



# IMPACT DES FEUX DE FORET SUR LA QUALITE DE L'AIR

## Etude bibliographique

Juillet 2026

Date de parution

06/07/2026

Contacts

Directrice Scientifique et Technique : Edwige Revelat – [edwige.revelat@atmosud.org](mailto:edwige.revelat@atmosud.org)

Ingénieur d'études / rédacteur : Julien Poulidor – [julien.poulidor@atmosud.org](mailto:julien.poulidor@atmosud.org)

Références

GT National Feux de Forêt / JPR-ERT

**Cette note bibliographique s'inscrit dans les travaux menés par le groupe de travail national « Impact des incendies de végétation sur la qualité de l'air d'Atmo France**

**Atmo**  
France

## SOMMAIRE

|       |                                                                                                                            |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I     | Introduction générale.....                                                                                                 | 4  |
| II    | Dynamique forestière.....                                                                                                  | 5  |
| II.1  | Les surfaces forestières en progression en Europe.....                                                                     | 5  |
| II.2  | Qu'en est-il en France ?.....                                                                                              | 6  |
| III   | Extension du risque de feux de forêt .....                                                                                 | 8  |
| III.1 | L'aléa incendie en augmentation .....                                                                                      | 8  |
| III.2 | Impacts de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité .....                                                          | 9  |
| IV    | Composition chimique des fumées et qualité de l'air.....                                                                   | 10 |
| IV.1  | Composition des fumées en fonction du type de végétaux.....                                                                | 11 |
| IV.2  | Emissions de polluants en fonction des phases de combustion .....                                                          | 12 |
| IV.3  | Focus sur les polluants particuliers .....                                                                                 | 13 |
| IV.4  | Focus sur la formation des suies .....                                                                                     | 14 |
| V     | Dispersion atmosphérique et impacts à longue distance .....                                                                | 15 |
| V.1   | Les particules fines .....                                                                                                 | 15 |
| V.2   | L'ozone .....                                                                                                              | 15 |
| V.3   | Impacts à longue distance .....                                                                                            | 16 |
| VI    | Conséquences.....                                                                                                          | 17 |
| VI.1  | Impacts sanitaires.....                                                                                                    | 17 |
| VI.2  | Conséquences environnementales .....                                                                                       | 18 |
| VI.3  | Conséquences sociales et économiques .....                                                                                 | 18 |
| VII   | Quelles évolutions pour les années à venir ?.....                                                                          | 19 |
| VII.1 | Le risque météorologique de feux de forêt accru avec le changement climatique.....                                         | 19 |
| VII.2 | Le changement climatique entraîne une aggravation du risque de feux de forêt et un allongement de la saison des feux ..... | 19 |
| VII.3 | Les méga feux.....                                                                                                         | 21 |
| VII.4 | 1 mois supplémentaire de sol sec en 2050 .....                                                                             | 22 |
| VIII  | Conclusion et perspectives.....                                                                                            | 23 |

## LISTE DES ANNEXES

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annexe 1 – Bibliographie.....                                                                    | 25 |
| Annexe 2 – Glossaire .....                                                                       | 28 |
| Annexe 3 - Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS..... | 31 |

## I INTRODUCTION GENERALE

**Un incendie de forêt (ou feu de végétation)** est un feu qui se développe sans contrôle dans une formation végétale (forêt, maquis, garrigue, lande, etc.) et qui couvre généralement une surface d'au moins 0,5 hectare, en détruisant au moins une partie des arbustes ou des arbres<sup>1</sup>.

Autrement dit, il s'agit d'un incendie qui se propage dans un milieu naturel végétalisé, et pas seulement dans les forêts strictes, mais aussi dans d'autres types de végétation.

Une inflammation est conditionnée par 3 facteurs qui doivent impérativement être réunis en même temps :

- un **combustible** (n'importe quel matériau inflammable) ;
- une **source externe de chaleur** (flamme ou étincelle) ;
- de l'**oxygène**, nécessaire pour alimenter le feu.



Figure 1 : Triangle du feu (source : Alertis)

Par ailleurs, on distingue également les **feux selon la saison** entre les feux d'été et les feux d'hiver ou de printemps. Cette notion est valable pour les feux de forêt et implique des différences de propagation, car ces feux ne touchent pas forcément les mêmes types de peuplement : les mécanismes ainsi que leurs impacts et leur gestion sont différents.

**Les feux en période estivale** sont ceux auxquels on pense spontanément. Ils sont favorisés par des températures élevées, ainsi qu'une sécheresse prolongée qui constituent des facteurs propices à la combustion rapide de la végétation. Cet ensemble de facteurs engendre des feux très énergétiques, capables de passer du sol aux cimes et de dévaster des surfaces parfois très importantes.

**Les feux en période hivernale** constituent également un enjeu de taille car ils vont entraîner des conséquences néfastes sur les sols avec une dégradation plus en profondeur. Les principales différences sont exposées dans le tableau ci-dessous.

<sup>1</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-protger/savoir-feux-foret-vegetation-france>

Tableau 1 : Caractéristiques des feux selon la saison

| Aspect                       | Période estivale                                                                                                                                                                                                                   | Période hivernale                                                                                                          |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Conditions favorables</b> | Températures élevées<br>Sécheresse prolongée<br>Humidité très faible<br>Vents fréquents et parfois violents<br><br>Ces facteurs favorisent la combustion rapide de la végétation                                                   | Températures basses mais sécheresse du sol<br>Moins de vent en général                                                     |
| <b>Type de combustible</b>   | Herbes sèches, broussailles<br>Branches mortes, litière forestière<br>Canopée des arbres (feux de cimes)                                                                                                                           | Matière organique du sol (tourbe, racines)<br>Bois enfoui ou décomposé                                                     |
| <b>Comportement du feu</b>   | Propagation très rapide<br>Riche en oxygène<br>Flammes hautes, parfois incontrôlables<br>Création de phénomènes extrêmes (tourbillons de feu, sauts de feu)<br>Capacité à franchir routes et rivières<br>Durée courte mais intense | Propagation très lente<br>Pauvre en oxygène<br>Peu de flammes visibles<br>Combustion en profondeur<br>Durée parfois longue |
| <b>Impacts</b>               | Destruction massive d'écosystèmes<br>Émissions importantes de polluants<br>Risques majeurs pour les habitations humaines<br>Forte mortalité de la faune et de la flore                                                             | Libération importante de carbone stocké dans les sols<br>Dégradation profonde des écosystèmes<br>Difficulté de détection   |

La présente note a pour objectif de proposer un état des lieux des connaissances scientifiques sur le sujet.

## II DYNAMIQUE FORESTIERE

### II.1 Les surfaces forestières en progression en Europe

Alors que la superficie forestière mondiale a diminué de 178 millions d'hectares (4.4 %) entre 1990 et 2020, le phénomène contraire se produit à l'échelle européenne sur la même période. La forêt recouvre désormais 159 millions (soit 38 % du territoire de l'UE). Si l'on inclut les autres terres boisées, ce chiffre grimpe à 182 millions d'hectares (43.5 %).

Eurostat applique la définition suivante pour les forêts : ce sont des terres ayant un couvert arboré supérieur à 10 % et une superficie supérieure à 0.5 hectare. Les arbres doivent pouvoir atteindre une hauteur minimale de cinq mètres à maturité in situ (dans leur milieu naturel).

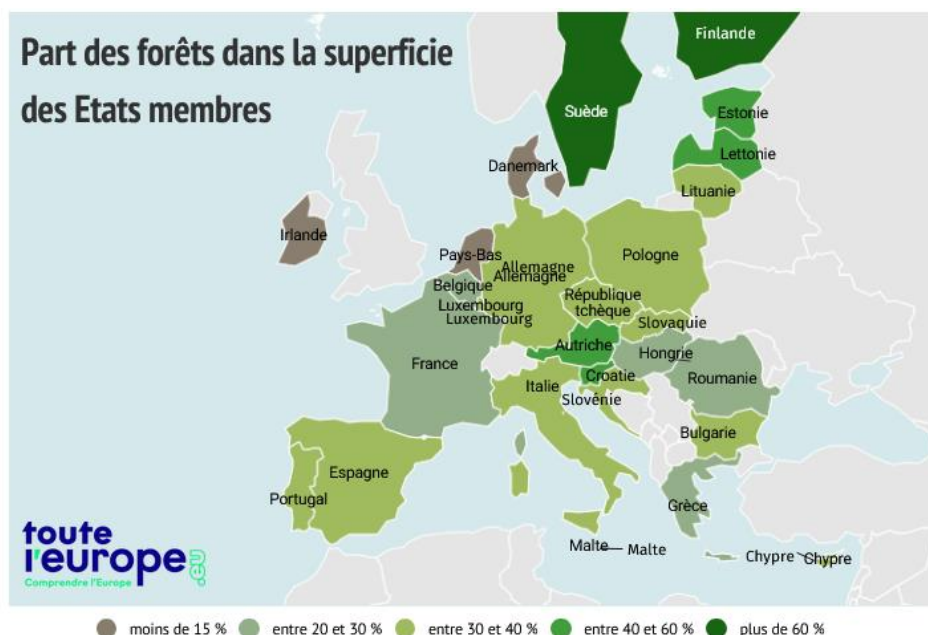


Figure 2 : Part des forêts dans la superficie des états membres de l'Union européenne en 2019 (Source : Parlement européen)

Sur la période allant de 1990 à 2020, la superficie des forêts a augmenté dans tous les pays de l'UE (à l'exception de la Suède, où on estime une légère diminution de 0.3 %, et du Portugal, où la superficie des forêts a diminué de 3 %). L'augmentation la plus importante a eu lieu en Irlande (69 %) et en Espagne (34 %). **En données absolues, on estime que les plus fortes augmentations de superficie forestière ont eu lieu en Espagne (4.7 millions d'hectares), en France (2.8 millions d'hectares) et en Italie (2.0 millions d'hectares).**

**La superficie occupée par les forêts (en excluant les autres surfaces boisées) représente environ 38 % du territoire de l'Union européenne en 2020. Cette surface est semblable à celle dédiée à l'agriculture (38 % en 2016). Ainsi, le territoire de l'UE représente environ 5 % des forêts du monde et sa superficie forestière augmente.**

## II.2 Qu'en est-il en France ?

La France est le 4<sup>ème</sup> pays le plus boisé d'Europe, comptant près de 17 millions d'hectares, couvrant ainsi plus d'un quart du territoire métropolitain. La France dispose d'un grand réservoir de biomasse combustible et d'un potentiel élevé de propagation des feux. Cette forte couverture forestière constitue en effet un élément ambivalent : elle représente une richesse écologique et économique majeure, mais elle implique également une disponibilité importante de combustibles végétaux, ce qui favorise le déclenchement et la propagation des incendies.

Sur le territoire national, le risque n'est pas uniforme ; il est fortement conditionné par des facteurs climatiques, géographiques et humains. Les régions méridionales, en particulier celles soumises à un climat méditerranéen, apparaissent généralement comme les plus exposées en raison de la combinaison de températures élevées, de périodes de sécheresse prolongées et de vents favorisant la propagation des flammes. Toutefois, certaines dynamiques récentes, telles que le changement climatique, contribuent à accentuer la fréquence et l'intensité des événements, en allongeant les saisons à risque et en asséchant davantage la végétation.

L'évolution territoriale complexifie la gestion du risque, car elle impose de concilier prévention, aménagement et protection civile. Les incendies ne constituent donc pas seulement un phénomène naturel, mais bien un enjeu multifactoriel où les comportements humains, l'organisation du territoire et les politiques publiques jouent un rôle déterminant.

Les infographies présentées ci-après illustrent la situation en France :

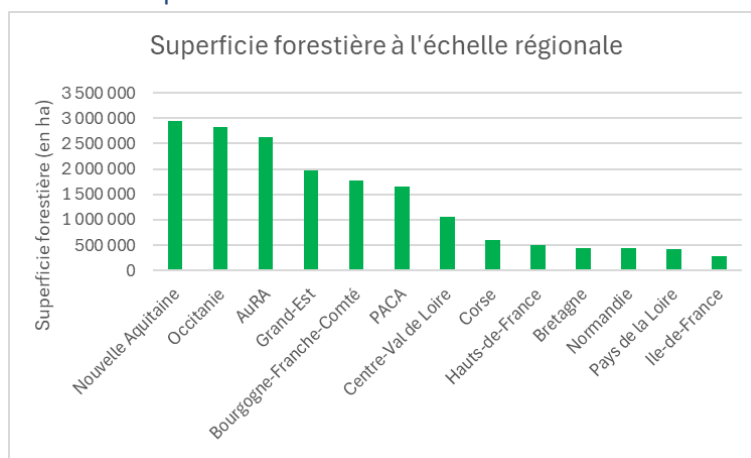


Figure 3 : Superficie forestière par région administrative en France métropolitaine (Source : Observatoire des forêts françaises - <https://observatoire.foret.gouv.fr/mon-territoire> )

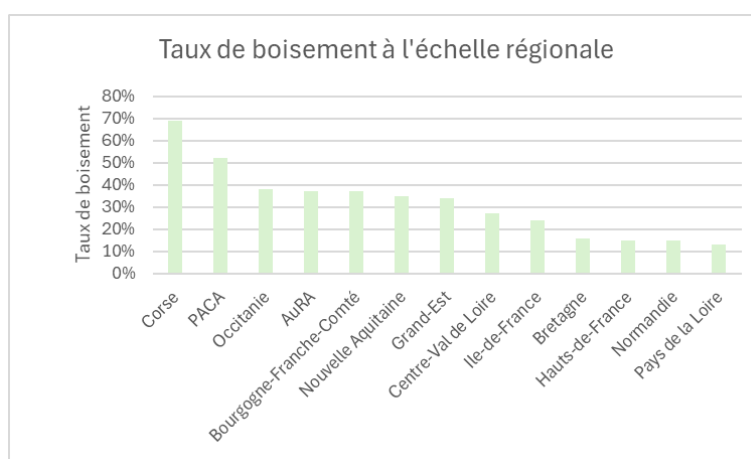


Figure 4 : Taux de boisement par région administrative en France métropolitaine (Source : Observatoire des forêts françaises - <https://observatoire.foret.gouv.fr/mon-territoire> )

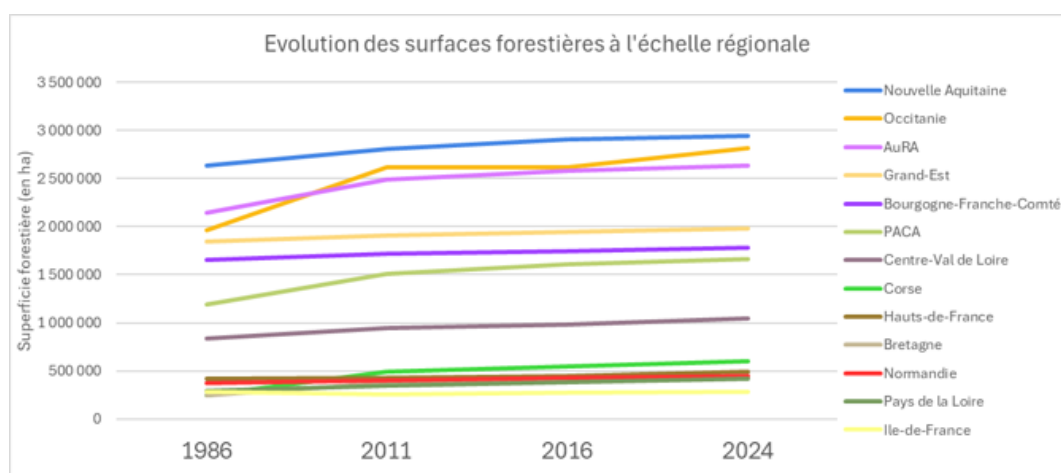


Figure 5 : Evolution des surfaces forestières par région administrative en France métropolitaine (Source : Observatoire des forêts françaises - <https://observatoire.foret.gouv.fr/mon-territoire> )

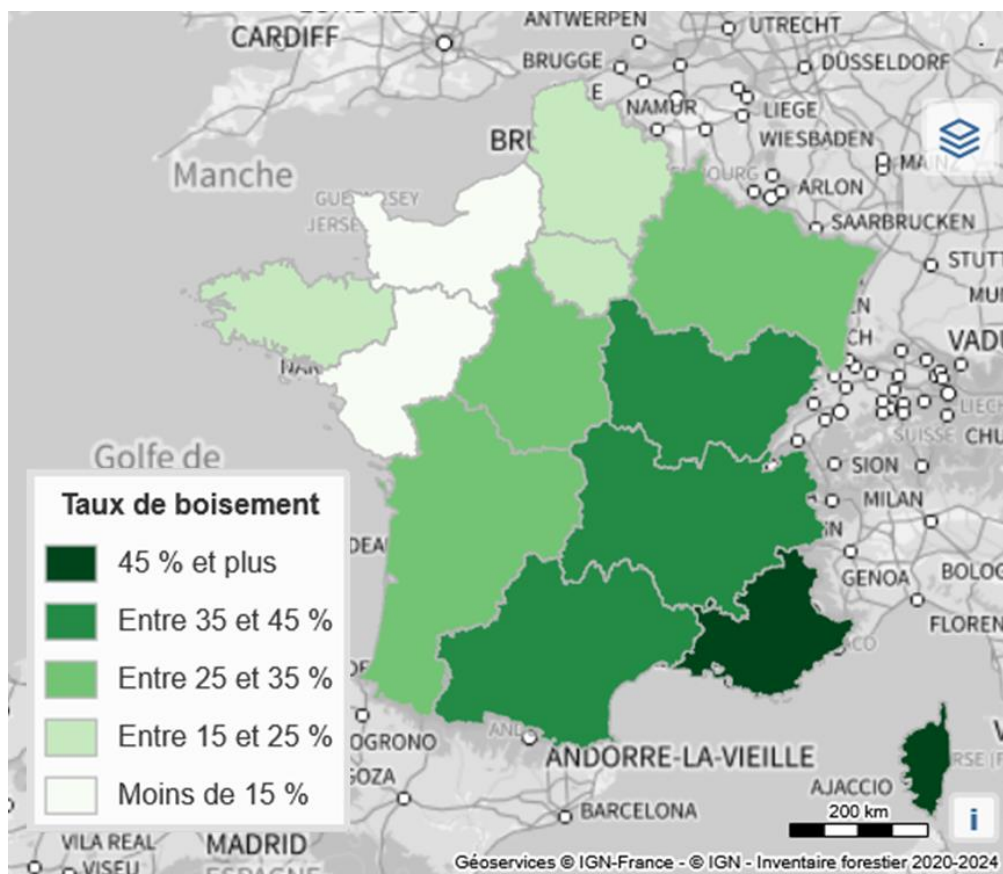


Figure 6 : Cartographie du taux de boisement par région administrative en France métropolitaine (Source : Observatoire des forêts françaises - <https://observatoire.foret.gouv.fr/mon-territoire> )

La France est le 4<sup>ème</sup> pays le plus boisé d'Europe, comptant près de **17 millions d'hectares**, couvrant ainsi plus d'un **quart du territoire métropolitain**.

Le risque incendie, loin d'être marginal, constitue un **enjeu croissant** qui nécessite une **approche intégrée, à la fois environnementale, territoriale et sociétale**.

### III EXTENSION DU RISQUE DE FEUX DE FORET

#### III.1 L'aléa incendie en augmentation

Chaque année, 300 à 400 millions d'hectares sont brûlés dans le monde. La France, 4<sup>ème</sup> pays européen le plus boisé, est très exposée au risque d'incendies (source : Ministère de la Transition Ecologique). Selon la Base de Données sur les Incendies de Forêts en France<sup>2</sup> (BDIFF), sur les 20 dernières années, ce sont Plus de 310 000 hectares de forêts qui sont partis en fumée en France, soit près de 1 % du territoire.

L'aléa incendie augmente sous l'effet de trois conditions alarmantes identifiées par l'Observatoire des Forêts Françaises (OFF) et le GIEC :

- **Le changement climatique** : hausse des températures favorisant l'évapotranspiration et asséchant les végétaux.

<sup>2</sup> <https://bdiff.agriculture.gouv.fr/incendies>

- **La croissance forestière** : la déprise agricole et le manque de gestion sylvicole entraînent une accumulation massive de biomasse combustible.
- **L'interface habitat-forêt** : l'urbanisation croissante dans les milieux boisés multiplie les sources d'ignition. 90 % des feux sont d'origine humaine et 80 % démarrent à moins de 50 mètres d'une habitation.

Parmi tous les indices utilisés dans le cadre des études Feu et Changement Climatique, **Météo-France s'appuie sur l'Indice Forêt Météorologique (IFM)** qui caractérise la tendance naturelle d'un feu de forêt à s'aggraver et à se propager sous l'influence des conditions météorologiques. Il est évalué à partir de paramètres météorologiques : températures, humidité de l'air, vitesse du vent et précipitations. Toutefois, cet indice ne tient pas compte de la présence effective d'une végétation sensible au feu. On voit nettement que le nombre de jours marqués par des conditions propices aux départs de feux de forêt a progressé entre les périodes 1961-1980 et 1989-2008 avec un bassin méditerranéen d'autant plus touché et des régions jusque-là « épargnées ».

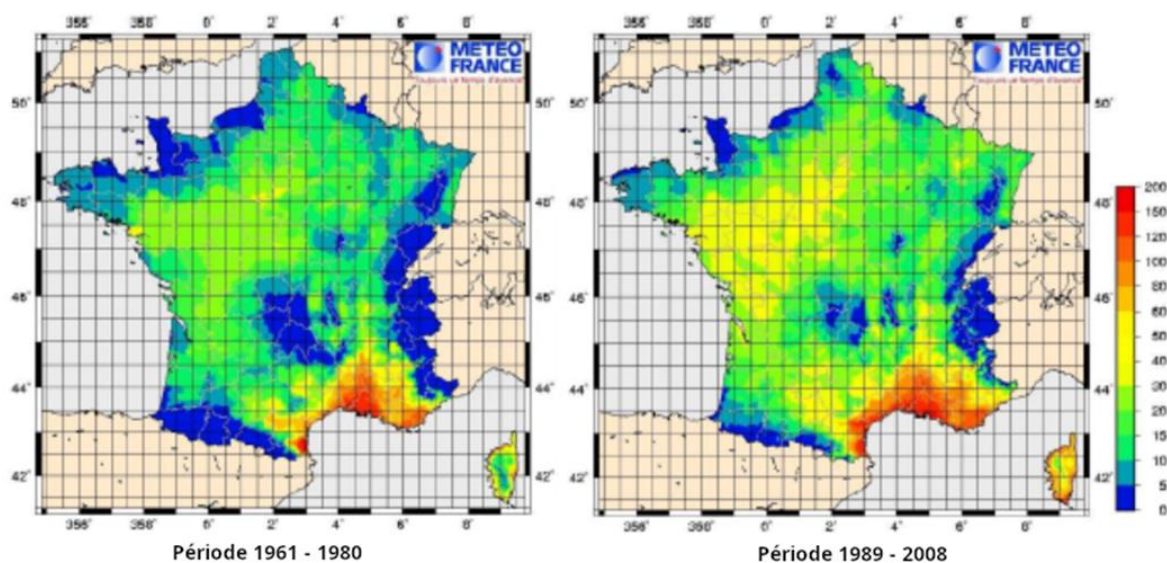


Figure 7 : Évolution du nombre de jours marqués par des conditions propices aux départs de feux de forêt (source : Observatoire des forêts françaises)

### III.2 Impacts de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité

Au-delà de leur fréquence accrue, c'est surtout leur intensité et leurs impacts qui interpellent. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), les incendies sont désormais **plus longs, plus intenses et touchent des milieux variés** tels que les forêts, les tourbières ou encore le pergélisol, avec des saisons des feux qui s'allongent dans de nombreuses régions du monde. Il est ainsi probable que ces incendies deviennent encore plus fréquents et plus sévères en raison du changement climatique et des modifications d'usage des terres.

Dans ce contexte, les feux de forêt constituent aujourd'hui un sujet d'inquiétude majeur, en lien avec les évolutions environnementales, climatiques et humaines. Les feux de forêt figurent parmi les trois questions environnementales émergentes mises en avant dans l'édition 2022 du rapport *Frontières*<sup>3</sup> du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), aux côtés de la pollution sonore urbaine et des perturbations des cycles saisonniers (phénologie).

<sup>3</sup> <https://www.unep.org/fr/resources/frontieres-2022-bruit-flammes-et-decalages>

## IV COMPOSITION CHIMIQUE DES FUMÉES ET QUALITÉ DE L'AIR

Les feux de forêt ont un impact sur la qualité de l'air, au niveau local et à l'échelle planétaire.

Ces incendies, qui se déroulent en atmosphère libre, émettent des fumées qui sont des produits issus de combustions incomplètes et de recombinaisons de résidus solides en suspension (Barboni 2006). Ces fumées contiennent un mélange complexe de **gaz**, de **COV** et **d'aérosols de différentes natures** (Dokas, Statheropoulos et Karma 2007). Ces polluants primaires subissent des transformations physicochimiques dans l'atmosphère pour donner naissance à des polluants secondaires. Les incendies de forêt libèrent des quantités importantes de gaz et de particules toxiques dans l'atmosphère dont des gaz à effet de serre. Ce mélange complexe comprend :

- **Des gaz**, parmi lesquels le **dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**, **l'eau (H<sub>2</sub>O)**, le **monoxyde de carbone (CO)**, **les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**, le **méthane (CH<sub>4</sub>)**, **l'ammoniac (NH<sub>3</sub>)**, etc. Leur quantité et leur composition dépendent des espèces végétales et du régime de combustion (ventilation, ratio entre les phases de combustion avec flamme (flaming) et sans flamme (glowing)) (ANSES 2012). Certains gaz sont émis seulement durant la phase de flamme et d'autres durant le glowing. Le CO<sub>2</sub> et le CO sont les composés les plus abondants émis par les feux de végétation. Ils représentent entre 90 et 95 % de la quantité totale de carbone émise dans les fumées (Andreae et Merlet 2001).  
**Des composés organiques volatiles (COV) et semi-volatils (SCOV)** peuvent également être mesurés en plus faible proportion, qui incluent des hydrocarbures aliphatiques comme le propane et le pentane, des hydrocarbures aromatiques comme le benzène et ses dérivés (toluène, etc.), des composés dérivés du phénols comme par exemple les crésols, des composés oxygénés comme les alcools, des aldéhydes (comme le formaldéhyde et l'acroléine qui sont les aldéhydes formés les plus toxiques) et cétones, des acides (comme les acides acétique et formique, etc.), des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), des furanes et des esters, etc. Parmi les COV identifiés, les composés de la famille du benzène sont toujours les plus abondants, suivis par les composés oxygénés et les hydrocarbures aliphatiques (Evtyugina, et al. 2014).
- **Des particules en suspension (PM)**. Dans les fumées issues de combustion de biomasse, elles représentent 5% du carbone émis (Reid, et al. 2005) ; toutefois elles présentent un intérêt majeur tant en termes d'impact sur la santé que sur l'environnement. Les matières particulaires aéroportées constituent un mélange complexe de substances organiques et inorganiques. Ces particules sont composées de carbone élémentaire (EC), de carbone organique (OC) et d'ions (McMeeking, et al. 2009). Le carbone élémentaire, également appelé black carbon (BC) ou suies, est un composé primaire produit par la combustion incomplète de combustibles carbonés.

Dans ses travaux relatifs aux effets sur la santé des feux de forêt en 2012, l'ANSES précise que **la composition des fumées est variable selon le type de végétaux, l'humidité, les conditions de combustion ou encore l'éloignement de la source.**

**Les fumées sont un mélange complexe de gaz et d'aérosols issus de combustions incomplètes pouvant altérer la qualité de l'air. On y trouve des quantités importantes de particules fines, notamment de la matière organique et du carbone suie. Mais les feux émettent aussi des espèces gazeuses, telles que le monoxyde de carbone ou des composés organiques volatils.**

#### IV.1 Composition des fumées en fonction du type de végétaux

Chaque type de feux de végétation différencié (ex : savanes et prairies, forêt tropicale, forêt extratropicale, ...) a une composition et une structure caractéristiques de combustible. Aussi, ils tendent à avoir des ratios caractéristiques entre combustion vive et combustion lente qui déterminent dans une large mesure leur profil de facteurs d'émission (Andreae et al., 2004). À noter que même au sein d'un type de feu donné, les profils d'émission d'un feu sont très variables.

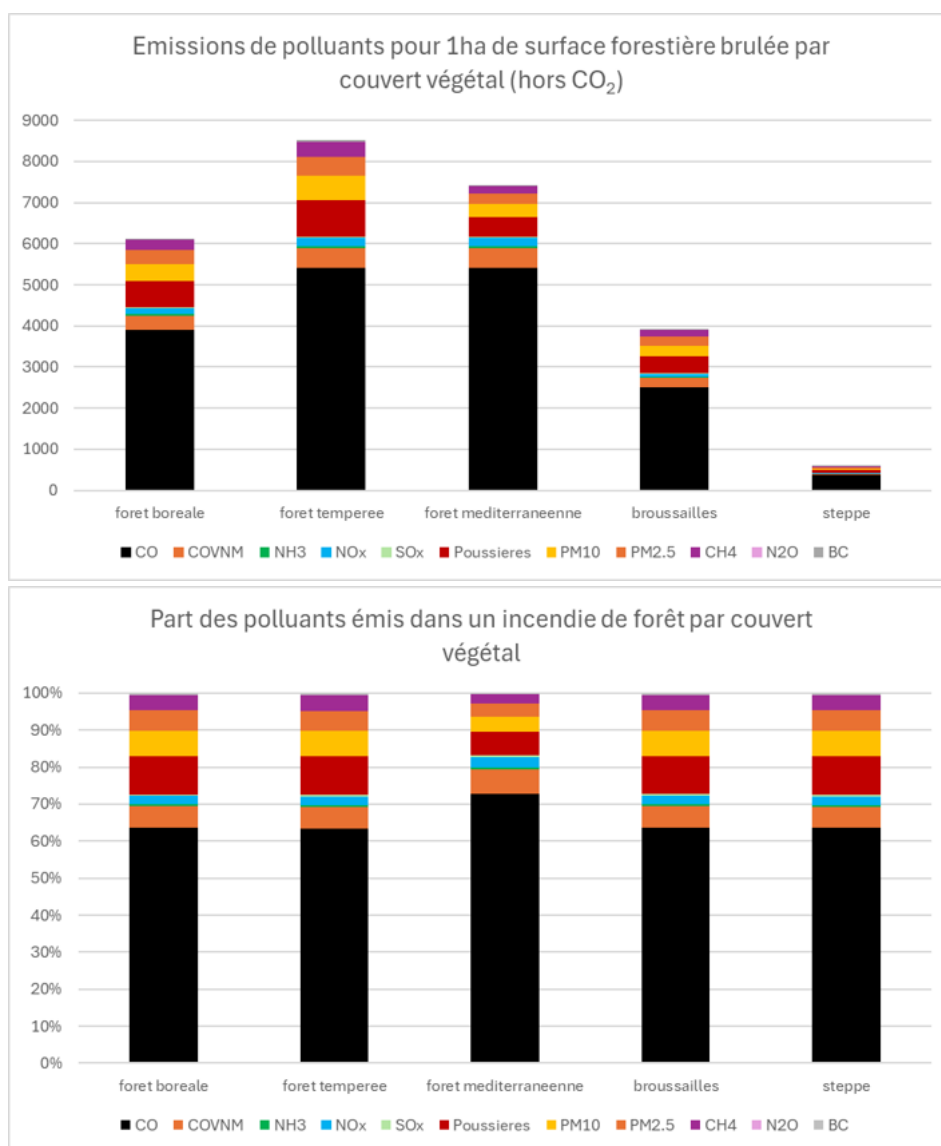


Figure 8 : Emissions de polluants pour 1 hectare de surface forestière brûlée par couvert végétal (source : guide technique EEA)

L'Agence Européenne de l'Environnement a diffusé un guide technique pour le calcul des émissions des polluants atmosphériques dans lequel des facteurs d'émission relatifs à l'ensemble des activités humaines mais également aux sources naturelles de polluants (volcans, feux de forêt et autres sources naturelles) sont précisés. Dans ce guide, avec l'approche Tiers 2, une distinction est faite entre les différents types de forêts et de sols.

## IV.2 Emissions de polluants en fonction des phases de combustion

Les processus de combustion de la biomasse ont été décrits en détail (Lobert et Warnatz, 1993 ; Yokelson et al., 1997). Brièvement, la combustion d'éléments pris individuellement est séquencée en plusieurs phases :

- l'ignition,
- la pyrolyse,
- la pyrolyse associée au feu flambant (combustion vive),
- la pyrolyse associée au feu incandescent/couvant (combustion lente),
- l'incandescence,
- l'extinction.

Chacune de ces phases correspond à des processus chimiques différents et donc à des émissions différentes (Andreae et al., 2004). La dégradation thermique commence par une étape de séchage/distillation durant laquelle l'eau et des composés volatils sont libérés, suivie de la pyrolyse durant laquelle le craquage thermique des molécules constituant le combustible se produit. Les polymères se disjoignent alors produisant des molécules de taille inférieure. Il en résulte la formation de résidus charbonneux (solides peu volatils fortement carbonisés), de goudrons (molécules de poids moléculaires intermédiaires), et de composés volatils sous la forme d'une fumée blanche inflammable. Quand les températures dans la couche de combustible excèdent environ 180°C, le processus devient exothermique et, à environ 530 °C, la combustion incandescente commence.

À ce stade également, un mélange complexe de goudrons et produits gazeux est libéré, qui dilué dans l'air forme un mélange inflammable. Lorsque ce mélange s'allume, la combustion vive intervient, convertissant le mélange complexe de substances émises par la pyrolyse en molécules simples, en particulier CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>. En fonction de l'interaction entre les cinétiques chimiques et les dynamiques physiques dans la flamme, des produits intermédiaires de la chimie radicalaire de la flamme, tels que CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, HAP et particules de suie sont également libérés durant cette phase.

Quand la majorité des composés volatils ont été libérés en proximité de la surface du combustible, la combustion vive cesse, laissant place à la phase de combustion lente. Cette phase est dominée par la réaction gaz-solide entre l'oxygène et le carbone dans la couche de résidus charbonneux à la surface du combustible. Ce processus intervenant à plus faibles températures émet des quantités importantes de CO, ainsi que des produits de la pyrolyse partiellement oxydés similaires à eux issus de la phase initiale de décomposition du solide. Ainsi, ce mode de combustion est responsable de la diversité des produits à l'émission.

**Le CO<sub>2</sub> ainsi que les NO<sub>x</sub> et d'autres composés présents dans de moindres quantités, tels que le chlorure d'hydrogène (HCl), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ou le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), sont majoritairement émis lors de la combustion avec flamme. Le CO, le CH<sub>4</sub> et le NH<sub>3</sub> sont des produits majoritairement issus de la combustion des résidus charbonneux. L'acide cyanhydrique (HCN), tout comme les acides organiques et les aldéhydes (qui font partie des COV), proviennent de combustions à basse température (pour des combustibles riches en azote dans le cas de HCN) (Guidotti 2017).**

### IV.3 Focus sur les polluants particulaires

**Les particules constituent un des polluants majoritairement émis par les feux de forêt.**

Quelques études ont été menées pour étudier la taille des particules liées à la combustion de la biomasse. Ces études portent rarement sur les feux de forêt en raison de la dangerosité des situations et du caractère imprévisible de ces incidents en relation avec la mise en place de matériel. Toutefois, les cendres formées lors de combustion de la biomasse peuvent être divisées en deux fractions principales : **les cendres volantes** (aérosols retrouvés dans les fumées) et **les cendres fixes**.

Selon Martinez, la granulométrie des cendres volantes peut varier de quelques nanomètres (nm) à environ 200 nm. Plus la surface des particules est grande, plus la formation de particules par nucléation est réduite et la croissance des particules par condensation est favorisée. Avec les processus d'agglomération, la collision des particules entraîne un accroissement des particules qui tendant vers une distribution granulométrique dans une place inférieure à 1  $\mu\text{m}$  (1000 nm).

**La taille et la composition des PM dépendent étroitement des conditions de combustion et du type de biomasse brûlé** (De Vos, et al. 2009). Une combustion peu efficace produit plus de PM<sub>2.5</sub> (72 % du nombre total de PM) qu'une combustion efficace (21 %) (Beer et Meyer 1999). Les conditions de combustion des feux de végétation engendrent généralement la formation de particules très fines (PM<sub>1</sub>), avec une prédominance pour des particules de taille comprise entre 0,15 et 0,4  $\mu\text{m}$  (Kleeman, Schauer et Cass 1999), (Hays, et al. 2002). Elles sont également favorables à la formation de particules ultrafines (PM<sub>0.1</sub>) (Reid, et al. 2005). Les particules fines (PM<sub>2.5</sub> et inférieures) représentent entre 80 et 100 % de la masse totale des PM (Ward 1997), (Reid, et al. 2005), (Vicente, Alves et Calvo, et al. 2013).

#### › Cas d'étude sur la station de Marseille Longchamp

La plupart des études suscitées portent sur des situations contrôlées, de combustion de la biomasse dans des installations. Néanmoins des mesures de terrain existent.

La station urbaine de Marseille / Longchamp mesure les particules ultrafines PUF depuis de nombreuses années. Lors de l'incendie de Rognac d'août 2016, la quantité totale de particules ultrafines a été exceptionnellement élevée le 10 août 2016 avec une valeur maximale de près de 75 000 particules par  $\text{cm}^3$ , alors que le maximum journalier observé en 2015 a été inférieur à 44 000 particules par  $\text{cm}^3$ . Rognac est à environ 15 km à vol d'oiseau au nord-est de Marseille-Longchamp.

Concernant leur taille, la granulométrie observée lors de l'épisode est différente de celle habituellement relevée sur le site.

**Elle est centrée sur les particules 100 – 200 nanomètres, caractéristiques de la combustion de la biomasse tandis qu'on observe habituellement, sur ce site urbain, une majorité de particules plus petites, de taille inférieure à 50 nm.**

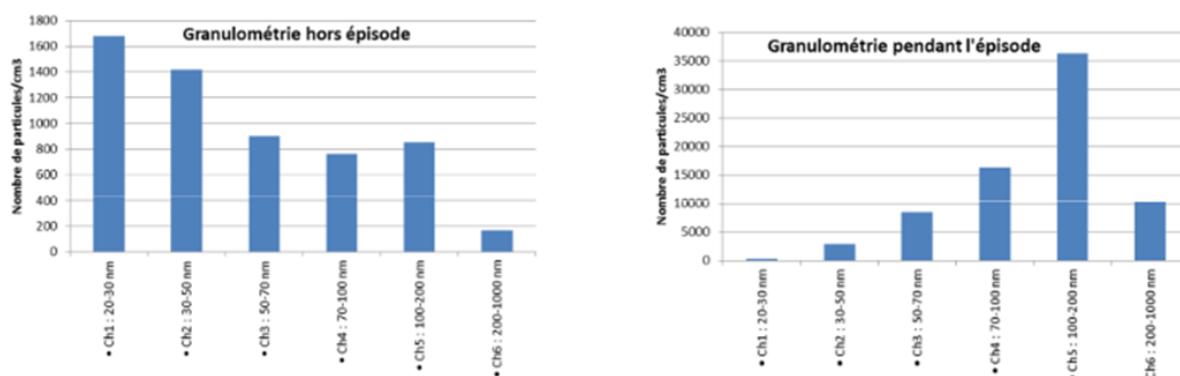


Figure 9 : Concentration en PUF à Marseille selon la granulométrie – Incendie du 10 août 2016 à Rognac (13)

#### IV.4 Focus sur la formation des suies

La formation des suies provenant de la combustion de biomasse a été peu étudiée comparativement à la formation de suies dans les flammes d'hydrocarbures (Smedley, Williams et Bartle 1992), (Richter et Howard 2000).

Toutefois, elle peut être expliquée par la succession de quatre phénomènes clés : la nucléation, la croissance de surface, la coagulation et l'agglomération (Bockhorn 1994). **Bien que les processus de formation des suies restent assez mal compris** (notamment en ce qui concerne la nucléation), il est **relativement admis que les molécules à l'origine de la formation des premiers noyaux sont des HAP**.

La composition chimique du combustible dépend de son origine, naturelle ou anthropique :

- **Combustibles d'origine naturelle** : les feux de végétation incluent la combustion de végétaux et de leur écosystème direct (sol et litière, composition du sol/de la roche mère en métaux lourds, mycorhizes, etc.). Différents types de bois et autres végétaux sont constitués de quantités variables de cellulose, lignine, tannins, et autres polyphénols, huiles, graisses, résines, cires et amidons et sels inorganiques qui produisent différentes substances lorsqu'ils sont brûlés.
- **Combustibles d'origine anthropique** : lorsque le feu de végétation atteint des zones habitées, utilisées ou contaminées par l'humain, d'autres types de matières peuvent prendre feu, qu'il s'agisse de matières composant les bâtiments, les véhicules, les sites industriels ou les terres cultivées. Les substances émises par la combustion de ces matières, qui peuvent par exemple contenir de l'amiante, des métaux lourds, des retardateurs de flamme, des plastiques ou des pesticides, sont diverses et potentiellement toxiques.

Outre les substances dérivées de la combustion de matières, les feux de végétation entraînent également l'émission dans l'air de substances contenues dans les cendres, les poussières de sol et les fragments de végétaux et d'autres matières qui sont aéroportés par les flux d'air induits par les feux.

Les panaches de fumée des feux de forêt sont constitués d'un ensemble d'espèces chimiques qui peuvent altérer la qualité de l'air. On y trouve des quantités importantes de particules fines, notamment de la matière organique et du carbone suie. Mais les feux émettent aussi des espèces gazeuses, telles que le monoxyde de carbone ou des composés organiques volatils.

## V DISPERSION ATMOSPHERIQUE ET IMPACTS A LONGUE DISTANCE

Les panaches de fumée (mélange de gaz, particules solides et gouttelettes émises par la combustion) engendrés par les incendies **peuvent se déplacer sur plusieurs centaines de kilomètres** et ainsi contaminer différents milieux (air, eau, sol) et affecter des populations éloignées géographiquement. À l'échelle mondiale, le brûlage de biomasse est un contributeur majeur aux émissions de gaz toxiques et de particules en suspension, entraînant des niveaux élevés de pollution atmosphérique

À mesure que les fumées se déplacent sous les vents, elles se diluent et souvent s'étendent, atteignant finalement le niveau du sol. Les particules fines ne sont pas facilement déposées par la gravité et peuvent de fait être transportées sur de longues distances. Le transport des particules de combustion de biomasse sur des centaines de kilomètres, voire des milliers, a été largement documenté (Anses 2012; NASA 2020). En effet, la zone d'exposition potentielle est très variable en fonction des substances, compte tenu de leurs différentes propriétés qui influencent leur transport, leur répartition entre les phases gazeuse et particulaire, leur transformation et leur dégradation dans l'atmosphère. La durée de vie atmosphérique des substances chimiques peut être estimée en se basant sur les principales voies de dégradation, c'est-à-dire la photolyse, la réaction avec le radical hydroxyle et la réaction en phase gazeuse avec l'ozone.

### V.1 Les particules fines

Concernant les particules, il existe une grande diversité de tailles et de compositions. Au sein de la fraction inhalable, leur diamètre aérodynamique médian est inférieur à 10 µm (PM10) pour les plus grosses, et inférieur à 0.1 µm pour les particules ultrafines. Les particules peuvent être transportées facilement sur de longues distances pouvant atteindre plusieurs centaines, voire plusieurs milliers, de kilomètres. La majorité des particules émises par les feux de biomasse se retrouve dans la fraction fine des **particules** (PM2.5) qui échappe plus efficacement au système de défense mucociliaire et se dépose plus préférentiellement au niveau des voies respiratoires périphériques (Naeher et al. 2007).

### V.2 L'ozone

**L'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) est un polluant secondaire qui n'est pas directement émis par les incendies de forêt.** Il se forme dans l'atmosphère à partir des oxydes d'azote (NOx) et des composés organiques volatils (COV) émis par les feux, sous l'effet du rayonnement solaire. Les panaches de fumée peuvent ainsi **accroître les concentrations d'ozone** non seulement à proximité des incendies, mais aussi dans des régions situées à plusieurs centaines de kilomètres. Cette formation dépend toutefois de conditions météorologiques et chimiques complexes : si les émissions de NOx et de COV favorisent la production d'ozone, **une forte concentration d'aérosols dans les fumées peut temporairement la limiter en réduisant le rayonnement solaire.**

Une étude américaine portant sur la période 2006-2023 (Li et al, 2024) montre que les fumées d'incendies peuvent augmenter les concentrations quotidiennes d'ozone au niveau du sol jusqu'à 6.9 ppb, soit environ 16 % par rapport aux journées sans fumée. Elle met également en évidence que la répartition géographique de cet ozone diffère de celle des particules fines, conduisant à des profils d'exposition différents selon les régions.

Avec l'intensification attendue des incendies de forêt sous l'effet du changement climatique, la contribution des fumées à la formation d'ozone devrait augmenter, faisant de ce polluant un enjeu croissant pour la qualité de l'air et la santé publique. L'évaluation des impacts des incendies ne peut donc pas se limiter aux particules fines et doit également prendre en compte l'ozone.

### V.3 Impacts à longue distance

« Sous l'effet des flammes, l'air chaud s'élève, fait se condenser la vapeur d'eau contenue dans l'air jusqu'à former des nuages similaires aux cumulonimbus orageux, à très haute altitude. Des nuages qui contiennent énormément d'énergie, donc de chaleur. Une colonne convective se met alors en place au-dessus de l'incendie, aspirant l'air venu du sol. » **Jean-Baptiste Filippi**, chercheur au CNRS et coordinateur du programme Fire Caster pour la prévision des incendies de forêt.

Un incendie, notamment les plus importants, génère son propre vent, crée sa propre dynamique et sa propre trajectoire. Ce phénomène explique que des panaches d'incendies s'élèvent en altitude et voyagent sur de grandes distances, pouvant avoir des impacts à l'échelle hémisphérique.

Les incendies qui ont lieu au Canada au cours du mois de juin 2025 ont entraîné le passage sur le territoire français d'un nuage de particules dues à la combustion. Le ciel de la région s'est alors trouvé couvert d'un voile laiteux.



*Figure 10 : Illustrations de l'impact des fumées des incendies de 2025 dans le sud de la France*

En région Sud, l'influence du nuage de particules issu des incendies canadiens a commencé à être observée sur les stations de mesure les plus en altitude (autour de 1 000 m et au-delà : les stations de Plan d'Aups Sainte-Baume et de Briançon). Plus au sud et à plus basse altitude dans la région, les particules canadiennes ont provoqué l'apparition d'un voile laiteux en altitude, mais ont été peu perceptibles sur les mesures au niveau du sol.

## VI CONSEQUENCES

### VI.1 Impacts sanitaires

Sur le plan de la santé, la fumée émise contient des particules fines et des gaz toxiques (comme le monoxyde de carbone), responsables d'irritations, de symptômes respiratoires et d'une diminution de la fonction pulmonaire.

Selon l'ANSES<sup>4</sup>, l'inhalation à court terme de fumées de bois altère les mécanismes de défense immunitaires des poumons, importants dans la résistance aux infections pulmonaires. Pour le même type d'exposition, plusieurs études rapportent l'induction au niveau pulmonaire d'un stress oxydant, d'une réponse inflammatoire, d'une altération modérée de la fonction respiratoire et d'une aggravation de l'hyperréactivité bronchique non spécifique.

Les effets sanitaires sont essentiellement des effets à court-terme, du fait de la durée limitée des feux de forêts. D'un point de vue épidémiologique, les effets constatés sont :

- **Symptômes respiratoires**, admissions hospitalières, visites en service d'urgence et diminution de la fonction respiratoire. Les populations atteintes de pathologies respiratoires chroniques, dont les asthmatiques, constituent une sous-population particulièrement sensible. Il est possible que les effets respiratoires soient supérieurs à ceux observés avec les PM « urbaines », mais les données sont encore insuffisantes pour conclure.
- **Effets cardiovasculaires** (effet suspecté mais pas encore confirmé : risque émergent). Les populations atteintes de pathologies cardiovasculaires pourraient constituer une sous-population sensible. Les effets cardiovasculaires pourraient être inférieurs à ceux constatés avec des PM « urbaines », mais les données sont encore insuffisantes pour en tirer des conclusions définitives.
- Les données sont aujourd'hui insuffisantes pour déterminer un éventuel effet sur les cancers.

L'ANSES donne également des informations précises sur les effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre<sup>5</sup>. « Les polluants émis par les incendies peuvent impacter la santé des professionnels de lutte contre le feu, avec une exposition importante aux particules fines et au CO, et dans une moindre mesure à d'autres irritants respiratoires comme le formaldéhyde et l'acroléine ». Cette population des professionnels du feu intervient au plus près de ces événements.

Lors de l'incendie de 2022 en Gironde, l'ARS a communiqué des recommandations à l'ensemble de la population qui selon la direction des vents, pourrait être impactée par les fumées<sup>6</sup>. « L'impact des fumées est assimilable à celui d'un pic de pollution intense. ».

Les populations situées sous les panaches se trouvent ainsi exposées à la pollution émise par les incendies. Les niveaux de particules et autres polluants augmentent, et ce jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres du sinistre, voire plus dans les cas des feux très importants. De plus, les nuisances olfactives en proximité des zones incendiées peuvent durer plusieurs semaines.

Lorsque les feux sont maîtrisés et éteints, les phénomènes de pollution ne sont pas pour autant terminés. Le vent peut remettre en suspension les particules déposées au sol. Ainsi, les niveaux en particules fines peuvent dépasser les seuils réglementaires quelques jours après l'incendie.

<sup>4</sup> Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre, ANSES, 2012 : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0183Ra.pdf>

<sup>5</sup> Feux de forêt : quels effets sur notre santé ?, ANSES, 2012 : <https://www.anses.fr/fr/content/feux-de-foret-effets-sur-sante>

<sup>6</sup> ARS : <https://www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/communiqu-de-presse-fumees-generees-par-les-incendies-en-cours-en-gironde-et-dans-les-landes>

Ces effets peuvent entraîner des hospitalisations, notamment chez les personnes fragiles comme les asthmatiques ou les malades cardiovasculaires. Les particules les plus fines peuvent pénétrer dans le sang et affecter l'ensemble de l'organisme.

À plus long terme, certaines études suggèrent aussi des effets cardiovasculaires et une augmentation de la mortalité lors d'épisodes majeurs.

Les odeurs persistantes de fumée, parfois sur de longues distances, participent également à une gêne importante pour les populations exposées.

## **VI.2 Conséquences environnementales**

Les impacts environnementaux sont tout aussi importants : destruction de la faune et de la flore, dégradation des sols, modification des paysages et pollution de l'eau par les cendres. Ces dernières peuvent contaminer les sols et les végétaux, perturbant ainsi la chaîne alimentaire et les ressources en eau.

Les incendies contribuent également aux émissions de gaz à effet de serre et modifient durablement les paysages et les équilibres locaux.

## **VI.3 Conséquences sociales et économiques**

Les conséquences sociales et économiques ne sont pas négligeables : destructions de bâtiments, pertes d'activités, atteinte au tourisme, mais aussi stress et troubles psychologiques pour les populations touchées.

Enfin, les incendies peuvent aussi aggraver d'autres risques naturels comme l'érosion ou les inondations.

**Même si la part de la pollution atmosphérique issue des feux de forêt reste minoritaire, elle serait substantiellement toxique du fait de sa composition (Aguilera et al. 2021 ; ENBEL 2024). Cette source de pollution atmosphérique est associée à des excès de risque de mortalité et de morbidité cardiorespiratoires (Aguilera et al. 2021 ; Chen et al. 2021).**

**Elle contribuerait à plus de 13 % de la surmortalité totale en Europe attribuable à la pollution par les particules fines (PM2.5) selon des résultats du projet EXHAUSTION rapportés par l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (ENBEL 2024).**

**D'après de récents résultats de ce projet, il a été estimé que la surmortalité attribuable à la pollution mesurée par les PM2,5 avait diminué de plus de 50 % en Europe entre 1990 et 2019, tandis que la surmortalité attribuable à la pollution mesurée par les PM2,5 des incendies de végétation avait augmenté dans le même temps de plus de 100 % (Chowdhury et al. 2024).**

## VII QUELLES EVOLUTIONS POUR LES ANNEES A VENIR ?

### VII.1 Le risque météorologique de feux de forêt accru avec le changement climatique

Plusieurs facteurs expliquent la hausse du risque météo de feux de forêt par le biais du changement climatique :

- **Des températures plus élevées** favorisent l'évapotranspiration des plantes. La végétation devient plus sèche et donc plus sensible au développement des incendies ;
- **Baisse de la pluviométrie** sur certaines régions durant les saisons propices aux incendies ;
- **Des hivers plus doux** qui favorisent les attaques de parasites (généralement détruits ou affaiblis par les gelées) qui entraînent des dépérissements importants de certaines forêts. Une fois morts, ces végétaux deviennent particulièrement vulnérables et constituent un stock de combustible très important pour les incendies.

Parmi tous les indices utilisés dans le cadre des études Feu et Changement Climatique, Météo-France s'appuie sur l'Indice Forêt Météorologique (IFM) qui caractérise la tendance naturelle d'un feu de forêt à s'aggraver et à se propager sous l'influence des conditions météorologiques. Il est évalué à partir de paramètres météorologiques : température, humidité de l'air, vitesse du vent et précipitations, mais ne tient pas compte de la présence effective d'une végétation sensible au feu, ni de « l'état de santé » du sol.

### VII.2 Le changement climatique entraîne une aggravation du risque de feux de forêt et un allongement de la saison des feux

Les projections climatiques indiquent que l'Hexagone pourrait connaître un réchauffement de +2,7 °C d'ici à 2050 et jusqu'à +4 °C en 2100 par rapport à 1900.

- **Le risque de feu se généralise à l'ensemble du pays** et concerne des régions peu touchées jusqu'à présent. Dans une France à + 4°C, certaines régions de la moitié nord (régions de la Loire au Bassin parisien) connaissent un risque de feu élevé selon des fréquences rencontrées à ce jour sur l'arrière-pays méditerranéen.
- **Les régions méditerranéennes sont particulièrement touchées** avec une multiplication par 2 des jours de dangers très élevés, passant de 40 actuellement pour dépasser les 80 jours en moyenne par an.
- **La saison de risque élevé à modéré des feux s'allonge**, avec un démarrage plus précoce et une fin plus tardive en automne. Dans une France à + 4 °C, dans certaines régions, la saison complète des risques de feux pourrait durer 1 à 2 mois supplémentaires.

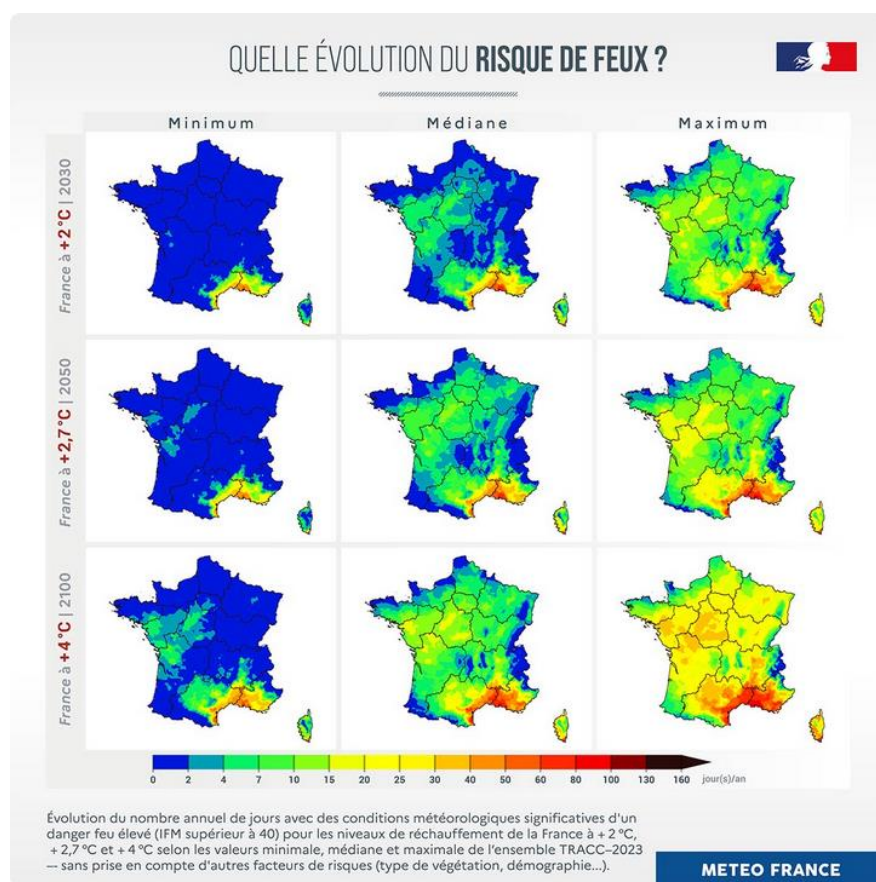


Figure 11 : Evolution du nombre annuel de jours avec des conditions météorologiques significatives d'un danger feu élevé en France métropolitaine (source : Météo France)

Les territoires concernés par le risque d'incendie de végétation ne cessent de croître et s'étendent progressivement dans la moitié Nord du territoire métropolitain. Cette extension du territoire concerné par le risque d'incendie de végétation confirme les prévisions passées des climatologues et experts, rapportées entre autres par le ministère chargé de l'écologie (MEDDTL 2011) et l'Anses (Anses 2012).

En effet, à l'augmentation de la biomasse forestière s'adjoint une détérioration de l'état de santé des forêts (Sénat 2022; INRAE 2022). L'investissement insuffisant dans l'entretien des forêts privées, le phénomène de déprise agricole, la pullulation de parasites (insectes et champignons) favorisée par les hivers plus chauds, ainsi que les sécheresses répétées facilitent le développement de combustibles pour les incendies.

L'augmentation globale des températures favorise l'évapotranspiration des végétaux, qui, en s'asséchant, deviennent plus sensibles au risque d'incendie. La diminution de la fréquence des précipitations est un autre mécanisme pouvant favoriser la sécheresse et donc le risque d'incendie (Polade et al. 2017).

De surcroît, l'étalement urbain et l'urbanisation croissante en milieu arboré (habitats légers permanents ou de loisirs) augmentent les interfaces avec la forêt. Non seulement, les populations sont davantage exposées au risque de feux de végétation, mais les risques de départ de feux sont accrus. Effectivement, l'unique cause naturelle étant la foudre, environ 90 % des feux de végétation sont d'origine humaine (activité économique, quotidienne ou acte de malveillance), et environ 80 % des départs de feux ont lieu dans les 50 mètres d'une habitation (OFF 2023; Géorisques).

Contrairement à l'année 2003, qui se distingue également par une surface de végétation incendiée exceptionnellement élevée, la généralisation des feux à l'ensemble du territoire national est inédite, avec des incendies de grande ampleur notamment en Bretagne, dans les Alpes du nord ou dans le Jura.

Les diverses projections à l'horizon 2050 ou fin du XXI<sup>e</sup> siècle prévoient une intensification du phénomène déjà existant (Météo-France 2023 ; JRC 2017 ; Gualdi et al. 2022). En région méditerranéenne française, les surfaces brûlées pourraient augmenter de 80 % à l'horizon 2050, couplées à une extension géographique des territoires exposés au risque de feux de forêt vers le Nord-Ouest de la France. Ainsi, près de 50 % des landes et des forêts métropolitaines pourraient être concernés par un risque incendie élevé (Sénat 2022).

### VII.3 Les méga feux

Le terme de mégafeu (megafire en anglais) est apparu en 2013 dans un rapport écrit par Jerry Williams, responsable du service américain des forêts. En France, il faudra attendre 2019 pour voir ce terme vulgarisé par la philosophe Joëlle Zask dans son ouvrage *Quand la forêt brûle*.

Il n'existe cependant pas de définition scientifique bien établie à ce jour. Néanmoins, les chercheurs s'accordent à dire que la principale différence entre un "feu de forêt régulier" et un "mégafeu" réside dans les caractéristiques propres des feux :

- **vitesse de propagation** supérieure à 50 m/min ; (Cela dépasse toute capacité humaine à contenir le feu, de projeter des personnes ou des véhicules. Cette vitesse correspond à une vitesse footing d'un humain)
- vaste zone concernée ;
- comportement imprévisible et indomptable,
- **températures très élevées** empêchant les soldats du feu de maîtriser les brasiers
- intensité de propagation ;
- dégâts exceptionnels.

**Les mégafeux sont donc beaucoup plus grands et plus difficiles à contenir en raison de leur vitesse de propagation rapide et de leur capacité à générer leur propre climat, y compris des vents violents et des orages de feu.**

Les mégafeux et le réchauffement climatique constituent des phénomènes qui vont de pair. En effet, le déclenchement de ces incendies hors norme dépend bien souvent de conditions météorologiques extrêmes. Des régions situées à des latitudes plus septentrionales et jusque-là épargnées comme l'Alaska ou la Sibérie sont à présent touchées.

Les mégafeux sont favorisés par de fortes chaleurs associées à des sécheresses intenses de plus en plus fréquentes. Lorsque les températures sont élevées et l'humidité faible ; le sol et la végétation s'assèchent et libèrent des vapeurs inflammables.

L'absence de précipitations constitue donc un facteur aggravant. Ces phénomènes météorologiques ont augmenté d'environ 20 % depuis les années 1970 et la tendance est encore amenée à se dégrader. En Californie, sur les 10 incendies les plus extrêmes recensés depuis 1932 par Cal Fire, une agence publique de lutte contre le feu, 6 se sont déclenchés après août 2020.

En Sibérie, les périodes de canicules se succèdent depuis 2019 et les mégafeux ravagent les forêts. En France, de la Gironde à la Bretagne, des incendies hors normes ont détruit des milliers d'hectares.

durant l'été 2022. Ils sont concomitants de trois vagues de chaleur et d'une vague de sécheresse historique.

#### VII.4 1 mois supplémentaire de sol sec en 2050

Dans une France réchauffée de +2,7 °C (horizon 2050), les projections climatiques indiquent une diminution des cumuls de pluies en été de l'ordre de 10 % par rapport à ce que l'on connaît aujourd'hui. Les périodes de sécheresse des sols deviendront plus longues et plus sévères, avec environ 24 jours supplémentaires de sécheresse en moyenne sur l'Hexagone et la Corse, et des épisodes extrêmes pouvant durer 4 à 5 mois dans la moitié Nord et jusqu'à 7 mois sur les régions méditerranéennes.

Dans une France à +4 °C (horizon 2100), l'assèchement des sols s'intensifiera dans toutes les régions, avec 39 jours supplémentaires de sécheresse en moyenne, et plus particulièrement sur le littoral méditerranéen avec jusqu'à 8 mois de sol sec par an. **Les sécheresses intenses, comme celles de 2022, deviendront fréquentes en été et en automne, et pourront même s'étaler sur plusieurs années consécutives** ( <https://meteofrance.com/le-changement-climatique/quel-climat-futur/comment-le-rechauffement-climatique-accentue-les> ).

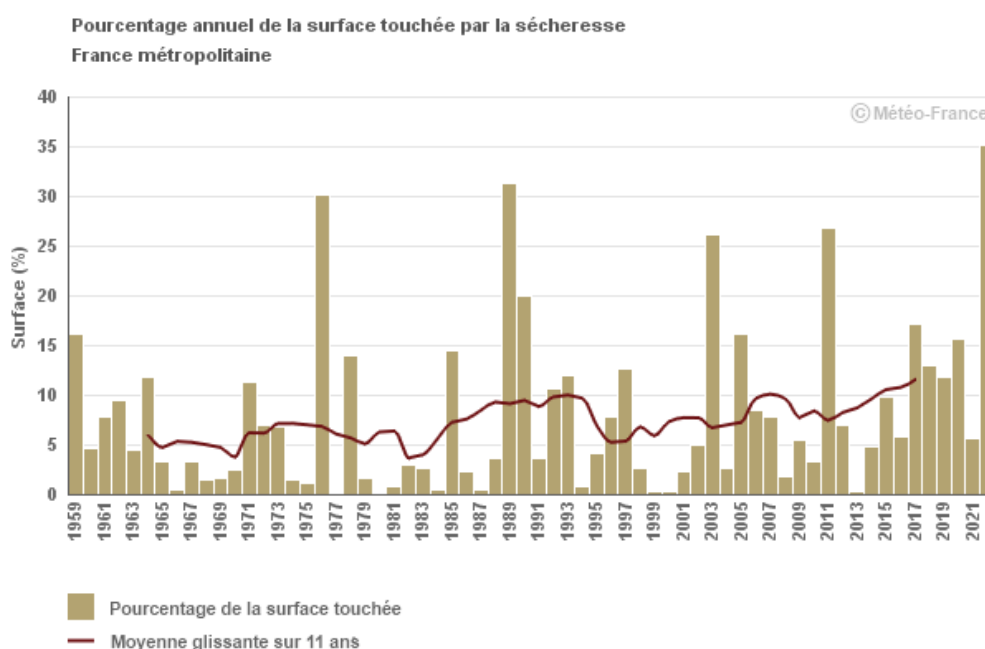


Figure 12 : Pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse en France métropolitaine (source : <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/dossiers-thematiques/impacts/secheresse>)

En France, les sécheresses du sol sont plus fréquentes et plus intenses ces dernières années, avec un pic atteint en 2022 avec 35% de la surface touchée.

## VIII CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les feux de forêt constituent un enjeu majeur à l'interface des problématiques climatiques, environnementales, sanitaires et sociétales. Si les incendies ont toujours fait partie de la dynamique naturelle de certains écosystèmes, leur fréquence, leur intensité et leur extension géographique évoluent aujourd'hui sous l'effet combiné du changement climatique, de l'augmentation de la biomasse forestière et de la pression humaine sur les territoires.

Au-delà des destructions directes qu'ils provoquent, les feux de forêt représentent une source croissante de pollution atmosphérique. Les émissions massives de particules fines, de composés organiques volatils, de gaz toxiques et de précurseurs de l'ozone contribuent à une dégradation parfois importante de la qualité de l'air, localement mais également à grande distance. Les impacts sanitaires associés, notamment respiratoires et cardiovasculaires, confirment la nécessité de considérer ces événements comme un véritable enjeu de santé publique.

Les projections climatiques suggèrent que cette problématique va continuer à s'intensifier au cours des prochaines décennies, avec une augmentation du nombre de jours à risque, une extension des zones exposées et une probabilité accrue d'événements extrêmes de type mégafeux. Dans ce contexte, le renforcement des dispositifs de surveillance, de prévision et d'information, ainsi que l'intégration des enjeux de qualité de l'air dans les stratégies de gestion des incendies, apparaissent essentiels.

Face à ce défi, une approche intégrée associant prévention, gestion forestière, adaptation au changement climatique, protection des populations et amélioration des connaissances scientifiques sera indispensable pour limiter les impacts futurs des feux de forêt sur la qualité de l'air et la santé des populations.

L'évolution attendue du risque incendie en France et en Europe conduit à envisager les feux de forêt non plus comme des événements exceptionnels, mais comme une composante durable des enjeux de qualité de l'air et de santé environnementale. Dans ce contexte, plusieurs axes de développement méritent d'être renforcés.

- En premier lieu, l'amélioration de la caractérisation des panaches de fumée apparaît essentielle. Les connaissances sur la composition chimique des fumées, l'évolution des polluants au cours de leur transport atmosphérique et la formation de polluants secondaires, notamment l'ozone, doivent encore être approfondies afin de mieux évaluer les impacts réels sur les populations exposées.
- Par ailleurs, le développement d'outils opérationnels associant surveillance, modélisation atmosphérique, prévision météorologique et données satellitaires constitue un levier majeur pour anticiper les épisodes de pollution liés aux incendies. Ces dispositifs permettraient d'améliorer l'information des autorités, des services de secours et du public, tout en facilitant la mise en œuvre de mesures adaptées de protection sanitaire.
- Les travaux futurs pourraient également porter sur la quantification de la contribution des feux de forêt aux niveaux régionaux de pollution atmosphérique, notamment dans les territoires méditerranéens où les incendies sont appelés à devenir plus fréquents et plus intenses. La prise en compte de cette source de pollution dans les inventaires d'émissions, les stratégies de qualité de l'air et les politiques d'adaptation au changement climatique constitue désormais un enjeu majeur.

- Enfin, face à l'émergence des mégafeux et à l'extension géographique du risque vers des territoires historiquement peu exposés, le renforcement des synergies entre politiques forestières, climatiques, sanitaires et de surveillance de la qualité de l'air apparaît indispensable. Cette approche intégrée permettra de mieux anticiper les conséquences futures des incendies et de renforcer la résilience des territoires et des populations face à un phénomène appelé à s'intensifier au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

**Les feux de forêt constituent désormais un enjeu majeur de qualité de l'air. Leur prise en compte dans les dispositifs de surveillance, d'évaluation des impacts sanitaires et d'adaptation au changement climatique représentera l'un des défis majeurs des prochaines décennies pour les acteurs de l'environnement, de la santé publique et de l'aménagement du territoire.**

## ANNEXE 1 – BIBLIOGRAPHIE

**Aguilera, R., et al.** (2021). Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: Observational evidence from Southern California. *Nature Communications*, 12, 1493. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21708-0>

**Andreae, M. O.** (2004). Assessment of global emissions from vegetation fires. *International Forest Fire News*, 31, 112-121.

**Andreae, M. O., & Merlet, P.** (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966.  
<https://doi.org/10.1029/2000GB001382>

**Anses.** (2012). Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre : état des connaissances relatif aux incendies de végétation, aux brûlages agricoles et aux brûlages des déchets verts de jardin. Avis de l'Anses – Rapport d'expertise (208 p.).  
<https://www.anses.fr/system/files/AIR2010sa0183Ra.pdf>

**Anses.** (2024). Barul, C., Benmarhnia, T., Lembeye, C., Lequy-Flahault, E., Steve, J.-M., et al. Note d'appui scientifique et technique relative à l'état des lieux des consignes en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations et à l'établissement d'une liste socle de substances et méthodes de mesure pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur (Saisine n° 2023-AST-0171, 92 p.). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2023AST0171.pdf>

**Barboni, T.** (2006). Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes et de risques d'incendie (Thèse de doctorat). Université de Corse.

**Beer, T., & Meyer, M.** (1999). The impact on the environment – The atmosphere. In *Proceedings of the 1999 Seminar Fire! The Australian Experience*. Adelaide.

**Bockhorn, H.** (1994). *Soot formation in combustion* (Vol. 59). Springer-Verlag.

**Camia, A., Libertà, G., & San-Miguel-Ayanz, J.** (2017). Modeling the impacts of climate change on forest fire danger in Europe: Sectorial results of the PESETA II Project. Joint Research Centre, European Commission (JRC105684).

**Charpin, D., & Brun, O.** (2024). Feux de forêt et impact respiratoire. *Revue des Maladies Respiratoires*. <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2024.12.002>

**De Vos, A. J. B. M., Reisen, F., Cook, A., Devine, B., & Weinstein, P.** (2009). Respiratory irritants in Australian bushfire smoke: Air toxics sampling in a smoke chamber and during prescribed burns. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56, 380-388.

**Dereix, C., Duhén, L.-M., & Rigolot, E.** (2019). Changer notre regard sur les incendies de forêt... et agir sans délais. Forêt Méditerranéenne. <https://hal.science/hal-02623345>

**Dokas, I., Statheropoulos, M., & Karma, S.** (2007). Integration of field chemical data in initial risk assessment of forest fire smoke. *Science of the Total Environment*, 376(1-3), 72-85.

**Environmental Science & Technology.** (2024). Analyse des mécanismes de formation d'ozone dans les panaches de fumée et des interactions entre chimie atmosphérique, température et rayonnement. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05870>

**Evtyugina, M., et al.** (2014). VOC emissions from residential combustion of Southern and mid-European woods. *Atmospheric Environment*, 83, 90-98.

**FAO.** (2022). *COFO/2022/5.2 – Feux de forêt et plateforme mondiale de gestion des incendies*. <https://openknowledge.fao.org/>

Forest fire danger extremes in Europe under climate change: Variability and uncertainty. (2017). Joint Research Centre, European Commission.

**France Culture.** (2026). *Avec sciences – Chronique sur l'augmentation de l'ozone liée aux feux de forêt*. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/avec-sciences/avec-sciences-chronique-du-mercredi-06-mai-2026-8860895>

**Guidotti, T. L.** (2017). Les services d'urgence et de sécurité. In *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*. Bureau international du Travail.

**Hays, M. D., Geron, C. D., Linna, K. J., Smith, N. D., & Schauer, J. J.** (2002). Speciation of gas-phase and fine particle emissions from burning of foliar fuels. *Environmental Science & Technology*, 36(11), 2281-2295.

**IPCC.** (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

**Kleeman, M. J., Schauer, J. J., & Cass, G. R.** (1999). Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling, and cigarettes. *Environmental Science & Technology*, 33(20), 3516-3523.

**Léonelli, L.** (2018). Caractérisation des fumées issues de feux de végétation contrôlés : termes sources, phases d'émissions et impact sur les opérationnels (Thèse de doctorat). Université de Corse Pascal-Paoli.

**Li, Y., Jin, X., Kelp, M., Sun, H. Z., & Qiu, M.** (2024). Growing impacts of fire smoke on ozone pollution and associated mortality burden in the United States. *Science Advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aec2903>

**Lobert, J. M., & Warnatz, J.** (1993). Emissions from the combustion process in vegetation. In J. G. Goldammer (Ed.), *Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*. Wiley.

**Martinez, M., Diaz-Ferrero, J., Marti, R., et al.** (2000). Analysis of dioxin-like compounds in vegetation and soil samples burned in Catalan forest fires. *Chemosphere*, 41(12), 1927-1935.

**McMeeking, G. R., et al.** (2009). Emissions of trace gases and aerosols during the open combustion of biomass in the laboratory. *Journal of Geophysical Research*, 114.

**MEDDTL.** (2011). *Guide relatif à la défense des forêts contre l'incendie*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

**Ministère de la Transition écologique.** (s.d.). *Tout savoir sur les feux de forêt et de végétation en France*. <https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-feux-foret-vegetation-france>

**Observatoire des forêts françaises.** (s.d.). <https://observatoire.foret.gouv.fr/>

**Polade, S. D., Gershunov, A., Cayan, D. R., Dettinger, M. D., & Pierce, D. W.** (2017). Precipitation in a warming world: Assessing projected hydro-climate changes in California and other Mediterranean climate regions. *Scientific Reports*, 7, 10783. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11285-y>

**Reid, J. S., Koppmann, R., Eck, T. F., & Eleuterio, D. P.** (2005). A review of biomass burning emissions. Part II: Intensive physical properties of biomass burning particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 799-825.

**Richter, H., & Howard, J. B.** (2000). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their growth to soot: A review of chemical reaction pathways. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26, 565-608.

**Science Advances.** (2025). Contribution des fumées de feux de forêt aux concentrations d'ozone aux États-Unis (2006-2023). *Science Advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aec2903>

**Smedley, J. M., Williams, A., & Bartle, K. D.** (1992). A mechanism for the formation of soot particles and soot deposits. *Combustion and Flame*, 91, 71-82.

**UNEP.** (2022). *Frontières 2022 : Bruit, flammes et décalages*. Programme des Nations unies pour l'environnement. <https://www.unep.org/fr/resources/frontieres-2022-bruit-flammes-et-decalages>

**Vicente, A., et al.** (2013). Emission factors and detailed chemical composition of smoke particles from the 2010 wildfire season. *Atmospheric Environment*, 71, 295-303.

**Ward, D. E., et al.** (1996). Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystems. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19), 23569-23576.

## ANNEXE 2 – GLOSSAIRE

### Définitions

**Lignes directrices OMS :** Seuils de concentration définis par l'OMS et basés sur un examen des données scientifiques accumulées. Elles visent à offrir des indications sur la façon de réduire les effets de la pollution de l'air sur la santé. Elles constituent des cibles à atteindre qui confère une protection suffisante en termes de santé publique.

**Maximum journalier de la moyenne sur huit heures :** Il est sélectionné après examen des moyennes glissantes sur huit heures, calculées à partir des données horaires et actualisées toutes les heures. Chaque moyenne ainsi calculée sur huit heures est attribuée au jour où elle s'achève ; autrement dit, la première période considérée pour le calcul sur un jour donné sera la période comprise entre 17 h la veille et 1 h le jour même ; la dernière période considérée pour un jour donné sera la période comprise entre 16 h et minuit le même jour.

**Pollution de fond et niveaux moyens :** La pollution de fond correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps relativement longues. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur une année (pour l'ozone, on parle de niveaux moyens exprimés généralement par des moyennes calculées sur huit heures). Il s'agit de niveaux de pollution auxquels la population est exposée le plus longtemps et auxquels il est attribué l'impact sanitaire le plus important.

**Pollution de pointe :** La pollution de pointe correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps courtes. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur la journée ou l'heure.

**Procédures préfectorales :** Mesures et actions de recommandations et de réduction des émissions par niveau réglementaire et par grand secteur d'activité.

**Seuil d'alerte à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou la dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

**Seuil d'information-recommandations à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population, rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates.

**Objectif de qualité :** Un niveau de concentration à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement.

**Valeur cible :** Un niveau de concentration fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

**Valeur limite :** Un niveau de concentration fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

**Couche limite :** Couche atmosphérique en contact direct avec la surface terrestre, dans laquelle se produisent des modifications d'un point de vue dynamique et thermique. Son épaisseur varie d'une centaine de mètres à quelques kilomètres selon les caractéristiques du sol (rugosité, relief...), la saison (humidité, flux de chaleur, température).

**Particules d'origine secondaires :** Les particules secondaires résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation de particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub> et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Les particules secondaires sont essentiellement des particules fines (<2.5 µm).

**AOT 40 :** Égal à la somme des différences entre les concentrations horaires d'ozone supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup> (mesurés quotidiennement entre 8 h et 20 h, heure d'Europe Centrale) et la valeur 80 µg/m<sup>3</sup> pour la période du 1<sup>er</sup> mai au 31 juillet de l'année N. La valeur cible de protection de la végétation est calculée à partir de la moyenne sur 5 ans de l'AOT40. Elle s'applique en dehors des zones urbanisées, sur les Parcs Nationaux, sur les Parcs Naturels Régionaux, sur les réserves Naturelles Nationales et sur les zones arrêtées de Protection de Biotopie.

**Percentile 99,8 (P 99,8) :** Valeur respectée par 99,8 % des données de la série statistique considérée (ou dépassée par 0,2 % des données). Durant l'année, le percentile 99,8 représente dix-huit heures.

## Sigles

**AASQA** : Association Agréées de Surveillance de la Qualité de l’Air

**ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

**ANTS** : Association Nationale des Techniques Sanitaires

**ARS** : Agence Régionale de Santé

**CSA** : Carte Stratégique Air

**CERC** : Cellule Économique Régionale du BTP PACA

**DRAAF** : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

**DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

**EPCI** : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

**EQAIR** : Réseau Expert Qualité de l’Air intérieur en région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

**IARC** : International Agency for Research on Cancer

**ISA** : Indice Synthétique Air

**LCSQA** : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

**OMS** : Organisation Mondiale de la Sante

**ORP PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR** : Observatoire des résidus de Pesticides en région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

**PCAET** : Plan climat air énergie territorial

**PDU** : Plan de Déplacements Urbains

**PLU** : Plan local d’Urbanisme

**PPA** : Plan de Protection de l’Atmosphère

**PRSA** : Plan Régional de Surveillance de la qualité de l’Air

**SCoT** : Schéma de Cohérence Territoriale

**ZAS** : Zone Administrative de Surveillance

## Unité de mesures

**mg/m<sup>3</sup>** : milligramme par mètre cube d’air  
(1 mg = 10<sup>-3</sup> g = 0,001 g)

**µg/m<sup>3</sup>** : microgramme par mètre cube d’air  
(1 µg = 10<sup>-6</sup> g = 0,000001 g)

**ng/m<sup>3</sup>** : nanogramme par mètre cube d’air  
(1 ng = 10<sup>-9</sup> g = 0,000000001 g)

**TU** : Temps Universel

## Polluants

**As** : Arsenic

**B(a)P** : Benzo(a)Pyrène

**BTEX** : Benzène - Toluène - Éthylbenzène - Xylènes

**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** : Benzène

**Cd** : Cadmium

**CO** : Monoxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**COV** : Composés Organiques Volatils

**COVNM** : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**ML** : Métaux lourds (Ni, Cd, Pb, As)

**Ni** : Nickel

**NO / NO<sub>2</sub>** : Monoxyde d’azote / Dioxyde d’azote

**NO<sub>x</sub>** : Oxydes d’azote

**O<sub>3</sub>** : Ozone

**Pb** : Plomb

**PM non volatile** : Fraction des particules en suspension présente dans l’air ambiant qui ne s’évapore pas à 50°C.

**PM volatile** : Fraction des particules en suspension qui s’évaporent entre 30°C et 50°C. Cette fraction des particules est mesurée depuis 2007.

**PM 10** : Particules d’un diamètre < 10 µm

**PM 2.5** : Particules d’un diamètre < 2,5 µm

**SO<sub>2</sub>** : Dioxyde de soufre

### Classification des sites de mesure

Cette classification a fait l'objet d'une mise à jour au niveau national en 2015. Les stations de mesures sont désormais classées selon 2 paramètres : leur environnement d'implantation et l'influence des sources d'émission.

#### Environnement d'implantation

- Implantation urbaine : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine bâtie en continu, c'est-à-dire une zone urbaine dans laquelle les fronts de rue sont complètement (ou très majoritairement) constitués de constructions d'au minimum deux étages
- Implantation périurbaine : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine majoritairement bâtie, constituée d'un tissu continu de constructions isolées de toutes tailles, avec une densité de construction moindre
- Implantation rurale : Elle est principalement destinée aux stations participant à la surveillance de l'exposition de la population et des écosystèmes à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

#### Influence des sources

- Influence industrielle : Le point de prélèvement est situé à proximité d'une source (ou d'une zone) industrielle. Les émissions de cette source ont une influence significative sur les concentrations.
- Influence trafic : Le point de prélèvement est situé à proximité d'un axe routier majeur. Les émissions du trafic ont une influence significative sur les concentrations.
- Influence de fond : Le point de prélèvement n'est soumis à aucun des deux types d'influence décrits ci-après. L'implantation est telle que les niveaux de pollution sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population (ou de la végétation et des écosystèmes) en général au sein de la zone surveillée. Généralement, la station est représentative d'une vaste zone d'au moins plusieurs km<sup>2</sup>.

## ANNEXE 3 - SOURCES DE POLLUTION, EFFETS SUR LA SANTE, REGLEMENTATION ET RECOMMANDATIONS OMS

### Sources de pollution

Les polluants atmosphériques ont diverses origines.

| <b>Particules en suspension (PM)</b>                              | <p>Les particules proviennent en majorité de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole) notamment pour le chauffage domestique, du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement, des pneumatiques...), d'activités industrielles très diverses (sidérurgie, incinération, chaufferie) et du brûlage de la biomasse (incendie, feu de déchets verts).</p> <p>Certaines particules ultrafines sont également produites par des mécanismes secondaires de transformation d'autres polluants directement dans l'air ambiant (notamment pendant la formation d'ozone).</p>                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NO<sub>x</sub></b><br><b>Oxydes d'azote</b>                    | Les NO <sub>x</sub> sont produit par toutes les combustions à haute température. Les sources principales sont les véhicules routiers, le transport maritime et les installations de combustion industrielles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>O<sub>3</sub></b><br><b>Ozone</b>                              | L'ozone (O <sub>3</sub> ) n'est pas directement rejeté par une source de pollution. C'est un polluant secondaire formé principalement à partir des NO <sub>x</sub> et des COV, sous l'effet du rayonnement solaire (UV) et de la chaleur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>SO<sub>2</sub></b><br><b>Dioxyde de soufre</b>                 | Le dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) est un polluant essentiellement industriel. Les sources principales sont les centrales thermiques, les grosses installations de combustion industrielles, le trafic maritime et les unités de chauffage individuel et collectif.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>COV dont le benzène</b><br><b>Composés organiques volatils</b> | <p>La majorité des COV proviennent de l'activité naturelle des végétaux. Cependant, la plupart des COV toxiques sont émis par les activités humaines.</p> <p>Les principales sources anthropiques de COV sont les activités domestiques / résidentielles comme le chauffage, l'utilisation de produits d'usage courant : panneaux de bois en aggloméré, certaines mousses pour l'isolation, certains vernis, colles, solvants, peintures, moquettes, rideaux, désinfectants, produits d'entretien... D'autres COV proviennent de procédés industriels (industries chimiques, raffinage de pétrole, stockage et distribution de carburants et combustibles liquides, stockages de solvants), ou de sources mobiles (transport routier).</p> |
| <b>HAP</b><br><b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques</b>      | Les HAP se forment par évaporation mais sont principalement rejetés lors de la combustion de matière organique, notamment pour le chauffage domestique. La combustion domestique du bois et du charbon s'effectue souvent dans des conditions mal maîtrisées (en foyer ouvert notamment), qui entraînent la formation de HAP.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>CO</b><br><b>Monoxyde de carbone</b>                           | Le CO est issu de combustions incomplètes, en manque d'oxygène (mauvais fonctionnement de tous les appareils de combustion, mauvaise installation, absence de ventilation), et ce quel que soit le combustible utilisé (bois, butane, charbon, essence, fuel, gaz naturel, pétrole, propane). Il est principalement produit par les activités de chauffage domestique, mais également par l'industrie, les incendies et le transport routier.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Effets sur la santé

Les polluants atmosphériques ont un impact sur la santé variable en fonction de leur concentration dans l'air, de la dose inhalée et de la sensibilité des individus. Ils peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement.

Les effets spécifiques des polluants sur la santé sont étudiés notamment par Santé Publique France<sup>7</sup>, l'Agence Européenne pour l'Environnement<sup>8</sup> et l'Organisation Mondiale de la Santé<sup>9</sup>.

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Particules en suspension                            | Maladies cardiaques ischémiques<br>Hypertension artérielle<br>Infarctus du Myocarde<br>Accident vasculaire cérébral (AVC)<br>Cancer du poumon<br>Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)<br>Asthme chez l'enfant<br>Diabète mellitus (type 2) | Effets de salissures sur les bâtiments.<br>Altération de la photosynthèse.                                                                                                                                          |
| NO <sub>2</sub><br>Dioxyde d'azote                  | Asthme chez l'adulte et l'enfant<br>Pneumopathies et autres infections des voies respiratoires (ALRI)<br>Diabète mellitus (type 2)<br>Infarctus du Myocarde                                                                                             | Pluies acides.<br>Précurseur de la formation d'ozone.<br>Déséquilibre les sols sur le plan nutritif (apport de nitrates).                                                                                           |
| O <sub>3</sub><br>Ozone                             | Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)                                                                                                                                                                                                       | Effet de serre.<br>Oxydation des membranes, nécroses des feuilles.<br>Altération de la photosynthèse et de la respiration des végétaux<br>Réduction des rendements agricoles.<br>Dégradation de certains matériaux. |
| SO <sub>2</sub><br>Dioxyde de soufre                | Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)<br>Asthme chez l'adulte et l'enfant                                                                                                                                                                   | Pluies acides.<br>Dégradation de certains matériaux.<br>Dégradation des sols.                                                                                                                                       |
| COV dont le benzène<br>Composés organiques volatils | Toxicité et risques d'effets cancérigènes ou mutagènes, en fonction du composé concerné                                                                                                                                                                 | Précurseur de la formation d'ozone.                                                                                                                                                                                 |
| HAP<br>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques      |                                                                                                                                                                                                                                                         | Peu dégradables<br>Déplacement sur de longues distances                                                                                                                                                             |
| Métaux lourds                                       | Toxicité par bioaccumulation<br>Effets cancérigènes                                                                                                                                                                                                     | Contamination des sols et des eaux                                                                                                                                                                                  |
| CO<br>Monoxyde de carbone                           | Remplace l'oxygène dans le sang, conduisant à une baisse de l'oxygénation des organes.<br>Provoque des maux de tête<br>Létal à concentration élevée                                                                                                     | Formation de l'ozone<br>Effet de serre                                                                                                                                                                              |

<sup>7</sup> <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air>

<sup>8</sup> <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-2024>

<sup>9</sup> [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

## Réglementation européenne / française

En matière de surveillance de la qualité de l'air, la réglementation se base essentiellement sur :  
La directive 2024/2881/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe,  
L'article R221-1 du Code de l'Environnement.

L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes :  
293 K et 1013 hPa. La période annuelle de référence est l'année civile. Un seuil est considéré dépassé lorsque la concentration observée est strictement supérieure à la valeur du seuil.

| O <sub>3</sub><br>Ozone              | Seuil d'information- recommandations  | 180 µg/m³    | Heure                                                             |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                      | Seuil d'alerte                        | 240 µg/m³    | Heure                                                             |
|                                      | Valeur cible (santé humaine) actuelle | 120 µg/m³    | Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (maximum 25 j / an) |
|                                      | Valeur cible (santé humaine) 2030     | 120 µg/m³    | Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (maximum 18 j / an) |
|                                      | Objectif à long terme(santé humaine)  | 100 µg/m³    | Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (maximum 3 j / an)  |
|                                      | Valeur cible (végétation)             | 18 000 µg/m³ | AOT40 mai - juillet <sup>10</sup>                                 |
|                                      | Objectif à long terme(végétation)     | 6 000 µg/m³  | AOT40 mai - juillet <sup>10</sup>                                 |
| PM10<br>Particules                   | Seuil d'information- recommandations  | 50 µg/m³     | Jour                                                              |
|                                      | Seuil d'alerte                        | 80 µg/m³     | Jour                                                              |
|                                      | Valeurs limites actuelles             | 50 µg/m³     | Jour (maximum 35 j / an)                                          |
|                                      |                                       | 40 µg/m³     | Année                                                             |
|                                      | Valeurs limites 2030                  | 45 µg/m³     | Jour (maximum 18 j / an)                                          |
|                                      |                                       | 20 µg/m³     | Année                                                             |
| Objectif de qualité                  | 30 µg/m³                              | Année        |                                                                   |
| PM2.5<br>Particules                  | Seuil d'information- recommandations  | 50 µg/m³     | Jour                                                              |
|                                      | Seuil d'alerte                        | 50 µg/m³     | 3 jours consécutifs                                               |
|                                      | Valeur limite actuelle                | 25 µg/m³     | Année                                                             |
|                                      | Valeurs limites 2030                  | 25 µg/m³     | Jour (maximum 18 j / an)                                          |
|                                      |                                       | 10 µg/m³     | Année                                                             |
| NO <sub>2</sub><br>Dioxyde d'azote   | Seuil d'information- recommandations  | 150 µg/m³    | Heure                                                             |
|                                      | Seuil d'alerte                        | 200 µg/m³    | 3 heures consécutives                                             |
|                                      | Valeurs limites actuelles             | 200 µg/m³    | Heure (maximum 18h / an)                                          |
|                                      |                                       | 40 µg/m³     | Année                                                             |
|                                      | Valeurs limites 2030                  | 200 µg/m³    | Heure (maximum 3h / an)                                           |
|                                      |                                       | 50 µg/m³     | Jour (maximum 18 j / an)                                          |
|                                      |                                       | 20 µg/m³     | Année                                                             |
| SO <sub>2</sub><br>Dioxyde de soufre | Seuil d'information- recommandations  | 275 µg/m³    | Heure                                                             |
|                                      | Seuil d'alerte                        | 350 µg/m³    | 3 heures consécutives                                             |
|                                      | Valeurs limites actuelles             | 350 µg/m³    | Heure (maximum 24h / an)                                          |
|                                      |                                       | 125 µg/m³    | Jour (maximum 3 j / an)                                           |
|                                      | Valeurs limites 2030                  | 350 µg/m³    | Heure (maximum 3h / an)                                           |
|                                      |                                       | 50 µg/m³     | Jour (maximum 18 j / an)                                          |
|                                      |                                       | 20 µg/m³     | Année                                                             |
|                                      | Niveau critique (végétation)          | 20 µg/m³     | Année et hiver                                                    |

<sup>10</sup> AOT40 : somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40 parties par milliard) et le seuil de 80 µg/m<sup>3</sup> durant une période donnée, en utilisant uniquement les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8 h 00 et 20 h 00 (heure de l'Europe centrale).

| <b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b><br><b>Benzène</b> | Valeur limite actuelle            | 5 µg/m <sup>3</sup>    | Année                    |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|
|                                                     | Valeur limite 2030                | 3.4 µg/m <sup>3</sup>  | Année                    |
|                                                     | Objectif de qualité               | 2 µg/m <sup>3</sup>    | Année                    |
| <b>CO</b><br><b>Monoxyde de carbone</b>             | Valeur limite                     | 10 mg/m <sup>3</sup>   | 8 heures                 |
|                                                     | Valeur limite 2030                | 4 mg/m <sup>3</sup>    | Jour (maximum 18 j / an) |
| <b>BaP</b><br><b>Benzo(a)pyrène</b>                 | Valeur cible (valeur limite 2030) | 1.0 ng/m <sup>3</sup>  | Année                    |
| <b>As</b><br><b>Arsenic</b>                         | Valeur cible (valeur limite 2030) | 6.0 ng/m <sup>3</sup>  | Année                    |
| <b>Cd</b><br><b>Cadmium</b>                         | Valeur cible (valeur limite 2030) | 5.0 ng/m <sup>3</sup>  | Année                    |
| <b>Ni</b><br><b>Nickel</b>                          | Valeur cible (valeur limite 2030) | 20 ng/m <sup>3</sup>   | Année                    |
| <b>Pb</b><br><b>Plomb</b>                           | Valeur limite                     | 0,5 µg/m <sup>3</sup>  | Année                    |
|                                                     | Objectif de qualité               | 0,25 µg/m <sup>3</sup> | Année                    |

#### Recommandations de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Les valeurs recommandées par l'OMS (2021) sont fondées sur des études épidémiologiques et toxicologiques publiées en Europe et en Amérique du Nord. Elles ont pour principal objectif d'être des références pour l'élaboration des réglementations internationales.

Il s'agit de niveaux d'exposition (concentration d'un polluant dans l'air ambiant pendant une durée déterminée) auxquels ou en dessous desquels il n'y a pas d'effet sur la santé. Ceci ne signifie pas qu'il y ait un effet dès que les niveaux sont dépassés mais que la probabilité qu'un effet apparaisse est augmentée.

| <b>O<sub>3</sub></b><br><b>Ozone</b>              | Impact sur la fonction respiratoire                                                                               | 100 µg/m <sup>3</sup><br>60 µg/m <sup>3</sup>                         | 8 heures, P99 (maximum 3 j / an)<br>Pic saisonnier <sup>11</sup> |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>PM10</b><br><b>Particules</b>                  | Affection des systèmes respiratoire et cardiovasculaire                                                           | 45 µg/m <sup>3</sup>                                                  | Jour, P99 (maximum 3 j / an)                                     |
| <b>PM2.5</b><br><b>Particules</b>                 |                                                                                                                   | 15 µg/m <sup>3</sup><br>15 µg/m <sup>3</sup><br>5 µg/m <sup>3</sup>   | Annuel<br>Jour, P99 (maximum 3 j / an)<br>Annuel                 |
| <b>NO<sub>2</sub></b><br><b>Dioxyde d'azote</b>   | Faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)                                                        | 200 µg/m <sup>3</sup><br>25 µg/m <sup>3</sup><br>10 µg/m <sup>3</sup> | Heure<br>Jour, P99 (maximum 3 j / an)<br>Annuel                  |
| <b>SO<sub>2</sub></b><br><b>Dioxyde de soufre</b> | Altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)<br>Exacerbation des voies respiratoires (individus sensibles) | 500 µg/m <sup>3</sup><br>40 µg/m <sup>3</sup>                         | 10 minutes<br>Jour, P99 (maximum 3 j / an)                       |
| <b>Pb</b><br><b>Plomb</b>                         | Niveau critique de plomb dans le sang < 10 – 150 g/l                                                              | 0,5 µg/m <sup>3</sup>                                                 | 1 an                                                             |
| <b>Cd</b><br><b>Cadmium</b>                       | Impact sur la fonction rénale                                                                                     | 5 ng/m <sup>3</sup>                                                   | 1 an                                                             |
| <b>CO</b><br><b>Monoxyde de carbone</b>           | Niveau critique de CO Hb < 2,5 %<br>Hb : hémoglobine                                                              | 4 mg/m <sup>3</sup>                                                   | Jour, P99 (maximum 3 j / an)                                     |

<sup>11</sup> Pic saisonnier : moyenne des maximums journaliers des moyennes sur 8h, sur les six mois consécutifs avec les moyennes les plus élevées.

AtmoSud, votre expert de l'air en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



Un large champ d'intervention : air/climat/énergie/santé

La loi sur l'air reconnaît le droit à chaque citoyen de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Dans ce cadre, AtmoSud évalue l'exposition des populations à la pollution atmosphérique et identifie les zones où il faut agir. Pour s'adapter aux nouveaux enjeux et à la demande des acteurs, son champ d'intervention s'étend à l'ensemble des thématiques de l'atmosphère : polluants, gaz à effet de serre, nuisances, pesticides, pollens... Par ses moyens techniques et d'expertise, AtmoSud est au service des décideurs et des citoyens.

Des missions d'intérêt général

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30/12/1996 confie la surveillance de la qualité de l'air à des associations agréées :

- Connaître l'exposition de la population aux polluants atmosphériques et contribuer aux connaissances sur le changement climatique
- Sensibiliser la population à la qualité de l'air et aux comportements qui permettent de la préserver
- Accompagner les acteurs des territoires pour améliorer la qualité de l'air dans une approche intégrée air/climat/énergie/santé
- Prévoir la qualité de l'air au quotidien et sur le long terme
- Prévenir la population des épisodes de pollution
- Contribuer à l'amélioration des connaissances\*
- 

Recevez nos bulletins

Abonnez-vous à l'actualité de la qualité de l'air : <https://www.atmosud.org/abonnements>

Conditions de diffusion

AtmoSud met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ces travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur notre site Internet.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'AtmoSud. Toute utilisation de données ou de documents (texte, tableau, graphe, carte...) doit obligatoirement faire référence à AtmoSud. Ce dernier n'est en aucun cas responsable des interprétations et publications diverses issues de ces travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

**Siège social**

146 rue Paradis « Le Noilly Paradis »  
13006 Marseille

**Site de Martigues**

06 Route de la Vierge  
13500 Martigues

**Site de Nice**

37bis avenue Henri Matisse  
06200 Nice



atmosud.org



04 91 31 38 00



contact.air@atmosud.org

**AtmoSud**

Inspirer un air meilleur

**SIRET : 324 465 632 00044 – APE – NAF : 7120B – TVA intracommunautaire : FR 65 324 465 632**