluation et l'assurance qualité des produits. CAMS met à disposition de nombreux diagnostics modélisés accessibles à ses utilisateurs, il est donc indispensable qu'un complément d'informations sur leur précision et leur fiabilité soit disponible.

Ces performances sont en accès en libre pour les produits globaux⁴² et régionaux⁴³.

3.3.2.6 CAMS National Collaboration Programme (NCP)

Le CEPMMT soutient activement l'utilisation des produits et services CAMS au niveau national au travers de *National Collaboration Programs*. L'Ineris coordonne l'un de ces NCP, notamment pour le développement de versions nationales des outils CAMS d'aide à la décision (à plus haute résolution spatiale), ou l'utilisation directe des produits CAMS dans la plateforme Prev'air.

3.3.3 Plateformes régionales de prévisions des AASQA

Les prévisions effectuées en région par les AASQA peuvent aussi alimenter le diagnostic établi au niveau national. Le site web Prev'air offre ainsi la possibilité aux AASQA d'alimenter un espace de discussion ouvert aux acteurs du dispositif de surveillance afin de souligner les éventuels écarts entre leurs prévisions et celles de Prev'air.

En cas de situation spécifique, le prévisionniste Prev'air a par ailleurs la possibilité de contacter par téléphone le prévisionniste d'astreinte en région. Ces situations peuvent être liées à des épisodes de grande ampleur, ou à l'inverse à des épisodes à la limite des seuils d'information.

En cas de déclenchement par l'AASQA d'un épisode de pollution, l'information est remontée systématiquement au niveau national via le module vigilance mis en place par le LCSQA⁴⁴. Une synthèse des différents épisodes déclarés, mais aussi des éventuelles procédures préfectorales mises en place, y est disponible publiquement sous la forme de cartes et de listes.

⁴⁰ policy.atmosphere.copernicus.eu

⁴¹ <https://confluence.ecmwf.int/display/COPSRV/CAMS+Weather+Room>

⁴² <https://atmosphere.copernicus.eu/global-services>

⁴³ <https://atmosphere.copernicus.eu/regional-services>

⁴⁴ <https://www.lcsqa.org/fr/vigilance-atmospherique>

3.4 Emissions Anthropiques et Naturelles de précurseurs de polluants

Les modèles numériques de prévision de qualité de l'air utilisent comme donnée d'entrée des flux d'émission de précurseurs anthropiques et naturels issus de bases de données extérieures.

3.4.1 Inventaire National Spatialisé

L'Inventaire National Spatialisé (INS)⁴⁵ fournit des informations quantitatives sur les émissions d'une quarantaine de polluants émis par toutes les sources identifiées (activités anthropiques ou émissions naturelles). Le recensement complet des émissions de polluants atmosphériques, suivant une maille kilométrique, est fondé sur des méthodologies qui privilégient l'utilisation de données spécifiques aux sources individuelles. L'inventaire national spatialisé correspond aux émissions des années 2004, 2007 et 2012.

Pour les années plus récentes, les totaux d'émissions au niveau national sont mis à jour annuellement par le CITEPA dans les processus de rapportage des Nations Unies (Convention Air) et des Directives Européennes (NEC).

3.4.2 Emissions CAMS

Copernicus assure la consolidation et la diffusion de flux d'émissions anthropiques. Sur le domaine Européen, ce sont les totaux d'émission nationaux rapportés par les pays dans les processus des Nations Unies et des Directives Européennes (donc les inventaires CITEPA pour la France) qui servent de base à la spatialisation des émissions diffusées par CAMS.

CAMS élabore et met à jour régulièrement des profils temporels d'émission permettant d'intégrer dans les modèles globaux et régionaux les variabilités saisonnières, mensuelles, journalières et horaires des émissions.

3.4.3 Feux de forêt

L'information principale prise en compte pour les émissions liées aux feux de forêt provient du service Copernicus Atmosphère consacré⁴⁶.

Ces données sont basées sur des détections par satellite des feux actifs et de leur intensité qui sont traduits en flux d'émissions. Elles sont intégrées aux prévisions globales et régionales de CAMS ainsi qu'à la plateforme Prev'air.

Il existe par ailleurs d'autres bases de données sur les feux de forêt et leur intensité reposant sur différents instruments spatiaux et post-traitement afférents. Même si ces informations ne peuvent pas directement être intégrées aux modélisations opérationnelles de qualité de l'air, elles constituent un complément intéressant, notamment pour évaluer la dynamique (intensification ou atténuation) des feux de forêt en cours.

Parmi les sources d'informations de ce type on peut citer :

- La météo des forêts de Météo-France⁴⁷ ;
- Le European Forest Fire Information System (EFFIS)⁴⁸.

3.4.4 Emissions volcaniques

Certaines éruptions volcaniques donnent lieu à des émissions de cendres ou de dioxyde de soufre (SO₂) qui peuvent altérer la qualité de l'air à grande échelle. Pour l'Europe, il y a des exemples récents pour les éruptions de l'Etna (Italie), ou dans les Canaries et en Islande. Pour ces situations, Prev'air bénéficie de la collaboration avec Météo-France qui suit de près la dispersion de ces panaches en

⁴⁵ <http://emissions-air.developpement-durable.gouv.fr/>

⁴⁶ <https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams/products/fire-activity>

⁴⁷ <https://meteofrance.com/meteo-des-forets>

⁴⁸ <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>

altitude au titre du VAAC (Volcanic Ash Advisory System). Le VAAC de Londres peut aussi être consulté pour les volcans Islandais.

3.5 Prévisions météorologiques

La prévision des épisodes de pollution est en très grande partie déterminée par les conditions météorologiques. Les prévisions météorologiques sont prises en compte comme forçage externe dans les modèles déterministes de chimie-transport et dans les modèles statistiques par apprentissage automatique et intelligence artificielle utilisés pour la modélisation de la qualité de l'air (3.3).

Le modèle Européen IFS (résolution horizontale de l'ordre de 9km) est la principale source d'information utilisée pour les modélisations de Prev'air. Des travaux sont en cours pour consolider l'interface avec le modèle AROME à résolution kilométrique.

Au-delà de l'intégration de ces informations dans les modélisations, les prévisionnistes en charge de l'expertise quotidienne de la situation relative à la qualité de l'air ont aussi à leur disposition un ensemble d'information sur la situation météorologique en consultant des sites web spécialisés.

3.5.1 Expertise Météo-France

En cas de situation météorologique spécifique (vague de froid ou de chaleur notamment), le prévisionniste Prev'air peut solliciter le chef prévisionniste de Météo-France au niveau national.

Ces échanges sont limités à des cas particuliers. Cela diffère des pratiques en région où l'expertise météorologique locale est susceptible de faire évoluer le diagnostic sur un épisode de pollution donnée. Alors qu'à l'échelle du territoire national, la diversité des situations est plus difficile à appréhender, et aussi influencée par des dynamiques météorologiques d'échelle plus synoptique.

3.5.2 Bulletin Météo-France (suivi canicule)

Pendant la période de risque canicule (1^{er} juin au 30 septembre), Météo-France partage avec Prev'air le bulletin spécifique canicule qui détaille les prévisions à court terme, notamment en cas d'activation de la vigilance météorologique et fournit aussi une perspective à plus long terme.

3.5.3 Accès aux données météorologiques

Les données numériques des prévisions météorologiques Météo-France sont mises à disposition des prévisionnistes Prev'air en ce qui concerne les modèles AROME (2,5 km de résolution et prévision jusqu'à 52h) et ARPEGE (résolution de 0,1° et prévision jusqu'à 102h).

Les données IFS du centre Européen ECMWF sont également disponibles pour la plateforme Prev'air au titre des activités de l'Ineris dans les services Copernicus.

Ces sources et d'autres encore (Météo-France, mais aussi ECMWF, Met Office, DWD, NCEP...) sont par ailleurs également disponibles en open-data et relayées sur divers sites internet proposant des visualisations interactives⁴⁹.

4 Communication

4.1 Prévision des épisodes

L'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant stipule dans son article 30 qu'en cas de prévision d'un épisode persistant de deux jours ou plus de pollution touchant trois régions ou plus, une astreinte communication est mise en place pour informer quotidiennement le ministère chargé de l'environnement et les AASQA sur la situation et son évolution.

L'équipe de communication Prev'air mobilise une équipe de plusieurs prévisionnistes en rotation 365 jours par an. Ils assurent la communication externe de la plateforme en cas d'épisode de pollution d'ampleur nationale.

⁴⁹ <https://www.wxcharts.com/>, <https://www.infoclimat.fr/>, <https://www.meteociel.fr/>, <https://www.windy.com/>

La mission de cette astreinte est d'avertir en cas de risque d'épisode de pollution et de rédiger un bulletin descriptif de la situation lorsque l'épisode d'ampleur nationale est confirmé. Généralement, la gestion d'un épisode débute par l'envoi d'un mail aux acteurs du dispositif de surveillance annonçant un risque d'épisode sur les jours à venir. Si ce risque est confirmé, le prévisionniste rassemble les éléments d'expertise et échange avec les autres prévisionnistes Prev'air pour analyser les caractéristiques de l'épisode.

Pour affiner leurs appréciations concernant la qualité de l'air en région, les prévisionnistes Prev'air disposent d'une zone d'échange sur le site Prev'air pour discuter avec les AASQA, notamment en cas de divergence entre les prévisions nationales et régionales. Le prévisionniste peut également joindre les prévisionnistes AASQA en région par téléphone pour recueillir leurs analyses de la situation dans le but d'être plus précis dans les éléments descriptifs présentés dans le bulletin Prev'air.

Le bulletin comprend une analyse des principales causes responsables de la dégradation de la qualité de l'air en reprenant des typologies des épisodes de pollution de l'air prédéfinies (voir Annexe 1) et une prévision de l'évolution de l'épisode.

Ce bulletin est transmis durant toute la durée de l'épisode à 10h vers plusieurs groupes de destinataires :

- Ministère chargé de l'environnement (DGEC, CMVOA, DREAL/DEAL/DRIEAT), ministère chargé de la santé (DGS), à SPF, aux AASQA, et aux membres du Consortium Prev'air (CNRS, Météo-France, LCSQA) ;
- France télévision.

Son format change légèrement selon les destinataires. La principale différence concerne la manière d'afficher les éléments du module vigilance du LCSQA qui est présenté sous forme cartographique pour les acteurs du dispositif. Prenant acte du fait que ces cartes évoluent au cours de la journée, elles sont remplacées par un lien vers le site internet du LCSQA pour les médias afin d'accéder aux dernières informations saisies dans ce module.

Ce bulletin sous cette dernière forme est ensuite diffusé sur les pages actualités du site web Prev'air et de ce fait accessible au grand public. L'Ineris relaie ces informations sur les réseaux sociaux et dans les actualités du site web Ineris.

4.2 Analyse en cours d'épisode

En cas d'événements spécifiques, des éléments interprétatifs complémentaires peuvent être consolidés rapidement par l'Ineris, en général à la demande du Bureau de la Qualité de l'Air du Ministère en charge de l'environnement.

Il peut s'agir d'informations sur la composition chimique des particules analysée en temps quasi-réel et *in situ* via le programme CARA, d'expertises d'observations fournies par des partenaires extérieurs (par exemple la localisation en altitude d'un panache, l'exploitation d'imagerie satellite), ou encore de modélisations complémentaires permettant de mieux cerner le rôle des différents secteurs d'émissions dans les épisodes de pollution.

Quelques exemples d'analyse d'épisodes de pollution sont présentés synthétiquement en Annexe 2.

4.3 Descriptif des épisodes au fil de l'eau et sur l'année

Les analyses effectuées au cours de certains épisodes sont parfois consolidées a posteriori et étoffées par des travaux additionnels.

Cela a par exemple été le cas par le passé pour un épisode de PM en février 2019 et des épisodes d'ozone en juin et juillet 2019 (Favez et al., rapport LCSQA⁵⁰), ou encore un épisode de PM particulièrement intense en décembre 2016 (Favez et al., rapport LCSQA⁵¹).

⁵⁰ <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/programme-cara-bilan-des-travaux-2018-2019>

⁵¹ <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/Ineris/programme-cara-bilan-travaux-2016>

Une synthèse des principaux épisodes de pollution de l'année précédente est aussi consolidée tous les ans dans le cadre de la contribution de l'Ineris au titre du LCSQA au Bilan de la Qualité de l'Air⁵² publié par le SDES du Ministère en charge de l'environnement.

5 Structure programmatique

La pertinence et la fiabilité des outils mobilisés dans l'anticipation et l'analyse des épisodes de pollution sont assurées à travers différents programmes de l'Ineris. Les aspects relatifs au développement amont des outils et leur maintien dans l'état de l'art sont couverts dans un programme de recherche. La production opérationnelle, la maintenance évolutive, et les relations avec les utilisateurs sont traités via les programmes d'appui aux politiques publiques

5.1 Recherche

Un travail scientifique important est effectué en amont pour le développement de méthodes novatrices pour la modélisation, la mesure de la qualité de l'air ambiant et l'estimation de la contribution des différentes sources. Cette démarche permet d'assurer la pertinence des outils mobilisés dans la prévision et l'analyse des épisodes de pollution atmosphérique.

Ce travail est structuré à l'Ineris dans l'axe de recherche « Qualité de l'Air Ambiant ».

Les sujets couverts par cet axe ne concernent pas exclusivement les épisodes de pollution mais on retrouve cette thématique dans chacun des thèmes :

- Thème 1 : Compréhension des processus physico-chimiques atmosphériques : processus physico-chimique de formation des aérosols (études expérimentales – analytiques - et représentation dans les modèles numériques), échanges sol/atmosphère (émissions naturelles et retombées atmosphériques), dynamique atmosphérique ;
- Thème 2 : Sources de pollution (PM et espèces gazeuses réactives) dans l'air ambiant. Identification des secteurs d'activités responsables des épisodes de pollutions par la mesure et la modélisation ;
- Thème 3 : Synergie modèles/mesures pour la cartographie des polluants atmosphériques. Fusion et assimilation entre modélisations a priori et observations de terrain (stations de référence, super sites, systèmes capteur à bas et moyen coût, satellites) ;
- Thème 4 : Scénarios et modélisation intégrée, scénarios rétrospectifs et prospectifs et modélisation inverse. Reconstitution d'exposition à la pollution atmosphérique et développement de modèles atmosphériques simplifiés pour l'intégration dans la scénarisation prospective à court et long terme.

Ces travaux de recherche sont complétés par des projets plus ponctuels financés sur guichets nationaux (ANR, ADEME, ANSES) ou européens (Horizon Europe, Green Deal, ERANET, etc...). On retrouve aussi ici l'interface avec l'Infrastructure de Recherche Européenne ACTRIS.

5.2 Appui

L'intégration des développements conduits dans les programmes de recherche amont vers les outils opérationnels est assurée grâce aux programmes d'appui aux politiques publiques de l'Ineris et via le LCSQA.

Ces travaux permettent notamment d'assurer la continuité des activités Prev'air :

- Production, supervision et développement continu des chaînes de modélisation numérique opérationnelles sur supercalculateurs ;
- Communication vers le grand public et les acteurs du dispositif de surveillance et mise à disposition des résultats des modélisations numériques (site web, open data) ;

⁵² <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2022>

- Développement de pré-traitement (intégration et modélisation des émissions naturelles et anthropiques) et post-traitement (apprentissage automatique, intelligence artificielle) pour optimiser les prévisions et produire des cartographies par fusion et assimilation de données ;
- Développement de méthodes d'évaluation de la contribution des différentes sources de pollution en temps quasi-réel ;
- Evaluation, assurance et contrôle qualité ;
- Relations avec les utilisateurs partie prenante du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air.

Ces travaux opérationnels bénéficient aussi de l'activité analogue qui est conduite au niveau Européen via le programme Copernicus de Surveillance de l'Atmosphère.

6 Annexe 1 : Typologies des épisodes de pollution

En cours d'année, les causes de la détérioration de la qualité de l'air varient fortement du fait de la saisonnalité des conditions météorologiques qui agit sur les émissions, la dispersion et la formation des polluants. Ces conditions météorologiques sont aussi susceptibles d'influencer certaines activités humaines qui peuvent avoir à leur tour un effet sur les émissions de polluants (par exemple l'agriculture ou le chauffage résidentiel).

Les polluants responsables d'une mauvaise la qualité de l'air ne sont donc pas toujours les mêmes. En hiver et au printemps ce sont les teneurs en particules et en dioxyde d'azote qui sont les plus préoccupantes alors qu'en été le principal polluant surveillé est l'ozone et occasionnellement les particules. Mais il y a aussi des particularités en termes de composition chimique et donc de contribution des sources de pollutions. Ce sont l'ensemble de ces spécificités que nous tentons de résumer ici.

La définition réglementaire de la notion d'épisode de pollution pour l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules PM₁₀ issue de l'arrêté du 7 Avril 2016 est rappelée dans la partie 6.4.

6.1 Episodes de pollution en Métropole

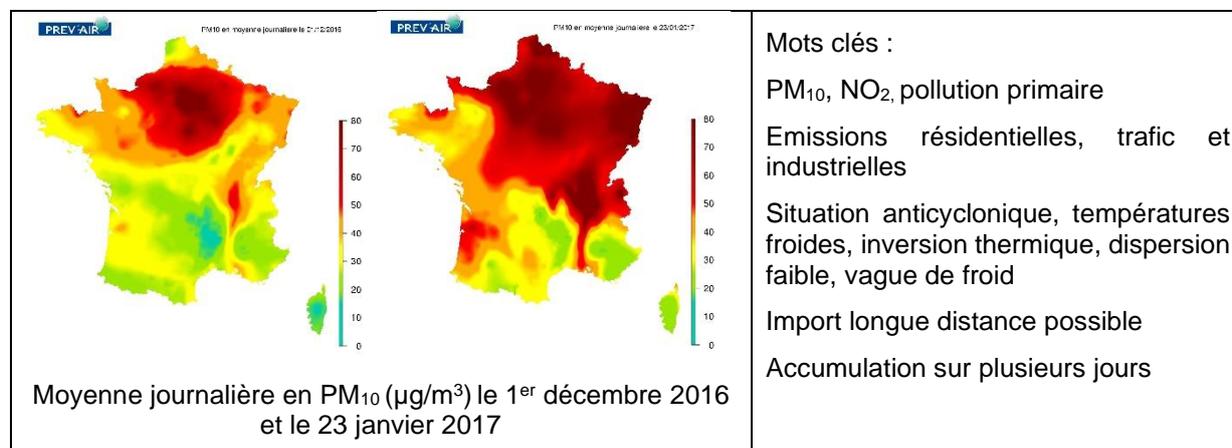
6.1.1 Episode hivernal - vague de froid (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂)

Une vague de froid se caractérise par des conditions météorologiques anticycloniques stagnantes sur l'Europe entraînant des vents faibles. Ces anticyclones peuvent aussi faire apparaître des inversions thermiques où les températures de surface sont beaucoup plus froides qu'en altitude, et qui agissent donc comme un couvercle, piégeant les polluants en surface. En limitant très fortement la dispersion à la fois verticalement et horizontalement, ces conditions ont pour conséquence l'accumulation des polluants sur leurs zones d'émission.

En hiver ce sont principalement des concentrations élevées de particules et de dioxyde d'azote qui sont préoccupantes lors de ces épisodes, les deux polluants pouvant atteindre des teneurs élevées simultanément.

De plus, les températures froides associées à ces conditions engendrent une hausse des émissions du chauffage résidentiel/tertiaire et autres processus de combustion liés au trafic routier et aux activités industrielles (cf. le roulage à froid et la performance moindre des moteurs thermiques lorsque les températures sont basses). C'est pourquoi la composition des particules est souvent dominée par la matière organique (produit de la combustion) lors de ces épisodes.

Principalement d'origine locale, ces épisodes peuvent être renforcés par l'apport longue distance de pollution d'origine continentale à la faveur d'une circulation des masses d'air de secteur nord-est se mettant en place lorsque l'anticyclone glisse vers l'est de l'Europe. Ce phénomène peut être à l'origine d'import de particules émises provenant des pays limitrophes situés au nord et à l'est. Si la contribution des centrales thermiques est fréquemment citée, c'est bien l'ensemble des secteurs d'activités qui sont concernées.

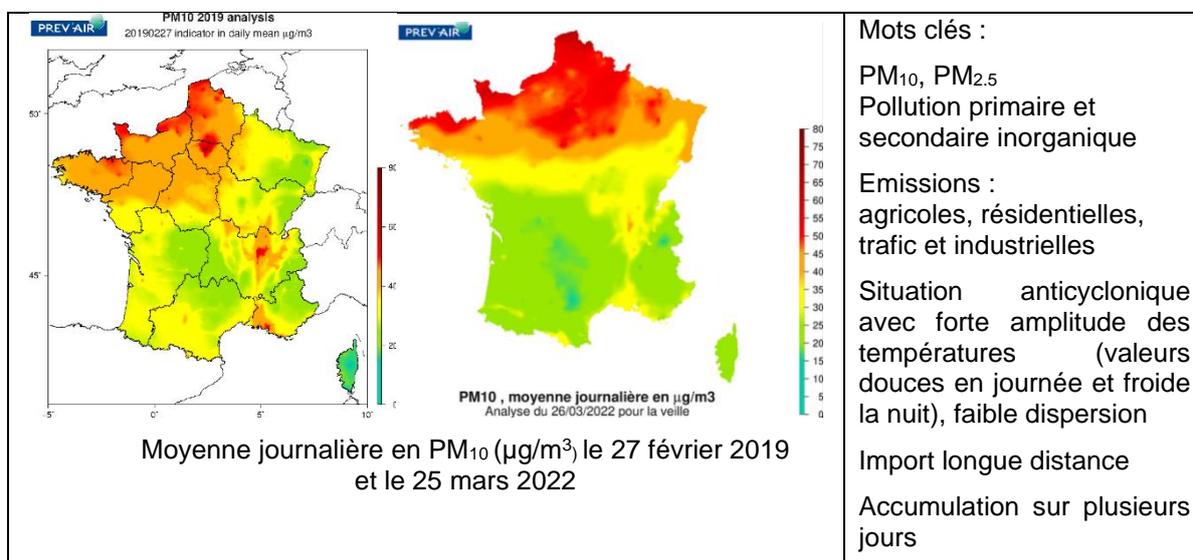


6.1.2 Episode printanier (PM₁₀, PM_{2.5})

Lors des mois de février à avril, les concentrations de particules peuvent atteindre des niveaux importants notamment à cause de la formation de nitrate d'ammonium (aérosols inorganiques secondaires). Cette formation résulte principalement de la réaction entre les émissions agricoles d'ammoniac (liées aux épandages d'engrais qui s'intensifient durant cette période) et les émissions d'oxydes d'azote provenant du trafic routier et des activités industrielles.

Les conditions météorologiques anticycloniques sont courantes au printemps et se caractérisent alors par des vents stagnants accompagnés par une forte amplitude des températures, froides la nuit et plus douces en journée. Dans ces conditions, le secteur agricole n'est pas toujours le facteur principal de l'augmentation des niveaux de particules. On trouve régulièrement une contribution importante du secteur résidentiel lorsque le chauffage au bois est utilisé en appoint lors de ces périodes de transition entre hiver et été. Plus on avance dans la saison, plus les températures se font douces entraînant une baisse des émissions résidentielles et une part de plus en plus importante du nitrate d'ammonium dans les teneurs en particules.

Bien que souvent liés à une accumulation à grande échelle sur le territoire national, ces épisodes peuvent être renforcés par l'apport transfrontière de masses d'air continentales polluées qui traversent le pays sous l'effet de vent du secteur nord-est en provenance du Benelux où les émissions d'ammoniac et d'oxydes d'azotes sont parfois très élevées.

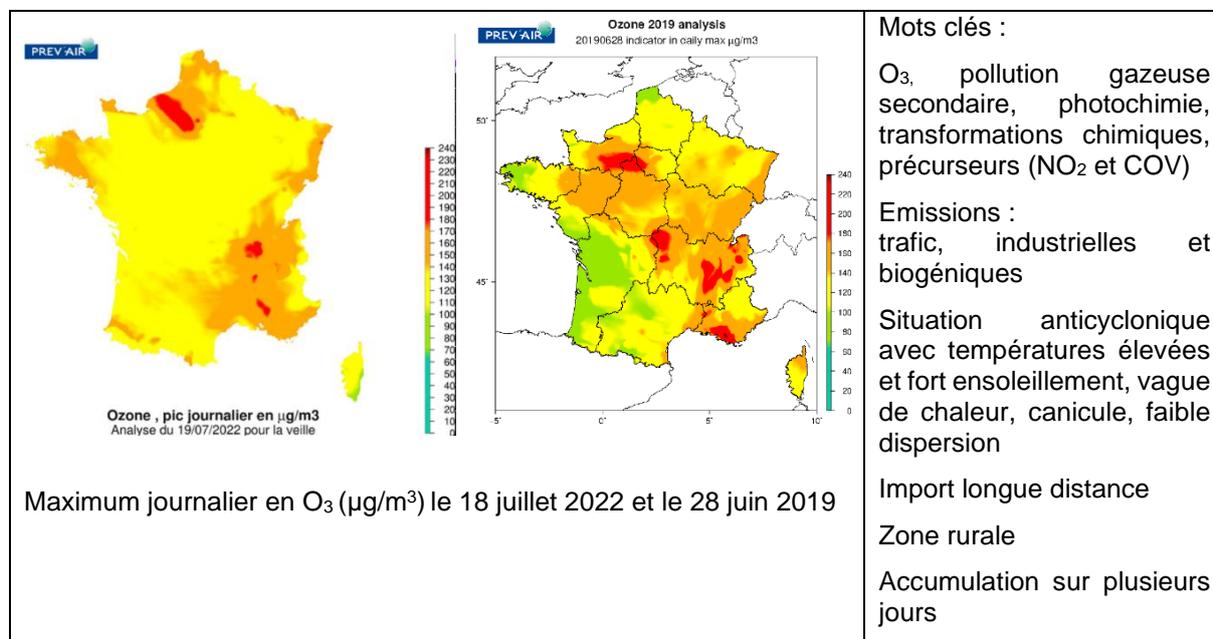


6.1.3 Episode Estival (O₃, PM₁₀, PM_{2.5})

A partir de juin et jusqu'à septembre, des épisodes de pollution à l'ozone peuvent survenir. Polluant gazeux d'origine secondaire, il se forme à partir de précurseurs tels que les oxydes d'azotes, composés organiques volatils (COV) d'origine anthropique (dont le méthane, y compris agricole) ou d'origine naturelle (provenant des émissions biogéniques, notamment des forêts, où l'on retrouve l'isoprène et les monoterpènes qui font partie des COV biogéniques les plus actifs dans la formation d'ozone et monoxyde de carbone) sous l'effet de température et rayonnement solaire important (c'est un polluant dit photochimique). Les concentrations les plus fortes sont atteintes en conditions anticycloniques lors des heures les plus chaudes de la journée, et lorsque les conditions chimiques de sa formation sont optimales (ce qui intervient généralement sous le vent des villes en zones rurales après un effet de dilution des oxydes d'azote émis de manière importante en zone urbaine). A l'inverse, près des sources, les fortes concentrations d'oxyde d'azote peuvent déclencher le phénomène de titration (destruction d'ozone par le monoxyde d'azote) et inhiber la formation d'ozone.

Lorsque les conditions anticycloniques sont persistantes un effet d'accumulation entraîne une hausse des concentrations de fond au fil des jours à laquelle se rajoute l'ozone formé du jour. L'ozone ayant une durée de vie de plusieurs jours, le transport longue distance peut également contribuer à cette hausse des concentrations de fond et accentuer l'ampleur d'un épisode de pollution à l'ozone.

Des hausses de concentrations de particules peuvent aussi survenir lors de vague de chaleur sous l'effet des conditions météorologiques favorisant des fortes émissions de composés organiques volatiles d'origine biogénique (émis par la végétation) qui forment des particules organiques secondaires. A ce jour, ce phénomène est assez limité et n'entraîne pas d'épisode de pollution d'ampleur nationale aux particules en période estivale même si localement il peut être responsable d'une dégradation passagère de la qualité de l'air.



6.1.4 Episodes d'origine naturelle

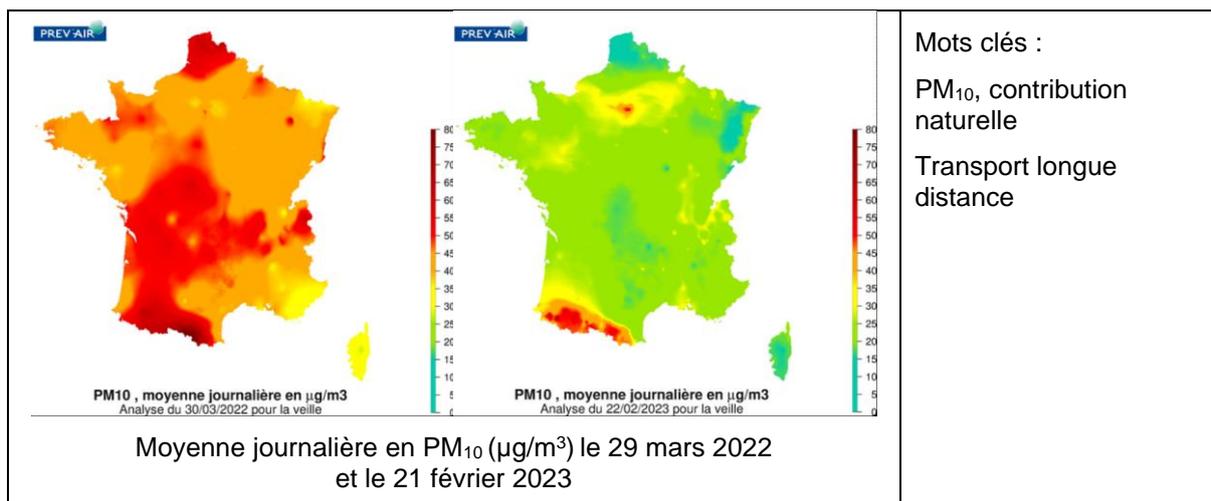
6.1.4.1 Poussières désertiques (PM₁₀)

Des soulèvements de poussières désertiques sahariennes peuvent survenir à n'importe quelle période de l'année (même si la prédominance sur les dernières années est importante sur les mois de février à avril) lorsque des noyaux dépressionnaires stagnent à l'ouest de la méditerranée, entre l'Afrique et l'Europe. Ces conditions permettent des soulèvements de sables sahariens et leur transport vers l'Europe où ils affectent de manière passagère la qualité de l'air. Plusieurs configurations sont rencontrées :

- 1) Des panaches qui traversent l'Espagne et franchissent les Pyrénées avec une partie en basse couche qui contourne le massif et qui vont ensuite balayer le territoire avec potentiellement des effets ressentis sur tout le pays ;
- 2) Des panaches qui arrivent par la méditerranée et vont parcourir le territoire plus ou moins profondément selon l'intensité des vents. Ces masses d'air chargées en poussières désertiques auront alors principalement un effet sur la Corse ou plus largement sur les régions du littoral méditerranéen.

Ces apports ont généralement des implications sur les niveaux de particules pendant 1 ou 2 jours.

Il faut noter que de telles intrusions de panaches désertiques peuvent aussi parcourir le pays tout en restant en altitude. Elles auront alors peu d'effet sur les concentrations de surface et ne conduiront pas au déclenchement d'un épisode, même si elles peuvent perturber la visibilité (avec, par exemple, des couchers de soleil colorés), ou conduire à des dépôts de poussière à la surface (constatés sur les véhicules ou sur les massifs montagneux).



6.1.4.2 Feux de forêt (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃)

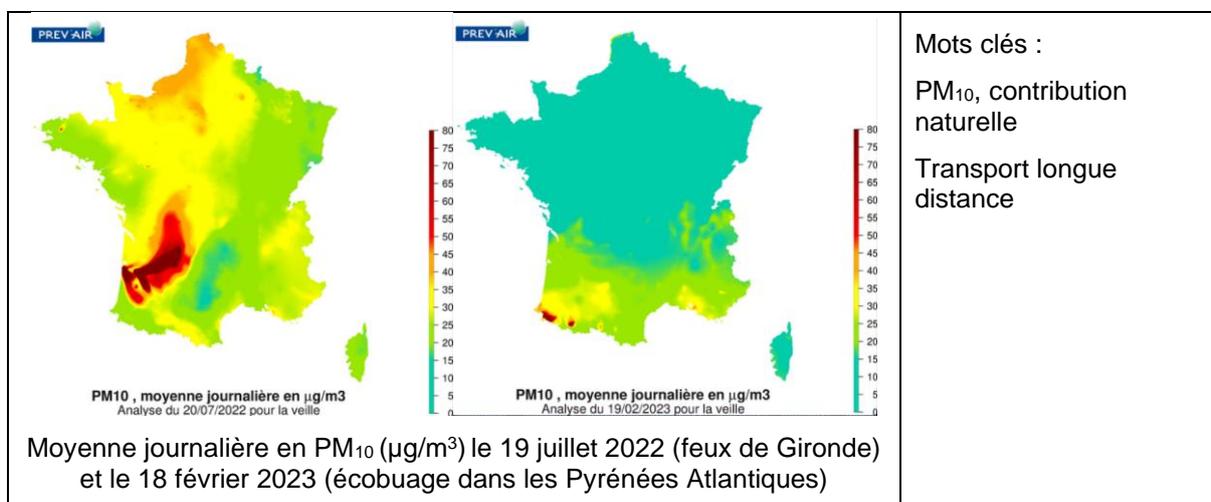
Sous l'effet des fortes chaleurs, des incendies importants peuvent se déclarer sur le territoire, ce risque étant accru par l'évolution des conditions climatiques et le renforcement des périodes de canicules et de sécheresses. Ces événements émettent des particules et des précurseurs de particules en grande quantité qui peuvent dégrader la qualité de l'air en contribuant à la hausse des concentrations de particules. Les feux émettent également des précurseurs d'ozone pouvant localement induire une hausse des concentrations d'ozone.

Ces polluants issus des feux peuvent aussi être transportés et impacter la qualité de l'air à des distances éloignées du feu.

Leurs effets sont très dépendants des conditions météorologiques, de la superficie de la zone potentiellement inflammable et des actions entreprises pour circonscrire l'incendie. Ils peuvent contribuer à la dégradation de la qualité de l'air pendant un laps de temps court comme pendant plusieurs jours. Les zones impactées peuvent aussi grandement varier selon les changements de conditions de vents et les opérations de lutte contre l'incendie.

Ces feux de forêt impactant la qualité de l'air sont plutôt rencontrés en période estivale.

De manière similaire mais intervenant plutôt en période hivernale, les activités de brulage contrôlé (écobuage) ne sont pas des événements d'origine naturelle mais peuvent avoir un impact sur la qualité de l'air. Ces pratiques agricoles sont souvent localisées sur des zones montagneuses comme les contreforts des Pyrénées-Atlantiques et ont lieu par conditions de vents faibles à modérés qui peuvent favoriser l'accumulation des particules dans les vallées.



6.1.4.3 Sels de mer (PM_{10})

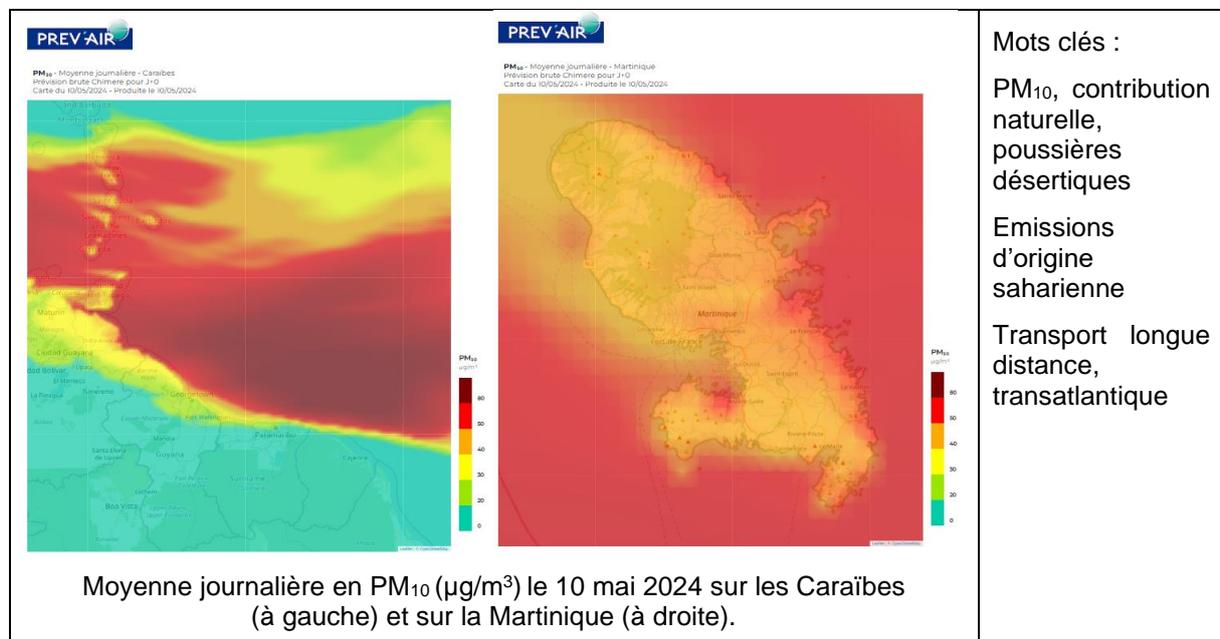
En cas de tempêtes ou de dépressions (phénomène assez fréquent sur la façade atlantique), des sels de mer peuvent être émis et affecter les concentrations de particules principalement le long du littoral (notamment sur la façade Atlantique) avec des effets perceptibles mais décroissants vers l'intérieur des terres. Ces événements ont une durée relativement courte d'une journée et n'engendrent pas d'épisode marquant de pollution du fait de l'intensité des vents associés. Ils peuvent néanmoins être responsables de dépassements localisés.

6.1.4.4 Rejets volcaniques (PM_{10} , $PM_{2.5}$)

Les volcans lorsqu'ils rentrent en activité peuvent relarguer dans l'atmosphère des quantités importantes de polluants et en premier lieu des cendres et du dioxyde de soufre. Emis en altitude, ils peuvent être transportés sur de longues distances et venir interférer avec la pollution des basses couches de l'atmosphère contribuant soit directement à la hausse des concentrations des particules soit favorisant leurs formations en réagissant avec des polluants émis par les activités anthropiques. Les volcans islandais ont contribué à plusieurs reprises (2010, 2014) à dégrader la qualité de l'air en Europe.

6.2 Episodes de pollution sur les territoires ultra-marins des Caraïbes (Guyane, Martinique et Guadeloupe) : PM_{10}

La détérioration de la qualité de l'air dans les Caraïbes incombe régulièrement (mais pas exclusivement) aux panaches de poussières désertiques d'origine saharienne qui traversent l'Océan Atlantique et contribuent à une augmentation des concentrations en particules (PM_{10}) de la Guyane, de la Martinique et de la Guadeloupe entre janvier et octobre. Ces épisodes peuvent être assez intenses et persister sur plusieurs jours. Une fluctuation saisonnière des conditions de transport des poussières par les alizés fait que la Guyane est généralement touchée en début de saison entre janvier et juin alors que l'arrivée des poussières est un peu plus tardive sur la Martinique et encore plus tardive sur la Guadeloupe. Il peut cependant arriver que des événements massifs affectent simultanément l'ensemble de ces territoires.



6.3 Episode de pollution sur les territoires ultra-marins de l'Océan Indien (Mayotte et Réunion) : PM₁₀ et SO₂

Les polluants émis par des feux sévissant en Afrique ou à Madagascar peuvent affecter temporairement la qualité de l'air de Mayotte alors qu'à la Réunion l'activité du volcan du Piton de la Fournaise peut relarguer du dioxyde de soufre et des particules.

6.4 Synthèse des typologies d'épisodes de pollution

Episodes de pollution		Emissions impliquées	Polluants concernés	Conditions météorologiques associées
Episodes hivernaux		Chauffage résidentiel, trafic, industrie	NO₂ PM₁₀, PM_{2.5} : principalement primaire et organique	Vague de froid sous conditions anticycloniques
Episodes d'hiver et début de printemps		Agriculture, chauffage résidentiel, trafic, industriel	PM₁₀, PM_{2.5} (forte présence de particules secondaires inorganiques provenant de la formation de nitrate d'ammonium)	Conditions anticycloniques avec forte amplitude de température (nuits fraîches, journées douces)
Episodes estivaux		Trafic, industriel et naturelles (biogéniques)	O₃ (polluant gazeux secondaire formé à partir des précurseurs ⁵³) PM₁₀ & PM_{2.5} avec forte présence d'aérosol organique secondaire	Conditions anticycloniques se traduisant par un fort ensoleillement et des températures élevées
Episodes naturels	Feux de forêt	Combustion	PM₁₀, PM_{2.5} O₃	Très variables mais souvent associées à un temps sec et chaud.
	Poussières désertiques	Origine saharienne principalement	PM₁₀ (particules assez grossières)	Assez variables mais souvent ventées, impliquant un passage assez rapide du panache sur le territoire
	Sels de mer affectant principalement les stations côtières	Souvent relié au passage, sur les côtes, de tempête	PM₁₀ (particules assez grossières)	Souvent avec de forts vents
	Volcans	Dépend des caractéristiques du volcan	PM₁₀ & PM_{2.5} SO₂	Propices à un transport vers le territoire métropolitain sans dispersion importante.

⁵³ Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils

6.5 Compléments concernant les épisodes de pollution au NO₂

Peu d'épisodes d'ampleur nationale sont répertoriés pour le NO₂, du fait des critères de l'arrêté mesure d'urgence (valeur limite élevée) et de l'influence principalement en champs proches des émissions de NO₂ (trafic) alors qu'au titre de l'arrêté du 28 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 Avril 2016 un épisode de pollution est défini d'après les concentrations de fond.

La valeur limite moyenne horaire du NO₂ est fixée à 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an (et possiblement à ne pas dépasser plus d'une fois par an dans le cadre de la future directive qualité de l'air). La valeur limite annuelle est, elle, fixée à 40 µg/m³ en moyenne annuelle.

En total sur les 10 dernières années, 31 dépassements horaires du seuil de 200 µg/m³ ont été recensés sur des stations de fond, et 231 sur des stations de proximité industrielle et trafic. D'un point de vue réglementaire, ce seuil de 200 µg/m³ ne doit pas être dépassé plus de 18 heures sur une année donnée, c'est ainsi qu'est définie la valeur limite en moyenne horaire. Cette valeur limite n'a, elle, pas été dépassée depuis 10 ans pour les stations de fond et 12 non-respects ont été enregistrés sur des stations de proximité (11 de type trafic et 1 industrielle).

La réglementation introduit aussi une valeur limite en moyenne annuelle de 40µg/m³. Sur les 10 dernières années, d'après les données Geod'air (www.geodair.fr), 4 dépassements de cette valeur limite annuelle ont eu lieu pour des stations de fond et 244 pour des stations trafic.

Ces chiffres démontrent qu'en situation de fond, les épisodes de pollution au dioxyde d'azote ont peu de risque de sévir d'après les seuils réglementaires en vigueur en 2024 définis par la directive qualité de l'air de 2008. Les nouvelles valeurs de seuils de la directive 2024 devraient rendre le risque d'occurrence d'épisode de NO₂ plus important lorsqu'elle sera effective dès 2026.

7 Annexe 2 : Exemples d'études de cas concernant des épisodes de pollution

Nous reprenons ici, à titre d'exemple, certains épisodes de pollutions particuliers qui ont pu légitimer la mobilisation de mesures, de modélisation, et surtout d'expertises spécifiques pour élaborer un diagnostic spécifique. Ces éléments n'ont pas de vocation exhaustive, ils sont repris ici pour illustrer la diversité des situations, notamment lorsque l'on parle d'épisodes de pollution qui sortent des situations régulièrement rencontrées au niveau local.

7.1 Feux de Forêt Canada Juin 2023

Les feux de forêt intenses au Canada ont conduit à l'émission de grandes quantités de particules dans l'atmosphère qui ont dégradé notablement la qualité de l'air sur une partie de l'Amérique du Nord. Au cours de la semaine du 26 au 30 juin 2023, ces panaches ont atteint le continent Européen. Il a été possible d'anticiper cette arrivée grâce aux outils de modélisation (Copernicus et Prev'air) alimentés par la télédétection spatiale. Considérant les incertitudes importantes sur le terme source ainsi que sur le transport du panache sur plusieurs milliers de kilomètres, il est souhaitable de croiser les modèles avec les observations de terrain afin d'en tirer des estimations quantitatives.

Les lidar/télémetres (accessibles via le réseau e-profile) permettent de surveiller en continu la teneur en particules dans la colonne atmosphérique. Grâce à ces instruments, nous avons pu confirmer l'arrivée du panache des feux provenant du Canada dès le 26/06. Alors que ceux-ci étaient d'abord situés à une hauteur de 3 à 5 km au-dessus du sol, ils ont ensuite subi une subsidence du fait des conditions anticycloniques. C'est alors qu'ils ont pu rentrer en contact avec la couche limite lors de son développement quotidien jusqu'à 2km d'altitude en cette saison. En croisant cette chronologie avec des mesures de concentration de PM₁₀ des AASQAs à la surface, notamment sur des sites ruraux, on peut estimer l'impact sur la qualité de l'air au plus de l'ordre de 15 à 25µg/m³ sur quelques heures. Cet effet est notable sans être majeur considérant que le seuil d'information est de 50 µg/m³ en moyenne journalière.

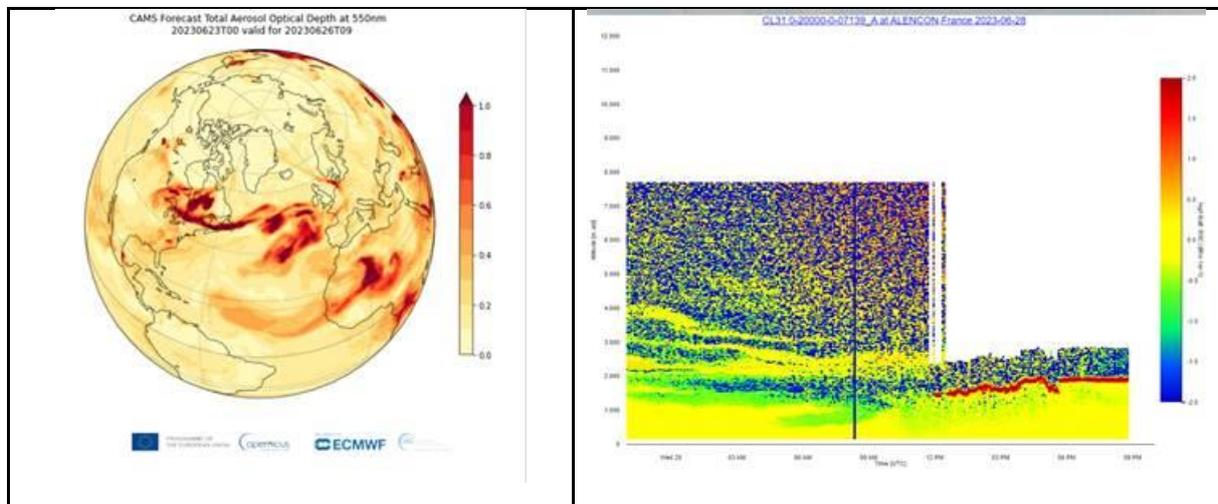




Figure 1 : Haut gauche : Prédiction numérique d'épaisseur optique (colonne totale) d'aérosols issue du modèle global CAMS/IFS issue le 23/06 pour le 26/06/2023 (source : atmosphere.copernicus.eu). Haut droite : comparaison du profil de rétrodiffusion à Alençon indiquant la subsidence du panache de feux et son intégration à la couche limite le 28/06 (Eprofile (e-profile.eu) Bas : concentrations de PM_{10} ($\mu g/m^3$) du 27 au 29 Juin pour trois stations rurales en Mayenne (53), Orne (61) et Yvelines (78) (source : geodair.fr).

7.2 Pollution particulaire (Février 2023)

Une augmentation des concentrations de particules PM_{10} est constaté sur le pays mi-février 2023 en lien avec un épisode de froid qui favorise l'accumulation des polluants du fait des conditions anticycloniques. En cette période, le recours renforcé au chauffage résidentiel constitue aussi une source importante. Mais début 2023, dans le contexte particulier de la crise énergétique consécutive à l'incursion Russe en Ukraine, il est légitime de s'interroger sur le possible recours accru au chauffage au bois pour des raisons économiques au regard de la hausse des prix du gaz.

Les mesures en temps réels de la composition chimique des particules fines réalisées en 12 points du territoire dans le cadre du programme CARA⁵⁴ convergent vers une nette prédominance (typiquement 2/3 des $PM_{2.5}$) des particules carbonées, incluant carbone suie et matière organique. En cette période de l'année, les principales sources à l'origine de ce type de particules sont liées aux phénomènes de combustion, en premier lieu le chauffage résidentiel (en particulier au bois) et l'échappement automobile. La forte influence des émissions de combustion de biomasse est confirmée par les mesures des aethalomètres (AE33) réalisées en fond urbain de la plupart des grandes agglomérations françaises concernées par l'épisode en cours, indiquant des contributions de l'ordre de 30 à 50% des PM. Les faibles écarts de niveaux entre PM_{10} et $PM_{2.5}$ (pour les stations où ces deux paramètres sont mesurés simultanément), ainsi que l'hétérogénéité relativement importante de ces niveaux de concentrations entre zones urbaines et fond rural, plaident également pour une forte influence des émissions primaires locales. A ce titre, si cet épisode est notable par sa durée, il peut néanmoins être considéré comme relativement similaire à certains épisodes hivernaux observés au cours des dernières années, dont celui de décembre 2016⁵⁵.

Les conditions météorologiques et de dynamique atmosphérique caractéristiques de ce type d'épisode (faible hauteur de couche limite, vents peu prononcés et donc dispersion atmosphérique très limitée, températures basses, humidité importante) favorisent i) l'accumulation des émissions à l'échelle locale, et ii) la condensation des espèces semi-volatiles en phase particulaire. A ce stade il n'est pas possible de déterminer si, à conditions météorologiques équivalentes, l'usage d'un type de chauffage plus émissif en PM tel que le chauffage au bois a été renforcé pendant cette période en regard de la crise énergétique.

⁵⁴ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>

⁵⁵ https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2017_cara_synthese_resultats_episode_dec2016-.pdf

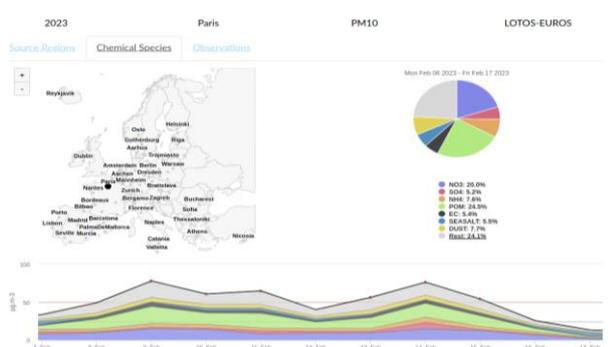
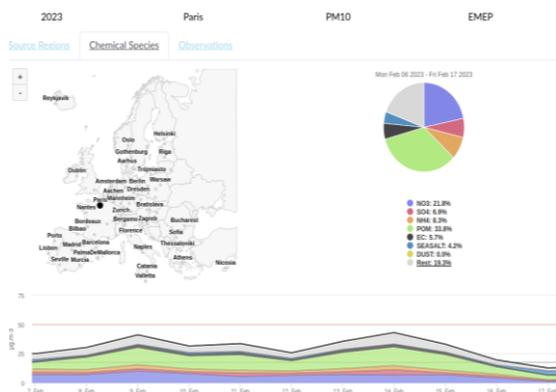
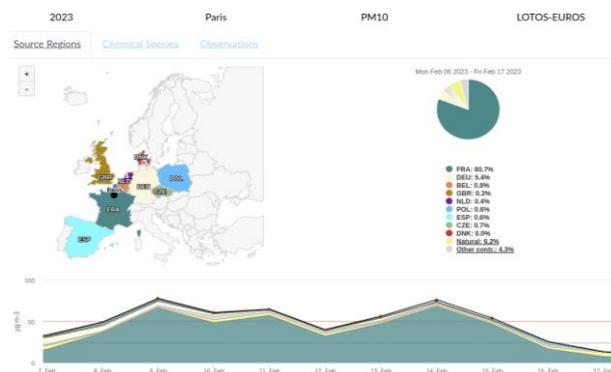
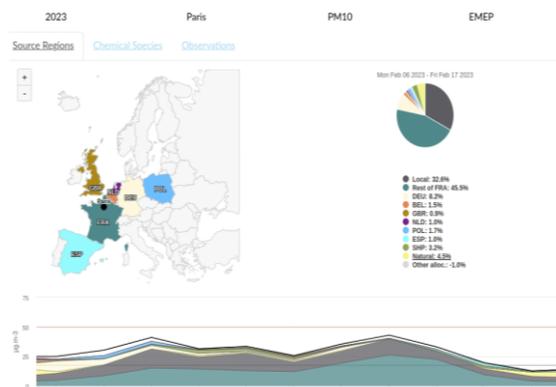
Ce même épisode a fait l'objet d'une analyse approfondie par le CAMS Policy Support Service qui a publié un rapport⁵⁶ reprenant des données françaises de traçage de source par la mesure et la modélisation.

In Paris (Figure below), the main sources of PM₁₀ concentrations are national French emissions (79% and 81% according to the models EMEP and LOTOS-EUROS respectively), with the city itself contributing with almost 33% (EMEP). Primary PM₁₀ emissions are identified by both models as the major source, with Primary Organic Matter (POM) becoming the largest PM component. This suggests increased contribution from residential heating. The second largest PM₁₀ component was nitrate, constituting 20/22 % (EMEP/LOTOS-EUROS). Also, other cities in France (Bordeaux, Nantes, Toulouse, Lyon) had several days with PM₁₀ exceedances in this period⁵⁷. On most days both models are within the range of observed concentrations, with the forecasted PM₁₀ concentrations from EMEP being the low end (and underestimating the observed peak values 14-15 February), whereas PM₁₀ from LOTOS-EUROS at the high end of the observation range. Both models appear to predict the highest PM₁₀ for 14 February, i.e. one day earlier than it was observed. The results for sector allocation calculations by the Air Control Toolbox also identify residential combustions as the main source of PM₁₀ in the considered period, with its contribution increasing especially on the days with peak levels (i.e. 9 and 14 February). The second main contributor is Agriculture (supplying ammonia emissions for formation of ammonium nitrate in the reactions with NO_x from traffic).

Paris:

a) EMEP

b) LOTOS-EUROS



a) EMEP

b) LOTOS-EUROS

⁵⁶ https://policy.atmosphere.copernicus.eu/reports/pdf/CAMS2-71_PM10_episode_7-17Febr2023_final.pdf

⁵⁷ https://policy.atmosphere.copernicus.eu/yearly_statistics.php

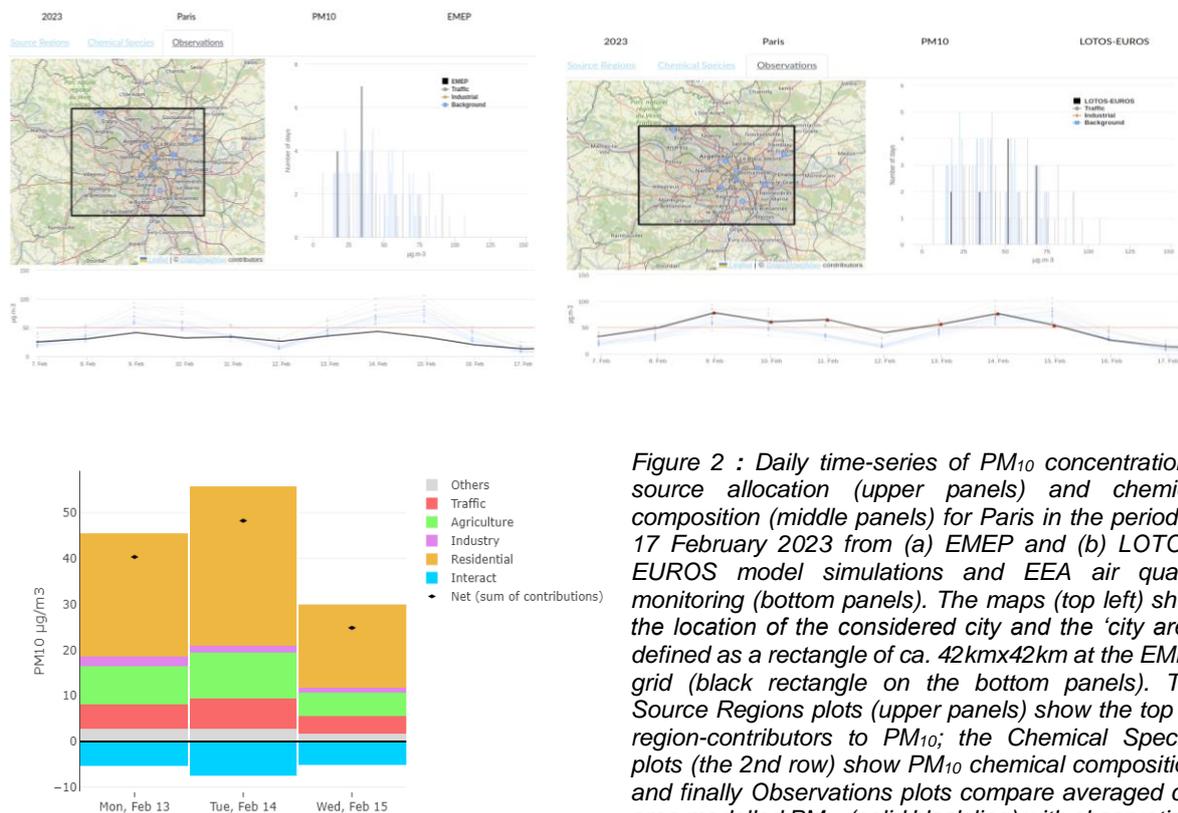


Figure 2 : Daily time-series of PM_{10} concentrations, source allocation (upper panels) and chemical composition (middle panels) for Paris in the period 7-17 February 2023 from (a) EMEP and (b) LOTOS-EUROS model simulations and EEA air quality monitoring (bottom panels). The maps (top left) show the location of the considered city and the 'city area' defined as a rectangle of ca. 42kmx42km at the EMEP grid (black rectangle on the bottom panels). The Source Regions plots (upper panels) show the top 10 region-contributors to PM_{10} ; the Chemical Species plots (the 2nd row) show PM_{10} chemical composition, and finally Observations plots compare averaged city area modelled PM_{10} (solid black line) with observations (dashed lines) from the EEA AQ e-reporting database (the 3rd row). Pie diagrams show average for the period top 10 region-contributors to PM_{10} (upper panels) and the chemical composition of PM_{10} (middle panels). Activity sector allocation for PM_{10} at the receptor point of Paris from the ACT are shown on bottom panel See CAMS_71 SR policy product website for more details : <https://policy.atmosphere.copernicus.eu/YearlyStatistics.php>.

This is supported by the data obtained in the framework of the French National Reference Laboratory on air quality (LCSQA) supporting the monitoring performed by Atmo AURA in the City of Lyon (South Eastern France) and Calais Berthelot (North France) (Figure below). It is based on ACSM measurements of non-refractory aerosols, combined to aethalometers to identify the fractions of biomass and fossil combustion and scaling up a source/component composites. These data strongly suggest that organic aerosols (OA) was the dominating PM_{10} component in Lyon and Calais Berthelot in the period 7-17 February 2023. The largest contribution to primary OA was from biomass burning (peaking on 9 February), while the effect of fossil fuel combustion was much smaller. On some days, secondary OA was also formed in appreciable amounts, in particular from 13 February. The data also show that ammonium nitrate was the second important aerosol component at the hours of peak PM_{10} . It can be noted that such measurements, already available for selected French cities, are going to be further developed in the framework of the RI-Urbans project which aims at bringing ACTRIS type of measurement to regulatory air quality monitoring network, therefore paving the way for regular service tool which will be instrumental to the assessment of air pollution episode in combination of CAMS models.

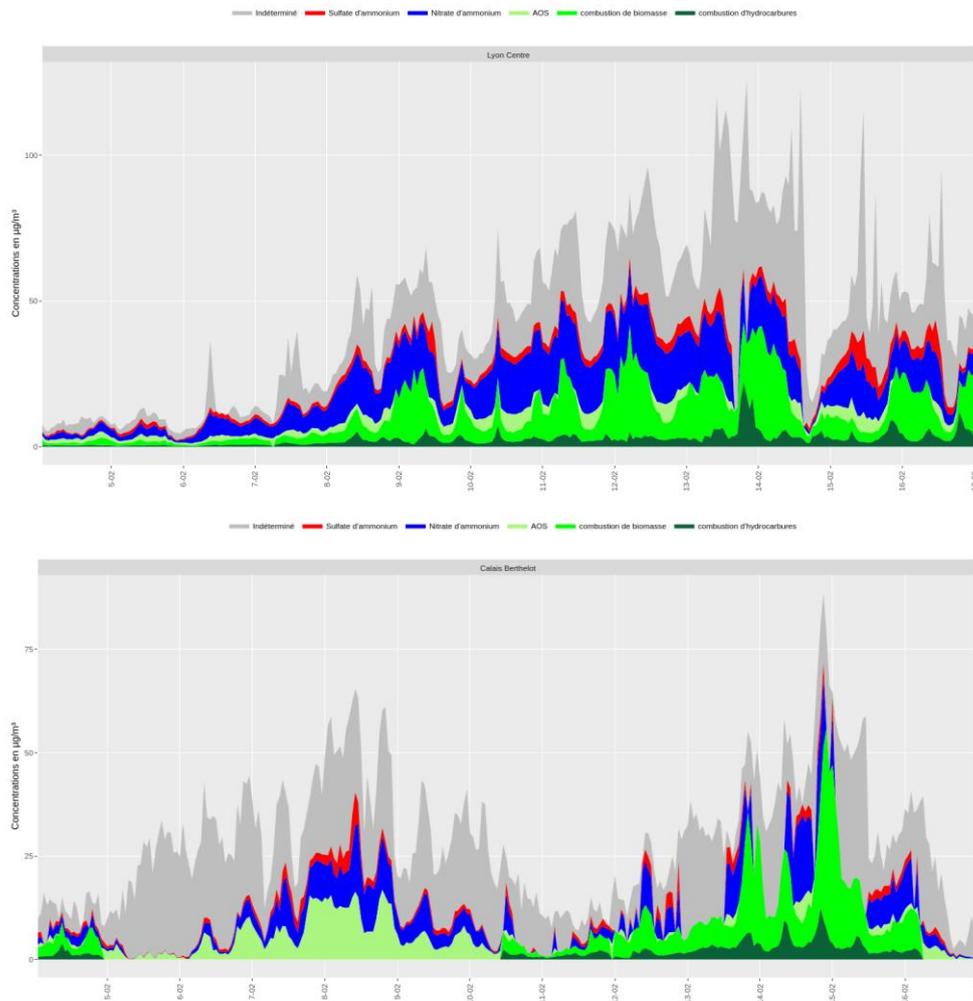


Figure 3: PM_{10} composition, derived from ACSM and AE33 measurements (5-18 February 2023): for Lyon (top) and Calais Berthelot (close to Lille, bottom).
Courtesy of INERIS/LCSQA/Atmo AURA/Atmo HDF.

7.3 Feux de forêt en Gironde (été 2022)

Plusieurs notes d'analyse de l'effet des feux de forêt en Gironde ont été publiées par l'Ineris, tout d'abord basées sur la modélisation et les images satellite, puis en exploitant les données in-situ en temps réel.

Alerte émise le 19/7/2022

- Les feux de forêts qui sévissent dans les Landes émettent des quantités importantes de particules fines vers l'atmosphère.
- Les niveaux de concentrations constatés autour de la région Nouvelle Aquitaine ont atteint des niveaux exceptionnellement importants.
- Dans la journée du 19 juillet 2022, le panache devrait balayer rapidement une grande partie du territoire national vers le Nord et l'Est comme le démontre les prévisions du Service Copernicus de Surveillance de la Qualité de l'Air coordonné par l'INERIS et Météo-France.
- L'impact du passage du panache sur les concentrations moyennes journalières de particules dans ces régions est encore difficile à estimer et sera confirmé par les mesures réalisées cette nuit par les réseaux de surveillance des AASQA.

Les feux de forêts qui sévissent dans les Landes émettent des quantités importantes de particules fines vers l'atmosphère. Les niveaux de concentrations constatés dans la région ont atteint des niveaux importants comme en témoigne le déclenchement d'un épisode de pollution aux PM_{10} au-dessus du seuil d'alerte par Atmo Nouvelle Aquitaine.

Il faut par ailleurs noter que ce panache affecte aussi une grande partie du territoire métropolitain. Des pics ponctuels ont été constatés dans les mesures des AASQA lors de la journée du 19 juillet sur une bande allant de la Normandie, la Bretagne, les Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine (www.geodair.fr).

Ils sont bien corroborés par les images du panache issues des observations satellite.

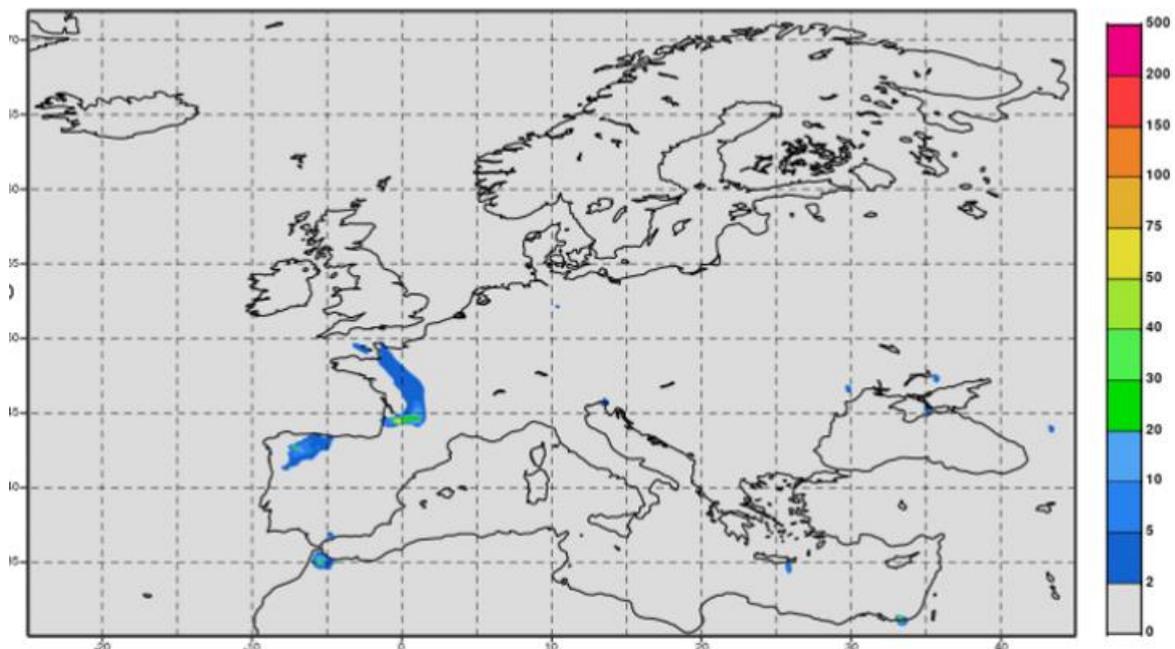
Dans la journée du 19 juillet, le panache balayera rapidement le territoire national vers le Nord et l'Est comme le démontre les prévisions du Service Copernicus de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Ce passage étant relative rapide, les niveaux de concentrations cumulés sur ces régions pourraient rester modérés, bien que cela reste à vérifier par la mesure. La principale préoccupation demeure sur les régions du sud-ouest (Nouvelle Aquitaine et Occitanie) qui seront probablement affectées plus durablement.



Image satellite visible, NASA, Worldview, MODIS

Tuesday 19 July 2022 00UTC CAMS Forecast t+012 VT: Tuesday 19 July 2022 12UTC
Model: ENSEMBLE (N=11) Height level: Surface Parameter: PM wildfire tracer in the PM10 fraction [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Prévision de la position des panaches de particules PM_{10} lié aux feux de forêts en Gironde et en Espagne le 19 juillet à 12h TU d'après le Service Copernicus de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Analyse plus détaillée le 21/07/2022

Les mesures des concentrations et de la composition chimique des particules confirment le parcours sur le territoire du panache issu des feux de forêt en Gironde.

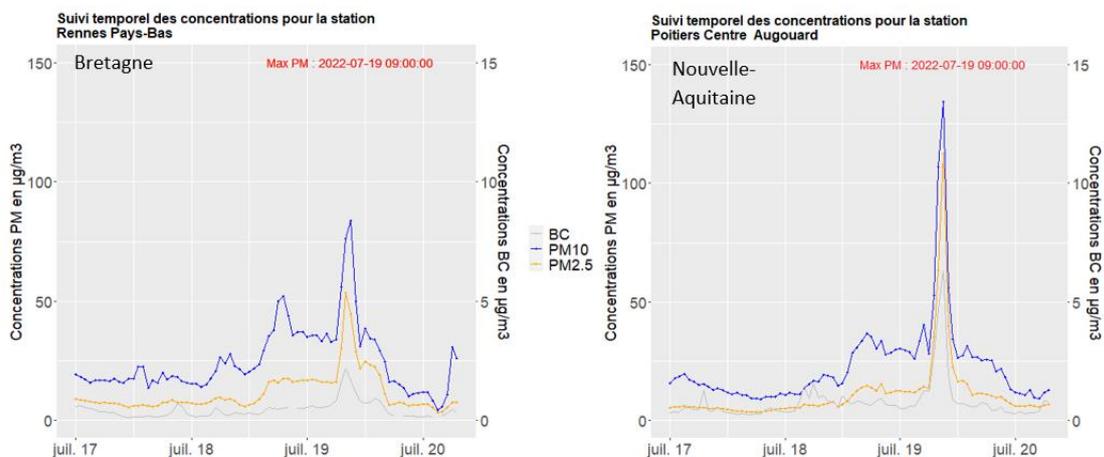
Les feux de forêts qui sévissent en Gironde émettent des quantités importantes de particules fines vers l'atmosphère. Dans l'après-midi du 19 juillet, les données de PM₁₀, centralisées en temps réel dans la base de données nationale Geod'air, sont montées à des niveaux de moyenne horaire dépassant parfois plusieurs centaines de µg/m³.

L'impact du panache des feux de forêt sur la qualité de l'air annoncé par la prévision a été confirmé par les données de mesures des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) des PM₁₀ et PM_{2.5} ; et plus finement, avec les données de l'observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain (programme CARA), piloté par l'Ineris, en tant que membre du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA).

En effet, dans l'après-midi du 19 Juillet, les données de PM₁₀ centralisées en temps réel depuis les stations de mesure opérées par les AASQA vers la base de données nationale Geod'air ont atteint des niveaux de moyenne horaire dépassant parfois plusieurs centaines de µg/m³. Des pics de cette ampleur ne sont pas inédits, mais c'est la première fois qu'ils affectent en une seule journée une si grande partie du territoire. La base de données Geod'air a ainsi pu enregistrer 49 valeurs horaires au-dessus de 150 µg/m³ dans la journée du 19 juillet.

Mais il faut noter que ces extrêmes sont demeurés relativement sporadiques. Si l'on s'intéresse aux valeurs journalières, on ne retient que 4 stations situées en Nouvelle-Aquitaine où la moyenne journalière a été supérieure à 70 µg/m³⁵⁸.

Par ailleurs, de premiers éléments sur la composition chimiques ont pu être obtenus. Les graphiques ci-dessous montrent des pics de concentrations de carbone suie ou black carbon (BC) entre le 19 juillet et le 20 juillet, synchronisés avec le passage prévu du panache avec des teneurs pouvant aller jusqu'à 6-7 µg/m³ (en 2020, les moyennes annuelles de carbone suie (BC) étaient comprises entre 0,5 et 2 µg/m³ pour des sites de fond urbain) :



⁵⁸ Pour les PM₁₀, le seuil d'alerte est fixé à 80 µg/m³ en moyenne journalière et le seuil d'information et de recommandation est fixé à 50 µg/m³ en moyenne journalière.

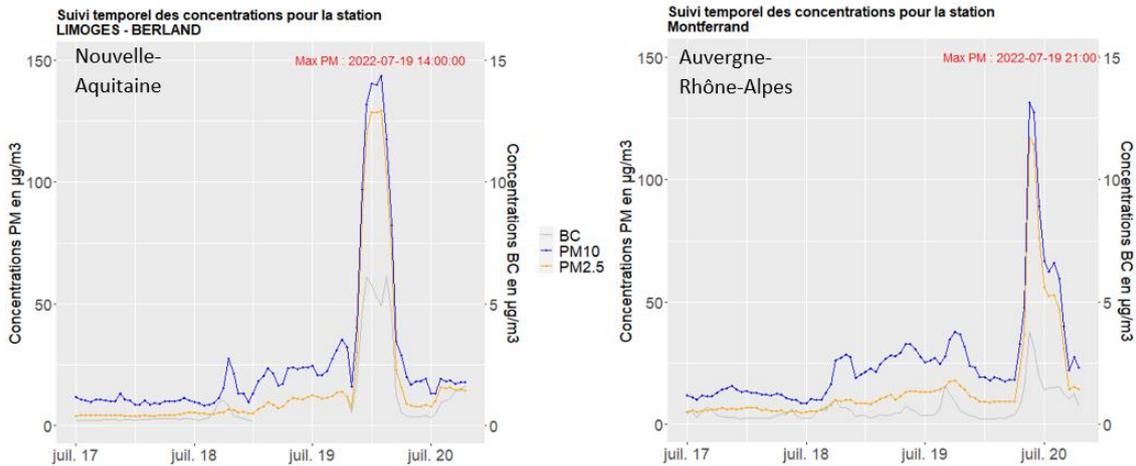


Figure 4: Evolution temporelle des concentrations moyennes horaires en PM_{10} , $PM_{2.5}$ (axe des ordonnées à gauche) et BC (axe des ordonnées à droite) pour différentes stations du programme CARA (sources de données : Geod'air)

Les données d'ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) disponibles permettent également de voir la part importante de matière organique dans les concentrations de particules observées, comme ci-dessous avec les données de la station d'observation du [SIRTA](#), située en Ile de France.

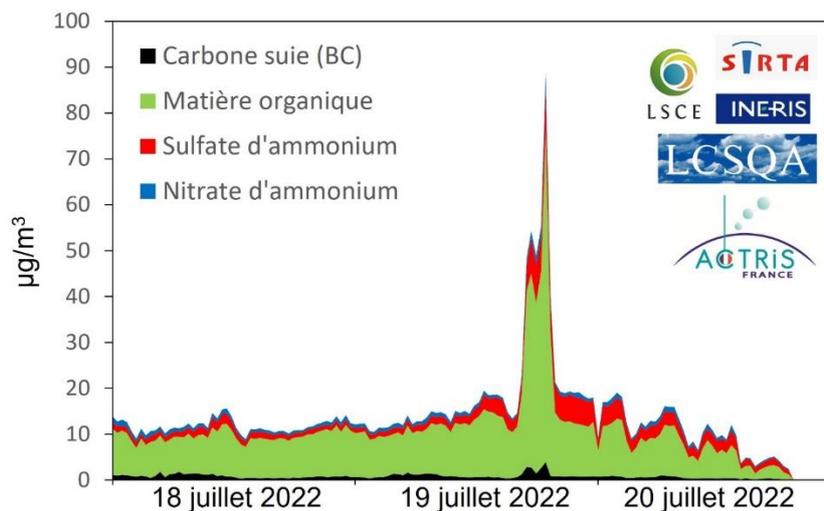


Figure 5: Concentrations des principales espèces chimiques des particules fines ($PM_{2.5}$) mesurées au SIRTA entre le 18 et le 20 juillet 2022

7.4 Eruption volcanique aux Canaries

En septembre 2021, une éruption aux Canaries a émis de fortes quantités de SO_2 dans l'atmosphère, suite à quoi l'Ineris et Météo-France ont élaboré un communiqué commun pour tirer parti de l'expertise conjointe des deux instituts sur la dispersion atmosphérique en altitude et estimer les potentiels impacts sur la qualité de l'air.

Le volcan Cumbre Vieja, situé aux Canaries (Espagne), est entré en éruption, émettant notamment un nuage chargé en dioxyde de soufre (SO_2). Météo France et l'Ineris sont mobilisés pour modéliser le panache et son évolution.

Le nuage généré par l'éruption volcanique contient de nombreux composés. En particulier, on distingue d'une part les cendres volcaniques (qui peuvent être des particules dangereuses pour la circulation aérienne) et d'autre part le SO_2 , un gaz dont les concentrations dans l'air sont réglementées et suivies quotidiennement.

Concernant les cendres volcaniques, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale a désigné Météo-France comme centre d'alerte (Volcanic Ash Advisory Center - VAAC) sur la majeure partie de l'Europe et l'Afrique. Ainsi, Météo-France apporte son expertise à l'aviation civile pour le suivi des cendres émises par l'éruption du Cumbre Vieja depuis le début de l'épisode.

Concernant la qualité de l'air, les modélisations faites par Météo France et l'Ineris prévoient sur l'Europe la trajectoire du SO₂ émis par le volcan. Du SO₂ pourrait être présent dans l'atmosphère d'ici vendredi soir 24 septembre sur le sud de la France, et serait ensuite évacué par l'Est.

D'après les simulations, le SO₂ resterait, en altitude. Ainsi, les concentrations prévues au niveau du sol ne seraient pas particulièrement affectées par l'éruption volcanique.

On retrouve cependant des concentrations habituelles de SO₂ en surface liées aux activités humaines.

L'un des points de vigilance lié au SO₂ est sa possible présence dans les retombées au sol par les précipitations (les dépôts humides) qui sont à l'origine des pluies acides, qui constituaient l'un des principaux problèmes environnementaux des années 1980.

Les premiers résultats de modélisation de Météo-France et de l'Ineris indiquent bien une trace du panache volcanique dans les dépôts humides (avec une présence notable de composés soufrés) pour les jours à venir, sans souligner d'écart très significatif avec les valeurs usuellement observées.

Pour en savoir plus sur le SO₂ :

Le SO₂ est un polluant réglementé dont les concentrations atmosphériques ne doivent pas dépasser 125 µg/m³ en moyenne journalière, et 350 µg/m³ en moyenne horaire. Il est mesuré en plusieurs points du territoire par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le système national de prévision de la qualité de l'air Prev'air, développé et géré au quotidien par l'Ineris, avec l'appui de Météo-France, peut produire des prévisions de ce polluant. Le SO₂ ne représente plus aujourd'hui un enjeu majeur en Europe en termes de qualité de l'air ambiant, les émissions anthropiques d'oxyde de soufre (essentiellement imputables à l'industrie) ayant été drastiquement réduites au cours des 20 dernières années.

Les cartes de prévision ci-dessous montrent l'absence de concentration de SO₂ volcanique en surface sur la France pour les prochaines 48 heures

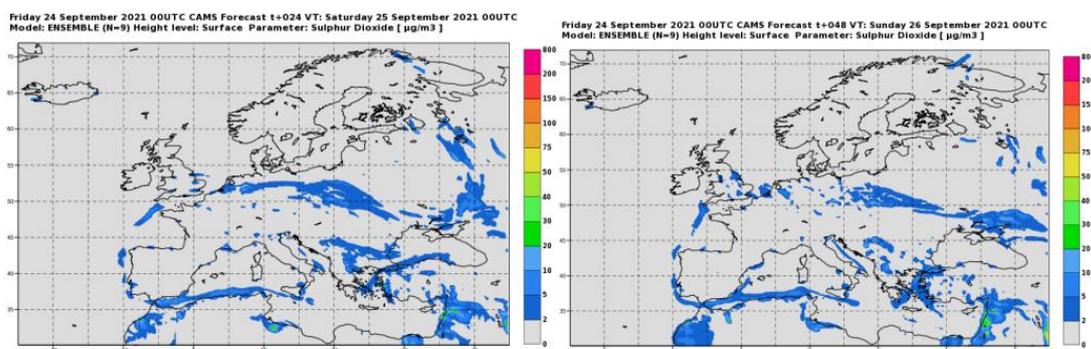


Figure 6 : Cartes de prévisions européennes des concentrations de SO₂ à la surface par le service régional Copernicus pour le 25 septembre à 00 UTC et le 26 septembre à 00 UTC, en microgrammes par mètre cube.

