

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 11 juin 2024

NOTE¹
d'appui scientifique et technique
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

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

L'Anses a été saisie le 3 août 2023 par la Direction générale de l'énergie et du climat, la Direction générale de la prévention des risques et la Direction générale de la santé pour une demande d'actualisation de l'état des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale et professionnelle aux feux de végétation. En réponse à la première phase d'instruction de la saisine, la réalisation de l'appui scientifique et technique inclut :

- la réalisation d'un état des lieux des consignes en France et à l'international en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations – et ce dans une optique d'aide à la gestion par les pouvoirs publics,
- et l'établissement d'une liste socle de substances et de méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur.

¹ Annule et remplace la note du 15 avril 2024. Les révisions effectuées sont décrites en Annexe 4.

SOMMAIRE

SIGLES ET ABREVIATIONS	3
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	8
1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE	9
1.1. Contexte	9
1.2. Objet de la demande	10
2. ORGANISATION DES TRAVAUX	11
3. ANALYSE ET CONCLUSIONS	13
3.1. Préambule sur les termes « feu de grande ampleur » et « méga-feu »	13
3.2. Préambule sur le risque incendie de végétation en France	13
3.3. Consignes en France et à l'international en cas d'incendie de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations	18
3.3.1. Consignes pour la population générale et les populations vulnérables et sensibles	18
3.3.1.1. En France	18
3.3.1.2. A l'international	33
3.3.2. Consignes pour les sapeurs-pompiers	41
3.3.2.1 En France	41
Les équipements de protection individuelle	42
Prévention des risques sanitaires liés aux fumées d'incendies de feux de végétation	42
3.3.2.2. À l'international	48
Les équipements de protection individuelle	48
Mesures d'atténuation recommandées pour réduire l'exposition à la fumée	50
3.4. Substances et méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur	53
3.4.1. Substances présentes dans les panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur	53
3.4.1.1. Éléments préliminaires sur l'origine et la nature des substances	53
Source des substances	53
Combustion, transport, et polluants primaires et secondaires	53
3.4.1.2. Substances d'intérêt sanitaire	55
3.4.2. Méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur	61
3.4.2.1. Surveillance-prévision atmosphérique (modélisation/mesure de la qualité de l'air ambiant, observations satellitaires)	61
Modélisation/mesure de la qualité de l'air ambiant	61
Observations satellitaires pour la détection des feux et la surveillance des panaches de fumées	68
3.4.2.2. Dispositifs de surveillance terrestres et aériens des espaces naturels (vigies, caméras, patrouilles terrestres, aéro-surveillance, drones)	71
3.5. Perspectives	74
BIBLIOGRAPHIE	75
MOTS-CLÉS	84
CITATION SUGGÉRÉE	84
Annexe 1 : Lettre de saisine	85
Annexe 2 : Intervenants	87
Annexe 3 : Liste d'institutions pour l'identification des rapports scientifiques et/ou techniques	88
Annexe 4 : Suivi des actualisations de la note	90
Annexe 5 : Les marqueurs des « mégafeux » (DGSCGC 2021)	91

SIGLES ET ABREVIATIONS

AASQA	Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOD	<i>Aerosol Optical Depth</i>
ARF	Appareils respiratoires filtrants
ARFAP	Appareils respiratoires filtrants à air propulsé
ARI	Appareil respiratoire isolant
ARS	Agences Régionales de Santé
ARS NA	Agence Régionale de Santé Nouvelle-Aquitaine
ARS PDL	Agence Régionale de Santé Pays-de-la-Loire
As	Arsenic
ASA	Associations syndicales Autorisées
ASM	<i>American Society for Microbiology</i>
BaP	Benzo[a]pyrène
BMPM	Bataillon de marins-pompiers de Marseille
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
BSPP	Brigade de sapeurs-pompiers de Paris
C ₂ H ₂	Acétylène
C ₂ H ₄	Éthylène
CAMS	<i>Copernicus Atmosphere Monitoring Service</i>
Cd	Cadmium
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>
CDPH	<i>California Department of Public Health</i>
CEPA	<i>California Environmental Protection Agency</i>
CES	Comité d'experts spécialisés
CES Air	Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CH ₂ O ₂	Acide méthanoïque ou acide formique
CH ₄	Méthane
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CIS	Centre d'incendie et de secours
CNPF	Centre national de la propriété forestière
CNRACL	Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
COVs	Composés organiques volatils
Cr	Chrome
DDT37	Direction départementale des territoires - Indre-et-Loire
DFCI	Défense de la Forêt Contre les Incendies
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGALN	Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
DGSCGC	Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises
DGT	Direction générale du travail

DNB	<i>Day/night band</i>
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EFFIS	<i>European Forest Fire Information System</i> (Système européen d'information sur les feux de forêt)
EPI	Équipements de protection individuels
EUMETSAT	<i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i>
FDS	Fiche de données de sécurité
Fe	Fer
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
FINN	<i>Fire INventory</i>
FMI	<i>Finnish Meteorological Institute</i>
GDO	Guide de doctrine opérationnelle
GFAS	<i>Global Fire Assimilation System</i>
GFED	<i>Global Fire Emissions Database</i>
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (ou IPCC)
Gov. BC	<i>Government of British Columbia</i>
Gov. CA	<i>Government of Canada</i>
Gov. SA	<i>Government of South Australia</i>
Gov. US	<i>Government of the United States of America</i>
Gov. WA	<i>Government of Western Australia</i>
GRDF	Gaz réseau distribution France
H ₂	Hydrogène
H ₂ O	Eau
H ₂ S	Sulfure d'hydrogène
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique
H ₃ PO ₄	Acide phosphorique
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HBr	Bromure d'hydrogène
HCl	Chlorure d'hydrogène
HCN	Cyanure d'hydrogène
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air Filter</i> ([filtre] à particules aériennes à haute efficacité)
HF	Fluorure d'hydrogène
Hg	Mercuré
HMS	<i>Hazard Mapping System</i>
HQFES	<i>Home Queensland Fire and Emergency Services</i>
IGA	Inspection Générale de l'Administration
IGE	Institut des Géosciences de l'Environnement
IGEDD	Inspection générale de l'environnement et du développement durable
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
IMT-NE	IMT Nord Europe (école de l'Institut Mines-Télécom)
Ineris	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
JRC	<i>Joint Research Center</i>
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
LSCE	Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement

MeHg	Methyl-mercure
MI	Ministère de l'Intérieur et des Outre-mer
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i> (radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne)
MRBET	Avion multi rôle bombardier d'eau et de transport
MTECT	Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires
MTSS	Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités
N ₂	Diazote
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NASEM	<i>National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NH ₃	Ammoniac
NIFC	<i>National Interagency Fire Center</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NO	Monoxyde d'azote
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NO _x	Oxydes d'azote
NRBC	Nucléaire, radiologique, biologique et chimique
NWCG	<i>National Wildfire Coordinating Group</i>
O ₃	Ozone
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques (en anglais : OECD)
OFF	Observatoire des Forêts Françaises
OLD	Obligations Légales de Débroussaillage
OMM	Organisation Météorologique Mondiale (en anglais : WMO)
OMS	Organisation mondiale de la santé (en anglais : WHO)
ONF	Office national des forêts
Pb	Plomb
PCB	Polychlorobiphényles
PCDD/F	Polychlorodibenzo-dioxines et polychlorodibenzo-furanes
PDPFCI	Plan départemental de protection des forêts contre l'incendie
PFAS	Substances per- et polyfluoroalkylées
PFMS	Plan familial de mise en sûreté
PLU	Plan local d'urbanisme
PM	<i>Particulate Matter</i> (particules en suspension dans l'air)
PM ₁₀	Particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique médian est inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	Particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique médian est inférieur à 2,5 µm
PM ₄	Particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique médian est inférieur à 4 µm
PMPFCI	Plan de massif de protection des forêts contre l'incendie
POS	Plan d'occupation des sols
PPR	Programmes de protection respiratoire
PPRif	Plan de prévention des risques d'incendie de forêt
PPRn	Plan de prévention des risques naturels prévisibles
Préf.	Préfecture
Préf. AHP	Préfecture des Alpes-de-Haute-Provence
Préf. AM	Préfecture des Alpes-Maritimes
Préf. G	Préfecture de la Gironde
Préf. HS	Préfecture de la Haute-Savoie
QFES	<i>Queensland Fire and Emergency Services</i>

RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
Sb	Antimoine
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
SDACR	Schéma départemental d'analyse et de couverture des risques
SDIS	Service départemental d'incendie et de secours
SDMIS	Sapeurs-pompiers de la métropole de Lyon et du Rhône
SILAM CTM	<i>Chemical Transport Models of the System for Integrated modeLLing of Atmospheric composition</i>
SIS	Service d'Incendie et de Secours
SO ₂	Dioxyde de soufre
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
U.S. DHHS	<i>US Department of Health & Human Services</i>
UFIP	Union Française des Industries Pétrolières
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VFSP-WAS	<i>Vegetation Fire and Smoke Pollution Warning and Advisory System</i>
VIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (suite de radiomètres pour imageurs dans l'infrarouge et le visible)</i>
VTU	Véhicule tout usage
Zn	Zinc

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Consignes pour la préparation aux incendies de végétation à destination de la population générale et des populations vulnérables et sensibles (France)	22
Tableau 2. Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (France) ...	26
Tableau 3. Consignes pour le retour au domicile après un incendie de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (France).....	30
Tableau 4. Consignes pour la préparation aux incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises).....	34
Tableau 5. Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises).....	37
Tableau 6. Consignes pour le retour à domicile après les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises)	39
Tableau 7. Interventions potentielles pour réduire les expositions et les effets sanitaires des pompiers forestiers (traduit de NASEM <i>et al.</i> 2022).....	52
Tableau 8. Substances dans l'air avec un potentiel toxique et issues des incendies de végétation.....	58
Tableau 9. Outils disponibles en Europe et en France pour la surveillance atmosphérique et prévision en lien avec les incendies de végétation (liste non-exhaustive).....	67
Tableau 10. Systèmes satellitaires d'imagerie multi-spectrale disponibles en Europe pour la détection des feux et la surveillance des panaches de fumées des incendies de végétation (adapté de Barmpoutis <i>et al.</i> 2020)	70
Tableau 11. Evolution chronologique des types d'incendie de végétation (DGSCGC 2021).	92

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Surface brûlée (en bleu) et nombre de feux de 30 ha ou plus (en orange) en France métropolitaine sur la période 2006-2023 (EFFIS, consulté le 14 mars 2024).....	14
Figure 2. Nombre de départs de feux et surfaces brûlées par département (moyenne annuelle 2007-2019) (Sénat 2022)	14
Figure 3. Nombre annuel de jours avec risque élevé d'incendie (IFM>40) pour l'horizon de référence 1990 (à gauche) et la projection pour l'horizon 2050 (à droite) (Météo-France 2023)	16
Figure 4. Comparaison des résultats des trois outils de <i>machine learning</i> concernant la probabilité d'au moins un incendie dans la maille DFCI de 2 km pendant l'été 2050 (scénario RCP 4.5).	16
Figure 5. Schéma des principaux dispositifs pour la défense des forêts contre les incendies et pour la prévention des risques d'incendies de forêt (adapté de OFF 2023b)	20

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE

1.1. Contexte

L'avis de l'Anses de mai 2012 relatif aux effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre (Anses, 2012) a mis en exergue l'impact des émissions de particules produites par ces feux sur la population générale et la population professionnelle, et a formulé des recommandations d'amélioration des connaissances.

Les feux de végétation² contribuent en effet grandement à la détérioration, *a minima* ponctuelle, de la qualité de l'air, du fait d'émissions particulaires et gazeuses diverses et toxiques à différents niveaux. Bien que les niveaux de pollution de l'air aient fortement diminué en Europe et en France depuis les années 1990 (EEA 2018), la contribution des feux de forêt n'a fait que croître sur cette même période. Même si la part de la pollution atmosphérique issue des feux de forêt reste minoritaire, elle serait substantiellement plus toxique que d'autres sources de pollution 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 (PM_{2,5}) selon des résultats du projet EXHAUSTION rapportés par l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (ENBEL 2024). D'après des récents résultats de ce projet, il a été estimé que la surmortalité attribuable à la pollution mesurée par les PM_{2,5} avait diminué de plus de 50 % en Europe entre 1990 et 2019, tandis que la surmortalité attribuable à la pollution mesurée par les PM_{2,5} des incendies de végétation avait augmenté dans le même temps de plus de 100 % (Chowdhury et al. 2024).

Ces dernières années ont été marquées par des feux de grande ampleur de par le monde, parfois qualifiés de « méga-feux », bien que ce qualificatif ne recouvre pas les mêmes réalités en Europe, en Californie ou en Australie par exemple. En France, en juillet 2022, la forêt des Landes de Gascogne a connu les deux plus grands incendies de son histoire simultanément (Piganiol 2023), et au total près de 30 000 hectares ont brûlés en Nouvelle-Aquitaine, un chiffre record depuis les grands incendies de 1949 (Préf. G 2022). Ces feux atteignent des dimensions et génèrent des effets qui dépassent le cadre habituel d'action des sapeurs-pompier et peuvent provoquer une réaction en chaîne. Aussi, comme le préconise le guide de doctrine opérationnelle sur les feux de forêts et d'espaces naturels (DGSCGC 2021), « *il est important d'intégrer dans les réflexions que la lutte contre les méga-feux engendrera un passage de la seule lutte contre le feu à la gestion de la lutte contre les conséquences directes et indirectes du feu dans divers domaines* » ; ce qui inclut la gestion de la lutte contre la pollution de l'air générée par ces feux et ses effets sur la santé.

Dans le contexte actuel de changement climatique, et dans la perspective des grands événements sportifs à venir (Jeux Olympiques et Paralympiques en 2024), il apparaît ainsi nécessaire d'actualiser les connaissances en appui à la gestion de ces épisodes de pollution de l'air ambiant ; et ce en dressant dans un premier temps un état des lieux des consignes en France et à l'international en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations, et en établissant une liste socle de substances et de méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur.

² Les termes « feux de végétation » utilisés dans la présente note couvrent les feux de forêt et de végétation.

1.2. Objet de la demande

Comme indiqué dans le courrier de saisine (Annexe 1), il était initialement demandé à l'Anses de :

1. Mettre à disposition des ministères un état des nouvelles connaissances sur les effets sur la santé humaine liés spécifiquement à l'exposition à court terme aux incendies de végétation de grande ampleur pour les professionnels et le grand public, une liste de substances prioritaires à surveiller dans l'air ambiant en cas de feux de végétation de grande ampleur, et un état des lieux des consignes en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations.
2. Actualiser l'avis de 2012, notamment l'état des connaissances relatives à la contamination des sols, de l'air et des eaux, à la toxicité et aux effets sanitaires de ces fumées, afin de :
 - a. documenter les dernières connaissances en matière de composition des fumées en fonction des essences ;
 - b. réaliser une revue bibliographique des effets sur la santé humaine liés à la pollution de l'air générée par les feux de végétation, notamment à la pratique de l'écobuage ainsi que celles liés aux produits et techniques utilisés par les professionnels pour éteindre les feux de végétation. Dans un esprit « Une seule santé », il conviendrait également d'indiquer succinctement les effets connus de ces fumées sur l'environnement, la flore et la faune.
3. Formuler des recommandations en précisant les modalités de mise en œuvre d'une surveillance environnementale dans l'air, le sol, les aliments et les eaux et indiquer les mesures de gestion adaptées en s'appuyant si possible sur les travaux actuels de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

Une première phase d'expertise en réponse au point 1 de la saisine a été proposée. Suite aux échanges avec les représentants des directions ministérielles et le comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » en date du 22 septembre 2023, il a été convenu de traiter en priorité les points suivants :

- A. Réaliser un état des lieux des consignes en France et à l'international en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations – et ce dans une optique d'aide à la gestion par les pouvoirs publics.
- B. Dresser une liste socle de substances et de méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur.

Le traitement des points A et B, objet de la présente note, constitue la première phase d'expertise en réponse au courrier de saisine.

Les autres points 2a, 2b et 3 décrits dans le courrier de saisine seront traités dans une seconde phase d'expertise qui permettra d'actualiser l'ensemble des connaissances relatives aux effets sur la santé humaine liés à la pollution générée par les fumées des feux de végétation de grande ampleur, qu'il s'agisse d'effets à court ou long termes.

2. ORGANISATION DES TRAVAUX

L'Anses a confié l'instruction de cette première phase d'expertise en réponse à la saisine à cinq experts nommés rapporteurs par l'Agence et trois agents de l'unité Évaluation des risques liés à l'air de la Direction de l'évaluation des risques (DER), regroupant des compétences en épidémiologie, évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement, connaissances terrain des feux de végétation et médecine du travail (Annexe 2). Ils se sont réunis en séances plénières à six reprises entre le 4 décembre 2023 et le 26 février 2024. Les travaux conduits se sont également appuyés sur les compétences de la Direction des affaires européennes et internationales et de l'unité Veille de l'Anses. Le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » a par ailleurs été tenu informé des travaux conduits.

Les consultations et auditions suivantes de parties prenantes ont été conduites dans le cadre de l'expertise :

- consultations de la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC) le 20 décembre 2023, le 22 décembre 2023 et le 11 janvier 2024 dans le cadre de la collecte documentaire relative aux consignes pour la protection de la santé des professionnels, et aux dispositifs de surveillance des fumées des incendies de végétation en France et échanges avec la DGSCGC le 18 avril 2024 et le 24 avril 2024 sur la cagoule pour la filtration des particules dans un contexte d'incendie de végétation ;
- consultations de l'Ineris le 15 septembre 2023 et le 18 janvier 2024, qui ont permis le partage d'informations sur la pollution de l'air liée aux incendies de végétation, et notamment la mise à disposition par l'Ineris des références bibliographiques utilisées jusqu'au 12 février 2024 ;
- audition de l'Agence régionale de santé (ARS) Nouvelle-Aquitaine le 30 janvier 2024, qui a permis de recueillir le retour d'expérience de l'ARS Nouvelle-Aquitaine sur les incendies de végétation de l'été 2022, sous les prismes de la prévention et de la gestion des risques pour les populations en lien avec la pollution générée par ces incendies. Par rapport aux objectifs de cette première phase d'expertise, l'audition a notamment apporté des informations sur les recommandations communiquées à la population, sur le dispositif mis en œuvre pour la surveillance environnementale en condition de gestion de crise et sur les réflexions relatives aux choix des substances à mesurer.

Les travaux constituent une synthèse des informations identifiées à partir :

- des travaux antérieurs réalisés à l'Anses sur le sujet des feux de végétation, et en particulier du rapport de l'Anses relatif à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre et aux effets sanitaires associés (Anses, 2012) ;
- des rapports scientifiques et/ou techniques identifiés auprès d'institutions et publiés ultérieurement au rapport de l'Anses (Anses, 2012). La consultation des sites internet d'une liste initiale d'institutions (liste initiale en Annexe 3) a servi de base à l'identification des rapports. Au cours des travaux d'expertise, des rapports supplémentaires ont été identifiés auprès d'autres institutions (liste complémentaire en Annexe 3) par les experts rapporteurs et les agents Anses ;
- des revues de la littérature scientifique et des études originales, publiées dans des revues à comité de lecture, identifiées au cours de l'expertise par les experts rapporteurs et les agents Anses ;
- et des consultations et auditions de parties prenantes.

Cette synthèse est déclinée dans les chapitres suivants de la présente note.

Le résultat des travaux, sous forme de note d'appui scientifique et technique du 15 avril 2024, a fait l'objet d'une transmission aux ministères commanditaires et à la DGSCGC, dont la note intéresse en partie le champ de compétences, puis d'une restitution le 30 avril 2024 aux ministères commanditaires. Des compléments d'informations relatifs à un nouveau prototype de cagoule pour la filtration des particules ont été transmis à l'Anses par la DGSCGC les 18 et 24 avril 2024. Des précisions sur le contexte et l'organisation des ministères ont également été formulées par la DGPR lors de cette réunion de présentation et transmises à l'agence le 6 mai 2024. Ces éléments complémentaires sont l'objet de la révision de cette note d'AST (voir Annexe 4 pour les modifications apportées).

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise - prescriptions générales de compétence pour une expertise (NF X 50-110, 2003) ».

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS

3.1. Préambule sur les termes « feu de grande ampleur » et « méga-feu »

Dans le cadre de la présente note, les termes « feu de grande ampleur » sont utilisés et recouvrent la notion de « méga-feu » (voir encadré ci-dessous).

Notion de « méga-feu » d'après la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC 2021)

Le terme de « méga-feu » est apparu dans la littérature américaine en 2013. Cette notion « méga » est associée à l'ampleur, l'intensité de ces incendies. En France, un feu de plus de 10 000 hectares (ha) imposant la défense de nombreux points sensibles, pourrait être considéré à l'échelle du pays comme un « méga-feu ». Cependant, l'intervention sur des feux de grande ampleur implique deux approches qu'il faut dé-corréler, à savoir :

- organiser la lutte contre les feux d'espace naturel de grande ampleur, à savoir des feux qui atteignent des dimensions et des effets qui dépassent le cadre habituel d'action des secours,
- appréhender les effets induits d'un feu qui pourrait affecter d'autres éléments que la végétation (éventuelle réaction en chaîne provoquée par cet incendie).

Les différents marqueurs des « méga-feux » sont précisés en Annexe 5. Dans le cadre des « méga-feux », la notion « d'espace naturel » prend tout son sens, de par la diversité et la continuité végétale que va parcourir le feu de grande ampleur. En cas de propagation non contrôlée, le feu peut atteindre des structures bâtementaires tels qu'habitations, établissements recevant du public, industries et autres infrastructures critiques qui pourront s'en trouver affectés.

3.2. Préambule sur le risque incendie de végétation en France

Avec une surface forestière en constante augmentation, la France métropolitaine est aujourd'hui couverte par près de 17,3 millions d'hectares de forêt, soit 31 % du territoire, ce qui la place au quatrième rang des pays les plus boisés de l'Union européenne (IGN 2022). La surface boisée est supérieure dans la moitié sud du pays, atteignant un taux de boisement de plus de 60 % dans sept départements (Corse-du-Sud, Alpes-Maritimes, Var, Alpes-de-Haute-Provence, Landes, Haute-Corse et Ardèche) (IGN 2022). Les cinq départements d'Outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion et Mayotte) totalisent environ 8,2 millions d'hectares de forêts, dont 8 millions d'hectares couverts par la forêt tropicale guyanaise.

En France métropolitaine, alors que le nombre de feux de forêt et que la surface boisée brûlée par le feu stagnaient sur la période 2006-2015, une tendance à la hausse est observée depuis 2016 pour ces deux indicateurs (Figure 1).

Sur cette période 2006-2021, les feux de forêt en métropole représentaient en moyenne la large majorité du nombre de feux (92 %) et de la surface boisée brûlée (94 %) en France³ selon les données rapportées par le Centre commun de recherche de la Commission européenne (JRC 2023).

³ Les données disponibles dans le rapport du Centre commun de recherche de la Commission européenne (JRC 2023) se limitent à la France métropolitaine et aux territoires ultramarins suivants : Réunion, Mayotte et Guyane. Elles n'incluent pas les autres territoires ultramarins. Aussi, la part métropolitaine du nombre de feux et de la surface boisée brûlée en France est surestimée.

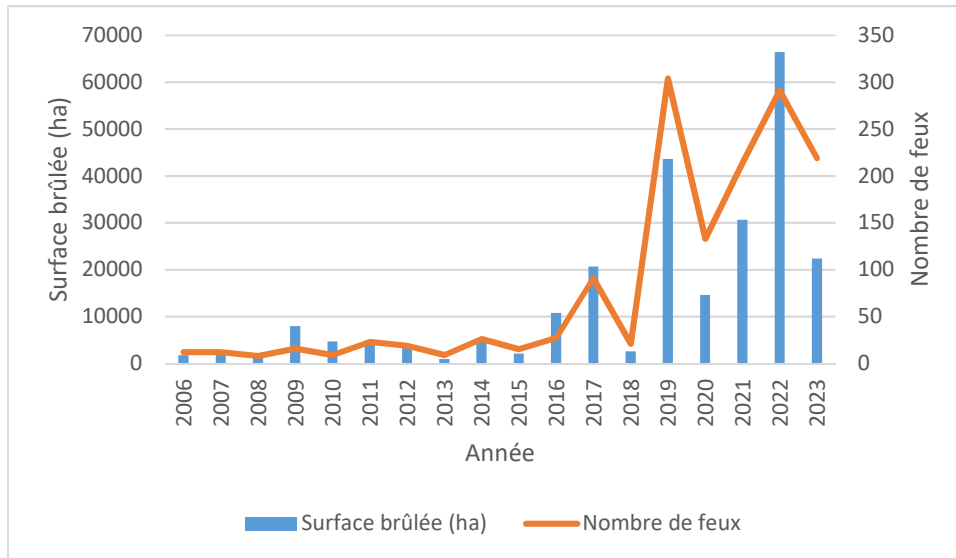


Figure 1. Surface brûlée (en bleu) et nombre de feux de 30 ha ou plus (en orange) en France métropolitaine sur la période 2006-2023 (EFFIS, consulté le 14 mars 2024)

Historiquement, en France métropolitaine, les départements de feux de forêt se concentraient dans la moitié sud du pays (Figure 2).

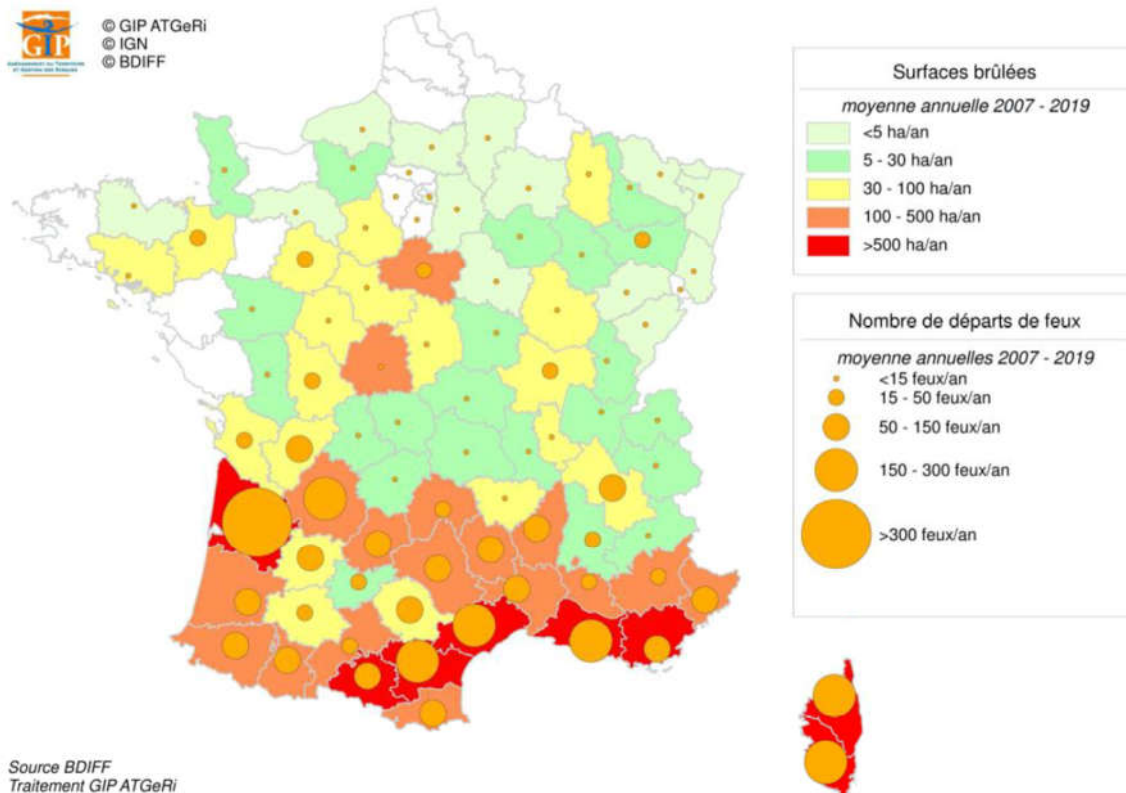


Figure 2. Nombre de départs de feux et surfaces brûlées par département (moyenne annuelle 2007-2019) (Sénat 2022)

Néanmoins, le territoire concerné par le risque d'incendie de végétation ne cesse de croître et s'étend 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.

Plus largement, comme le démontrent les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le changement climatique constitue le facteur structurant de cette intensification du risque d'incendies de grande ampleur. L'augmentation de la température moyenne engendre une fréquence des épisodes de canicules, et donc de sécheresse, plus élevée (IPCC 2023). En effet, ces températures favorisent 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).

La dégradation des conditions météorologiques participe à étendre la période à risque de feux de végétation avec une multiplication des feux précoces dus, entre autres, à la diminution du taux d'enneigement en montagne, mais également des feux tardifs dus à la faible pluviométrie et aux épisodes caniculaires.

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 2023a; Géorisques, s. d.).

Les feux exceptionnels de l'année 2022 témoignent de ces évolutions et constituent, selon Météo-France, un tournant dans l'impact des incendies de forêt en France. En effet, comme le souligne le dernier rapport du *Joint Research Centre* (JRC), au total, 70 301 hectares d'espaces naturels (dont 58 275 hectares de forêts) ont brûlé, soit plus de quatre fois la moyenne annuelle sur la période 2006-2021. Ces dégâts ont été occasionnés par un total de 22 796 incendies, ce qui représente environ le double de la moyenne annuelle sur la période 2006-2021 (JRC 2023). 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^e 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 (Figure 3). Ainsi, près de 50 % des landes et des forêts métropolitaines pourraient être concernés par un risque incendie élevé (Sénat 2022).

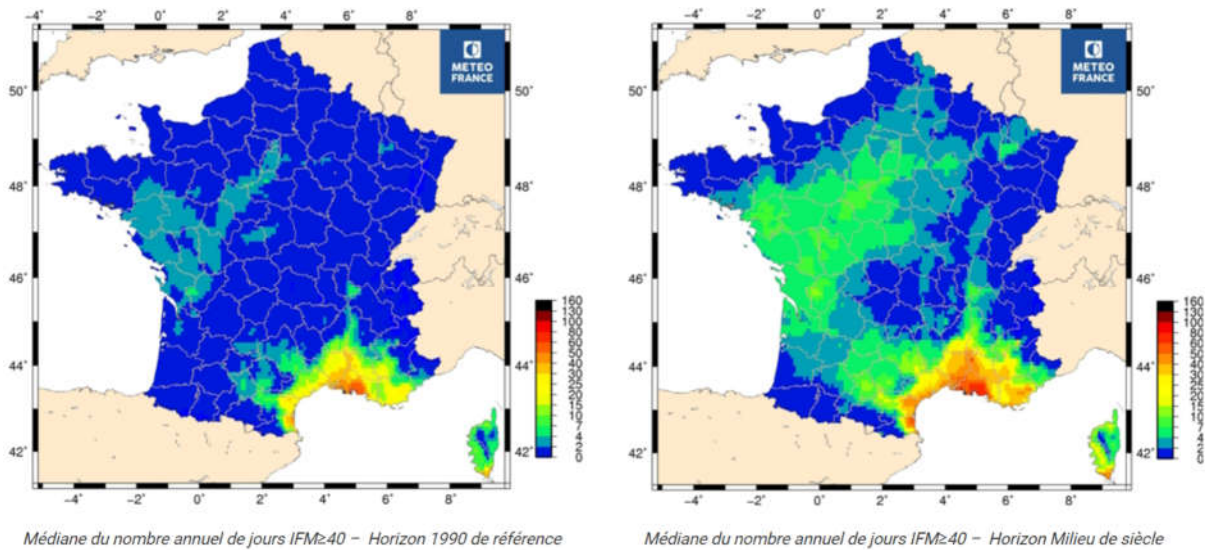


Figure 3. Nombre annuel de jours avec risque élevé d'incendie (IFM>40) pour l'horizon de référence 1990 (à gauche) et la projection pour l'horizon 2050 (à droite) (Météo-France 2023)

Similairement, d'autres projections à l'été 2050 (Gualdi et al. 2022) prévoient une extension, plus ou moins importante selon le modèle de projection et avec le scénario du GIEC RCP 4.5 (stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à l'horizon 2100), des territoires métropolitains concernés par une probabilité d'occurrence d'au moins un incendie de végétation (Figure 4).

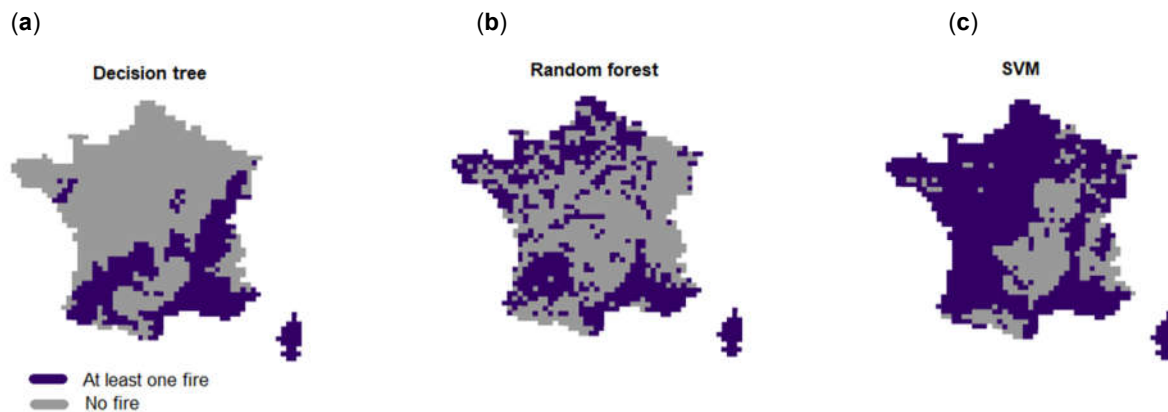


Figure 4. Comparaison des résultats des trois outils de *machine learning* concernant la probabilité d'au moins un incendie dans la maille DFCI de 2 km pendant l'été 2050 (scénario RCP 4.5).

(a) La projection par arbre de décision (*Decision tree*) est le modèle le plus modéré ; elle met en évidence l'exposition des Landes, de la vallée du Rhône et des Vosges. (b) La projection par forêt aléatoire (*Random forest*) met en évidence l'exposition des régions méditerranéennes et de la Corse, avec une exposition croissante de la vallée du Rhône, des Landes, de la Bretagne, du Nord-Pas-de-Calais et des Pays-de-Loire ; ce modèle semble être le plus cohérent. (c) La projection par SVM (*Support Vector Machine*) est le modèle le plus pessimiste, prédisant des incendies dans la grande majorité du territoire ; les résultats sont plus liés au scénario pessimiste RCP 8.5. selon les auteurs (Gualdi et al. 2022)

D'autres résultats similaires de projection d'intensification et d'extension du risque d'incendie de végétation, sous différents scénarios de changement climatique⁴, sont observés sur le territoire métropolitain et plus largement sur le continent européen (JRC 2017).

Sur la base des prévisions antérieures d'extension et d'intensification du risque d'incendie de végétation en France, les climatologues, experts, le ministère en charge de l'écologie (MEDDTL 2011) et l'Anses (Anses 2012), pour ne citer qu'eux, ont rapporté par le passé le risque d'augmentation des coûts dédiés à la lutte contre les incendies de forêts.

La stratégie de lutte contre les incendies mise en œuvre en France métropolitaine jusqu'en 2022 s'appuie sur un contrôle des feux naissants, une mobilisation préventive des moyens de lutte pendant les périodes à risque, une surveillance accrue des zones à risque et différentes campagnes de prévention. Toutefois, à la suite des incendies de 2022 et au vu de l'évolution prévisionnelle du risque incendie, un nouveau plan d'action a été annoncé par les pouvoirs publics, puis en partie traduit dans la loi du 10 juillet 2023 visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie⁵, afin de :

- mieux prévenir les incendies, notamment à travers un renforcement des moyens de l'Office national des forêts (ONF) et de Météo-France pour les années 2023-2024 et une cartographie de la sensibilité aux incendies ;
- renforcer les moyens humains et matériels des services de secours ;
- reboiser et gérer durablement les forêts pour une meilleure adaptation au changement climatique ;
- renforcer la prévention avec une campagne dédiée aux obligations légales de débroussaillage, le maintien de la campagne nationale de prévention des feux de forêt et végétation et la mise en place de la météo des forêts diffusée par Météo-France à partir du 1^{er} juin 2023 afin d'informer la population sur les zones à risque.

Néanmoins, ce phénomène n'est pas propre à la France et les incendies de grande ampleur sévissent aujourd'hui dans toutes les régions du monde. Par exemple, peuvent être soulignés les feux de végétation de 2019-2020 en Australie, considérés comme les plus importants de l'histoire du pays en termes de superficie brûlée (Parliament of Australia 2020). Plus récemment, à l'été 2023, le Canada a enregistré des incendies d'ampleur non égale avec près de 18,5 millions d'hectares brûlés (Gov. CA 2023c). De même, le bassin méditerranéen a été fortement affecté, particulièrement la Grèce où près de 175 000 hectares se sont embrasés en 2023 (EFFIS, consulté le 3 janvier 2024).

Les enjeux et les risques s'avèrent de plus transfrontaliers. Ces incendies de grande ampleur nécessitent un déploiement massif de moyens pouvant amener les sapeurs-pompiers à intervenir dans différents pays. Les panaches de fumées (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. Les fumées de biomasse sont composées de très nombreuses substances chimiques, incluant dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatils et semi-volatils (COV et COSV), particules et oxydes d'azote (NO_x), dont plusieurs d'entre elles ont été associées à des effets néfastes pour la santé (Anses 2012) (chapitre 3.4.1.2., Tableau 8).

⁴ Un scénario de réchauffement global limité à 2°C d'ici la fin du XXI^e siècle grâce aux mesures d'atténuation et un scénario d'augmentation du forçage radiatif atteignant un niveau approximatif de 8,5 W.m⁻² d'ici la fin du XXI^e siècle (*High emission RCP scenario*).

⁵ LOI n° 2023-580 du 10 juillet 2023 visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047805414/>

3.3. Consignes en France et à l'international en cas d'incendie de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations

3.3.1. Consignes pour la population générale et les populations vulnérables et sensibles

Les consignes pour la protection de la santé des populations, en lien avec la pollution de l'air générée par les incendies de végétation (dont ceux de grande ampleur), sont définies ici comme **toutes recommandations, ou obligations légales, destinées à prévenir, réduire ou éliminer les risques pour la santé des populations en lien avec la pollution de l'air générée par les incendies de végétation (dont ceux de grande ampleur)**. Les consignes concernent les trois phases suivantes :

1. la préparation aux incendies ;
2. la protection ou réduction du risque pendant les incendies ;
3. le retour au domicile.

Les consignes concernent la population générale et les sous-populations plus sensibles et vulnérables à la pollution de l'air⁶.

Les consignes n'incluent pas les recommandations et mesures de mise en sécurité des populations non liées à la pollution de l'air générée par les incendies de végétation, telles que celles relevant des dispositifs d'évacuation des populations par exemple. Les consignes relatives aux établissements publics ou commerciaux sont également exclues.

Les consignes formulées par des institutions françaises sont présentées dans le chapitre 3.3.1.1 suivant. Les consignes complémentaires apportées par des institutions à l'international sont présentées dans le chapitre 3.3.1.2.

3.3.1.1. En France

Les politiques publiques de prévention et de lutte contre les incendies de forêt et de végétation sont menées par différents acteurs selon les échelles géographiques concernées.

À l'échelle nationale, trois ministères sont impliqués (OFF 2023b) :

- le ministère en charge de l'agriculture, notamment pour le pilotage de la stratégie nationale de Défense de la forêt contre les incendies (DFCI) ;
- le ministère en charge de l'écologie et de la prévention des risques, notamment au travers de la maîtrise de l'urbanisation (PPRn⁷, dont font partie les PPRif⁸), de la sensibilisation et de l'information préventive ;

⁶ Selon la définition du ministère du travail, de la santé et des solidarités établie pour les recommandations sanitaires en cas de pic de pollution (MTSS, 2022) :

- les populations vulnérables comprennent les femmes enceintes, les nourrissons et jeunes enfants, les personnes de plus de 65 ans, les personnes souffrant de pathologies cardiovasculaires, les insuffisants cardiaques ou respiratoires, les personnes asthmatiques ;
- les populations sensibles comprennent les personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics (par exemple : personnes diabétiques, personnes immunodéprimées, personnes souffrant d'affections neurologiques ou à risque cardiaque, respiratoire, infectieux).

Selon une récente expertise de l'Anses (Anses 2023a), les personnes en surpoids ou obèses, les ex-fumeurs et fumeurs ainsi que les personnes de plus bas niveau socio-économique pourraient également faire partie des personnes présentant un risque augmenté d'effets de la pollution particulaire (PM_{2,5}) sur la santé.

⁷ PPRn : plans de prévention des risques naturels

⁸ PPRif : plans de prévention des risques d'incendie de forêt

- Le ministère en charge de la sécurité civile dans le cadre de la lutte contre les incendies pilotée par la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC).

Ils sont appuyés par différents établissements publics : le Centre national de la propriété forestière (CNPF), l'ONF, Météo-France, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), ainsi que l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

Des recommandations sur « *la politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique* » ont été formulées dans deux récents rapports interministériels. Le premier (tome 1) formule des recommandations pour adapter la stratégie de prévention et poursuivre l'amélioration continue de la lutte, principalement à travers des propositions d'actions à court terme (Mortier et al. 2023a). Le second (tome 2) recommande des stratégies de plus long terme (Mortier et al. 2023b), en considérant les résultats de modélisations climatiques qui constituent selon les auteurs « *une enveloppe au sein de laquelle il est jugé probable que se situera l'évolution réelle du changement climatique à moyen et long termes* ».

À l'échelle territoriale, ce sont le préfet pour le département, et le maire pour la commune, qui disposent des compétences en matière de prévention et de lutte contre les incendies de végétation. Ils sont chargés d'adapter les éléments nationaux aux spécificités territoriales et d'apporter des restrictions complémentaires en cas de situation exceptionnelle.

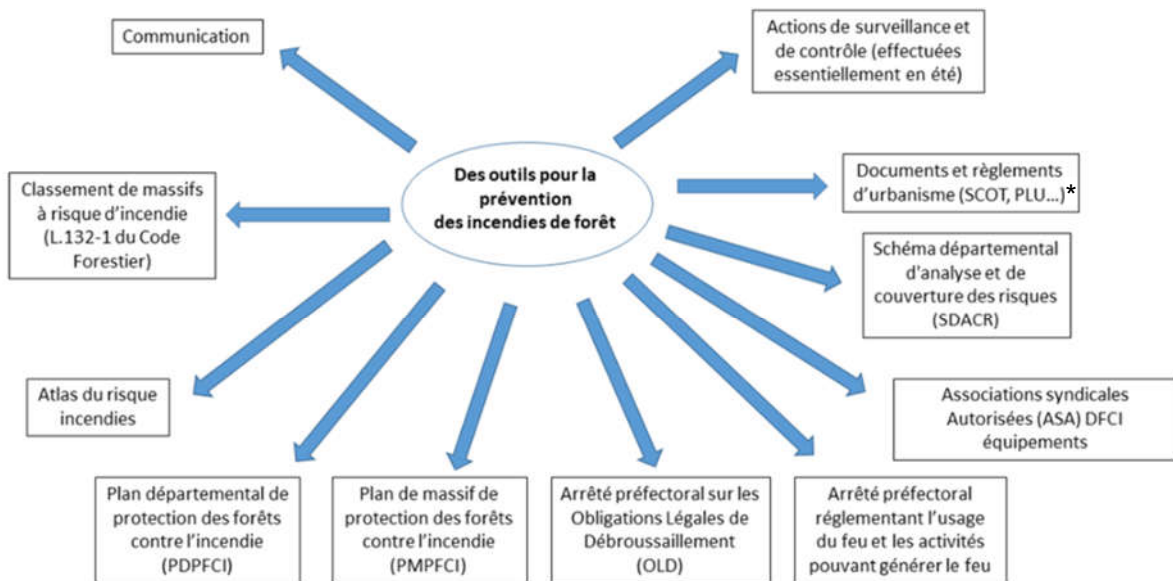
En effet, la stratégie nationale de Défense de la forêt contre les incendies (DFCI) mise en œuvre par l'État au travers du Titre III du Livre Ier du code forestier distingue les mesures applicables sur l'ensemble du territoire national (articles L131-1 et suivants), de celles spécifiques aux bois et forêts classés à « risque d'incendie » (articles L132-1 et suivants) et aux territoires réputés particulièrement exposés au risque d'incendie (articles L133-1 et suivants) (OFF 2023b). De ce fait, selon les territoires et la période de l'année, les différents dispositifs utilisés pour la défense des forêts contre les incendies et pour la prévention des risques d'incendies de forêts (Figure 5) peuvent être, soit des obligations législatives et réglementaires, soit des recommandations.

Dans les communes les plus exposées à un risque d'incendie de forêt, l'État élabore des plans de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRif), qui répondent aux objectifs de non aggravation de l'exposition et de réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens en :

- délimitant des zones d'exposition aux risques à l'intérieur desquelles des constructions ou des aménagements sont interdits, tout en permettant sur d'autres zones un développement raisonné et sécurisé, là où l'intensité de l'aléa le permet,
- définissant des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde ainsi que des mesures relatives à l'aménagement, à l'utilisation ou à l'exploitation de constructions, d'ouvrages ou d'espaces cultivés ou plantés existant à la date d'approbation du plan.

La loi du 10 juillet 2023⁹ a créé la « zone de danger », équivalent à un PPRif simplifié, qui constitue une servitude d'utilité publique.

⁹ Loi n° 2023-580 du 10 juillet 2023 visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie (voir notamment l'article 26)



Source : DDT37, adaptation CNPF, ONF

* Plan de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRif) annexé au document d'urbanisme (PLU ou POS)

Figure 5. Schéma des principaux dispositifs pour la défense des forêts contre les incendies et pour la prévention des risques d'incendies de forêt (adapté de OFF 2023b)

Afin de protéger la population des incendies de végétation, les institutions françaises formulent diverses consignes.

Dans son rapport de 2012 sur les effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre, l'Anses avait relevé des exemples de consignes pour protéger la population des fumées d'incendies de végétation (Anses 2012). Ces dernières étaient formulées à partir des directives de santé pour les incendies de végétation publiées par l'Organisation mondiale de la santé (Schwela et al. 1999) et du document guide destiné aux responsables de santé publique concernant les incendies de végétation publié par l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA 2008). Depuis, de nouvelles consignes ont été publiées et sont ainsi venues s'ajouter à celles existantes.

Les consignes identifiées et rapportées dans les tableaux 1, 2 et 3 suivants, sont publiées par différentes sources institutionnelles (ministères, agences nationales de santé, agences régionales de santé, préfectures) *via* des rapports ou des pages internet dédiées. Une source non institutionnelle a été ponctuellement utilisée (Feux de Forêt 2020) car elle permettait de préciser utilement deux consignes institutionnelles. Lorsque plusieurs consignes étaient redondantes, elles ont été regroupées en une seule et même consigne. Pour ces regroupements, la formulation des consignes identifiées a été ajustée au besoin, sans en altérer le sens. Elles s'appliquent en période de risque incendie et certaines peuvent être des obligations légales selon le territoire et la période de l'année (réglementation sur l'emploi du feu, brûlage de déchets verts, obligations légales de débroussaillage, etc.). Les obligations réglementaires en cours peuvent être obtenues auprès des mairies ou préfectures.

Dans le cas où les consignes formulées par les institutions françaises sont similaires à celles formulées par des institutions à l'international, les références et compléments apportés par ces dernières ont été précisés. Les autres consignes formulées par des institutions à l'international sont rapportées au chapitre 3.3.1.2.

Il est à noter que certains enseignements émergents issus de la littérature scientifique ne font pas encore l'objet de consignes particulières formulées par des institutions publiques françaises. Par exemple, d'après une récente étude (Li *et al.* 2023), pour la phase de préparation aux incendies, les activités de nettoyage des surfaces (aspirateur, serpillière et dépoussiérage) permettraient d'éliminer physiquement les réservoirs surfaciques de polluants et donc de réduire les concentrations de COV dans les fumées intérieures plus efficacement que les purificateurs d'air portables et de manière plus durable que l'ouverture des fenêtres.

Les tableaux suivants présentent les consignes pour chacune des trois phases :

- la préparation aux incendies (Tableau 1),
- la protection ou réduction du risque pendant les incendies (Tableau 2) et
- le retour au domicile (Tableau 3).

Dans chacun des tableaux, les consignes sont réparties en trois catégories : celles s'appliquant en milieu extérieur, celles s'appliquant en milieu intérieur ou au domicile et celles relatives aux actions individuelles.

Tableau 1. Consignes pour la préparation aux incendies de végétation à destination de la population générale et des populations vulnérables et sensibles (France)

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
Se renseigner auprès des autorités locales (mairie, préfecture) ou des gestionnaires des espaces naturels pour connaître les obligations légales en vigueur. Elles peuvent varier selon la temporalité et le lieu.		(MTECT 2023)	/	/
En extérieur	Ne pas fumer en forêt, ne pas jeter de mégots de cigarettes et ne pas faire de barbecue.	(Anses 2012; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; MI 2023)	/	/
	Réaliser ses travaux loin de la pelouse et des herbes sèches et prévoir un extincteur à portée de main en cas de départ de feu.	(Préf. Drôme 2023; MI 2023)	/	/
	N'opérer aucun brûlage pendant la période à risque d'incendie ni en cas de vent fort.	(MI 2023)	/	/
	Ne pas organiser de feux d'artifice sans faire appel à des professionnels.	(MI 2023)	/	/
En intérieur / à domicile	Repérer les chemins d'évacuation et les abris.	(Préf. AM 2021; MI 2023; Préf. AHP 2023)	Trouver plusieurs moyens de quitter la région si besoin. Apprendre ses itinéraires d'évacuation et s'entraîner avec sa famille et ses animaux de compagnie. Prendre en compte que certains refuges n'acceptent pas les animaux de compagnie. Inclure des plans d'évacuation pour les personnes en situation de handicap, y compris l'accès et les besoins fonctionnels, ainsi que les animaux d'assistance, les animaux de compagnie et le bétail.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; CDC 2023; CDPH 2022; Gov. CA 2023b; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Prévoir des moyens de lutte contre le feu (points d'eau, extincteurs).	(Anses 2012; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; MI 2023)	Garder les extincteurs de type ABC à portée de main et s'assurer que toutes les personnes présentes dans la maison savent comment les utiliser et savent où ils sont conservés. S'assurer de les inspecter périodiquement et de les remplacer aussi souvent qu'indiqué dans le manuel du propriétaire. Trouver une source d'eau extérieure avec un tuyau pouvant atteindre n'importe quelle zone de la propriété.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b; Gov. WA, s. d.; QFES 2023)
	Avoir une réserve de plusieurs jours de provisions non périssables ne nécessitant pas de cuisson, la cuisson (en particulier fritures et grillades) pouvant augmenter les niveaux de pollution de l'air intérieur.	(Anses 2012)	/	(US EPA 2021; CDC 2023)

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
	Avant l'été, débroussailler autour de sa maison. Couper la végétation basse et élaguer les arbres pour qu'ils ne se touchent pas. L'objectif est d'éviter que le feu n'atteigne son habitation. Dans les zones à risque, c'est une obligation.	(Anses 2012; Préf. AM 2021; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)	Tondre la pelouse régulièrement. Tailler les arbustes, les branches basses des arbres (moins de deux mètres du sol) et les branches qui surplombent la maison. Réduire la végétation le long des chemins d'accès. Planter de la végétation moins inflammable, y compris des plantes et des arbres à faible teneur en huile et à forte teneur en eau et en sel. Développer un potager bien géré, car il peut constituer une excellente coupure de carburant. Planter des arbres et des arbustes en les espaçant afin qu'ils ne forment pas un couvert forestier continu (Gov. SA (2023)).	(FEMA, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Ne pas planter de végétaux près des ouvertures de son domicile et élaguer les arbres qui ombragent les habitations. Ne laisser aucune branche à moins de 3 mètres de sa maison.	(MI 2023)	Une gestion de la végétation par zonage autour de sa propriété est proposée. Par exemple (FEMA) : Zone 1) Distance inférieure à 30 pieds (10 mètres) : aucun matériau combustible ; remplacer la végétation inflammable ; tailler les branches et les arbustes pour créer 15 pieds (5 mètres) d'espace depuis la structure, depuis le sol et entre les arbres. Zone 2) 30 à 100 pieds (10 à 30 mètres) : remplacer la végétation inflammable ; créer des « coupe-feu » tels que des chemins et des allées en gravier ; tailler les branches des arbres jusqu'à 2 à 3 mètres du sol. Zone 3) 100 à 200 pieds (30 à 60 mètres) : retirer les sous-bois et éclaircir la végétation, s'assurer que le bois de chauffage est placé à au moins 100 pieds (30 mètres) de la structure et empêcher les grands arbres de créer des auvents touchants.	(FEMA, s. d.; Gov. BC, s. d.)
	Ne pas brûler les déchets verts chez soi mais les mettre à la déchèterie.	(MI 2023)	/	/
	Réaliser les barbecues chez soi, sur une terrasse et loin de la végétation qui peut s'enflammer.	(MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; MI 2023)	/	/
	Vérifier l'état des fermetures, portes, volets et de la toiture.	(Préf. AM 2021; MI 2023; Préf. AHP 2023)	/	/
	Nettoyer la toiture des feuilles et/ou aiguilles.	(Préf. AHP 2023)	/	(QFES 2023)
	Stocker les matériaux et produits inflammables (bois, bouteilles de gaz) dans un abri fermé, éloigné de son habitation.	(MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; MI	Eloigner les matériaux et produits inflammables qui sont à l'intérieur et près de la maison, comme les branches, les feuilles, le paillis, les	(Gov. US 2022; Gov. CA 2023b; Gov. WA, s. d.;

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
		2023; Préf. AHP 2023)	débris secs, le bois de chauffage, les paniers suspendus et les meubles extérieurs. Déplacer les barbecues de propane vers l'extérieur, loin des structures. S'assurer que les zones souterraines sont exemptes de matériaux inflammables pendant l'été.	Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Dans une zone couverte par un plan de prévention du risque de feu de forêt, adapter sa maison pour sa sécurité (volet, gouttière, toiture, aération, etc.).	(MTECT 2023; Préf. Drôme 2023)	Dans la mesure du possible, utiliser des matériaux résistant au feu pour la construction, la rénovation ou les réparations et pratiquer un bon entretien. Se renseigner auprès de son service d'incendie local ou d'un ingénieur qualifié pour rendre sa maison résistante aux incendies. Les toits de tuiles nécessitent une isolation coupe-feu appropriée (<i>sarking</i>) immédiatement sous les tuiles. La toiture métallique offre plus de protection à condition qu'elle soit fermement fixée et scellée autour des événements, des lucarnes, des façades et des chapeaux de toit.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b; Gov. SA 2023)
	Ne pas installer de gouttière ou de descente en matière plastique.	(MI 2023)	/	/
	Équiper son conduit de cheminée d'un grillage pour éviter l'entrée des braises.	(MI 2023)	/	/
	Si l'utilisation d'un purificateur d'air portatif est prévue, s'assurer qu'il correspond bien aux dimensions de la pièce tel que spécifié par le fabricant, avant d'éventuels épisodes de fumée.	(Anses 2012)	Se procurer un purificateur d'air portable adapté à la taille de la pièce, particulièrement s'il y a des personnes sensibles dans le domicile. S'assurer qu'il ne produise pas d'ozone (des indications sur le choix du filtre sont proposées par le CDPH (2022)).	(CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. CA 2023a)
Actions individuelles	Préparer son « plan familial de mise en sûreté » (PFMS) composé notamment d'un kit de sécurité (radio à pile, piles de rechange, lampe de poche, eau potable, papiers importants...). Il permettra d'attendre l'arrivée des secours dans de meilleures conditions.	(Préf. AM 2021)	Disposer d'un plan d'urgence. Le passer en revue avec tous les membres de son ménage au moins une fois par année et actualiser les renseignements périmés. Penser également aux animaux de compagnie et au bétail. Un plan d'urgence qui identifie les options alternatives peut sauver la vie si pris dans un incendie. Certaines institutions proposent des aides à la réalisation du plan d'urgence : https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/plns/mk-pln-fr.aspx (Gov. CA 2023) ; https://mybushfireplan.wa.gov.au/ (Gov. WA) ; https://www.cfs.sa.gov.au/plan-prepare/before-a-fire-be-prepared/bushfire-safer-places/ (Gov. SA (2023)) ; https://www.ready.gov/plan (Gov. US (2022)).	(Gov. US 2022; CDC 2023; Gov. CA 2023a; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)

Consignes pour la préparation aux incendies	Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
		<p>Préparer un kit d'évacuation ou d'urgence contenant les articles essentiels et le conserver dans un endroit accessible et connu de tous.</p> <p>Prévoir des sacs à emporter pour la maison, le travail et son véhicule.</p> <p>Préparer des sacs à emporter pour les animaux avec de la nourriture, de l'eau, des laissees et des cages de transport. C'est une bonne idée d'inclure une photo récente et une copie des dossiers de vaccination et des renseignements médicaux.</p> <p>Certaines institutions proposent des exemples de kit : https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/kts/index-fr.aspx (Gov. CA (2023a)) ; https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety-and-emergency-services/emergency-preparedness-response-recovery/embc/preparedbc/preparedbc-guides/translations/preparedbc_wildfire_preparedness_guide_fr.pdf (Gov. BC p4-6) ; https://www.cfs.sa.gov.au/plan-prepare/before-a-fire-be-prepared/emergency-kits/ (Gov. SA (2023)).</p>	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
Pour les individus atteints de pathologie chronique, avoir une réserve suffisante de médicaments (plusieurs jours).	(Anses 2012)	Avoir une réserve des médicaments nécessaires à la maison et veiller à toujours en avoir avec soi pendant la saison des feux de forêt. Collaborer avec un professionnel de la santé pour mettre en place un plan qui vous permettra de savoir quoi faire si vos médicaments ne suffisent pas à stabiliser votre état.	(FEMA, s. d.; US EPA 2021; CDC 2023)
Les asthmatiques devraient disposer d'un plan de contrôle de l'asthme (plan écrit indiquant au patient le traitement, notamment la dose de médicament bronchodilatateur, à prendre selon les symptômes et quand consulter un professionnel de la santé).	(Anses 2012)	/	(Gov. CA 2023a)
Les individus atteints d'une pathologie cardiaque devraient examiner avec leur médecin les précautions à prendre en cas d'épisode de fumée.	(Anses 2012)	/	/

Tableau 2. Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (France)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
Dans toutes les situations, rester à l'écoute des consignes des autorités adaptées à la temporalité et au lieu (radio, télévision, réseaux sociaux, alertes sur téléphones portables). Se conformer aux consignes des autorités ainsi adaptées aux circonstances de l'incendie et qui prévalent sur les consignes générales listées ci-dessous.		(Préf. AM 2021; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; Préf. AHP 2023; MI 2023)	/	(WHO 2021; Gov. US 2022; US EPA 2021; Gov. CA 2023a; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)
En extérieur	Limiter les déplacements et le temps passé à l'extérieur.	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	/	(WHO 2021; US EPA 2021; CDPH 2022; CEPA, s. d.)
	Éviter si possible de conduire un véhicule. En cas de nécessité de conduire, utiliser si possible le climatiseur en mode « recyclage » ou « recirculation » d'air afin d'éviter l'introduction d'air enfumé dans le véhicule.	(Anses 2012)	Cette situation peut par exemple se présenter lors d'un ordre d'évacuation. Veiller à avoir ses phares allumés pendant la journée pour améliorer la visibilité. L'intérieur d'une voiture peut se réchauffer très rapidement et atteindre des températures supérieures à celles de l'extérieur. Ne jamais laisser les enfants et les animaux de compagnie sans surveillance dans une voiture.	(WHO 2021; US EPA 2021; CEPA, s. d.)
	En voiture, si possible, chercher un endroit dégagé pour y stationner. Si le front de feu traverse la route, s'abriter dans son véhicule, fermer les vitres et allumer ses feux pour être visible des secours.	(Préf. AM 2021; Préf. HS 2023; MI 2023)	La voiture ne doit pas être utilisée comme un refuge. Dans un véhicule, baser la décision de rester dans le véhicule ou de se mettre à l'abri à l'extérieur sur sa situation particulière, y compris la distance par rapport à l'incendie, la direction de l'incendie, la présence de carburant (par exemple des broussailles ou des arbres) à proximité du véhicule et les possibilités de sauvetage.	(FEMA, s. d.; US EPA 2021)
	À pied, rechercher un écran de protection (rocher, mur, maison en dur, voiture...).	(Préf. HS 2023; MI 2023)	/	/
	Dans la nature, s'éloigner de l'axe du feu et des fumées le plus rapidement possible.	(Préf. AM 2021; Préf. HS 2023; Préf. AHP 2023)	/	Gov. CA (2023a)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
	Éviter les activités physiques en plein air dans le secteur.	(Anses 2012; ARS NA 2023; ARS PDL 2022)	/	(US EPA 2021; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. BC, s. d.)
En intérieur / à domicile	N'évacuer que sur décision des sapeurs-pompiers ou des forces de l'ordre.	(Préf. AM 2021; MI 2023; Préf. AHP 2023)	/	/
	Se mettre à l'abri dans une habitation débroussaillée en attendant l'intervention des secours. La voiture n'est pas un abri sûr car elle pourrait brûler.	(MTECT 2023; Préf. Drôme 2023)	Partir tôt pour un endroit sûr. Ne pas oublier qu'attendre la toute dernière minute pour partir est extrêmement dangereux. La maison est la meilleure protection contre un feu de brousse seulement si elle est bien construite, entretenue et préparée. Cela devrait être la dernière option	(Gov. WA, s. d.)
	Rester autant que possible à l'intérieur.	(Anses 2012)	Cela peut dépendre de l'infiltration d'air extérieur à l'intérieur et de la température (CDPH 2022).	(WHO 2021; US EPA 2021; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Ouvrir le portail pour faciliter l'accès aux secours.	(Anses 2012; Préf. AM 2021; MI 2023; Préf. AHP 2023)	/	/
	Fermer les portes, volets, trappe de tirage de la cheminée, fenêtres, bouches d'aération et de ventilation. Arrêter les ventilations mécaniques contrôlées (VMC) durant les épisodes de fumées et n'aérer que lorsque les conditions le permettent.	(Anses 2012; ARS NA 2023; MI 2023; ARS PDL 2022)	En cas d'épisode simultané de chaleur extrême, et si besoin, ouvrir les fenêtres même si la fumée entre pour éviter les coups de chaleur. Pour la plupart des gens, il est plus risqué d'avoir trop chaud que de respirer la fumée (Gov. BC, US EPA (2021)). Ne pas verrouiller les portes en cas d'évacuation (FEMA).	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. CA 2023b; Gov. BC, s. d.)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies	Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international	
	Boucher les aérations et les bas de porte pour s'assurer que les fumées toxiques et les flammèches ne puissent pas pénétrer à l'intérieur.	(Préf. AM 2021; ARS NA 2023; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)	Sceller toutes les portes et fenêtres du mieux possible. Faire tremper les serviettes et les tapis dans l'eau et les poser à l'intérieur des portes extérieures (Gov. WA). Couvrir toutes les ouvertures de la maison avec du ruban adhésif pour conduits ou des morceaux de contreplaqué préfabriqués (Gov. CA 2023).	(US EPA 2021; Gov. CA 2023a; 2023b; Gov. WA, s. d.)
	Avant l'arrivée du feu, rentrer son tuyau d'arrosage. Il pourra être utile après le passage du feu pour éteindre les dernières braises.	(Préf. AM 2021; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)		
	Garer les véhicules vitres fermées contre les façades opposées à la direction du feu.	(Préf. AM 2021; MI 2023; Préf. AHP 2023)	Garer sa voiture le devant positionné en direction de la route. Garder les fenêtres de la voiture fermées.	(Gov. CA 2023b)
	Fermer et arroser volets, portes et fenêtres. Replier les bâches et stores.	(Préf. AM 2021; Préf. HS 2023; Préf. AHP 2023)	/	(WHO 2021)
	Enlever les éléments combustibles (linge, mobilier PVC, tuyaux...).	(Préf. AM 2021; Préf. AHP 2023)	Éloigner les matériaux inflammables (par exemple, les rideaux, les meubles) des fenêtres et des portes coulissantes en verre.	(FEMA, s. d.; Gov. WA, s. d.)
	Fermer les bouteilles de gaz (éloigner celles qui sont à l'extérieur) et couper l'électricité.	(Préf. AM 2021; Préf. AHP 2023)	/	/
	Conserver une bonne qualité de l'air intérieur du domicile en n'allumant aucune source de combustion (cigarette, bougie, encens, etc.).	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	Éviter d'utiliser des bougies, du gaz, du propane, des poêles à bois, des cheminées ou des aérosols et ne pas faire frire ou griller la viande, ne pas fumer de produits du tabac et ne pas passer l'aspirateur (préférer une serpillère mouillée ou un aspirateur à filtration HEPA).	(WHO 2021; US EPA 2021; FEMA, s. d.; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.)
	Éviter les travaux et activités ardues en intérieur.	(Anses 2012)	Possibilité de pratiquer une activité physique en intérieur si la qualité de l'air est acceptable.	US EPA (2021), CDPH (2022)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
	Si la pollution de l'air par les fumées atteint des niveaux malsains ou dangereux, il peut être approprié pour certains individus de rester dans une pièce propre du logement, de se délocaliser provisoirement vers un abri assurant une meilleure qualité de l'air, ou d'évacuer la zone impactée si c'est possible et sûr.	(Anses 2012)	Les bibliothèques et les centres commerciaux sont généralement équipés de systèmes de ventilation dotés de filtres et de systèmes de climatisation qui évitent aux personnes qui s'y trouvent d'être exposées à la fumée.	(WHO 2021; Gov. US 2022; FEMA, s. d.; US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. CA 2023a; Gov. BC, s. d.)
Actions individuelles	Témoin d'un début d'incendie, donner l'alerte en appelant le 112 (numéro d'appel européen), le 18 ou le 114 (personnes malentendantes) et essayer de donner la localisation du feu, si elle est connue.	(Préf. AM 2021; ARS NA 2023; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; Préf. HS 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)	Si visiblement un incendie approche le domicile ou la communauté, le signaler immédiatement en composant le numéro d'urgence national (9-1-1 aux USA) ou local.	(Gov. CA 2023b)
	En cas de développement de symptômes suggérant des problèmes pulmonaires ou cardiaques, consulter un médecin généraliste dès que possible et, à défaut, contactez le 15 (SAMU).	(Anses 2012; ARS NA 2023)	/	(Gov. US 2022; CDC 2023)
	L'utilisation d'un équipement jetable de protection respiratoire certifié (masque de type FFP2 ou FFP3 de la norme européenne harmonisée) peut fournir un certain niveau de protection contre l'exposition aux particules des fumées dans la mesure d'un modèle, d'une taille et d'un usage d'équipement appropriés. Le niveau de filtration doit être adapté à l'épaisseur des fumées et à la fragilité des personnes (ex : problèmes cardio-respiratoires, asthme, maladies pulmonaires, femmes enceintes, jeunes enfants...). Les masques de papier à une bride, masques chirurgicaux, et autres couvertures du visage	(Anses 2012; ARS NA 2023)	Les protections respiratoires sont un complément des autres mesures. Les personnes à risque (pathologies pulmonaires, personnes âgées) devraient consulter un médecin car les masques peuvent rendre la respiration plus difficile. Un masque certifié N95 (FFP2 en Europe) ou P100 (FFP3 en Europe) est recommandé pour les personnes devant rester à l'extérieur pendant de longues périodes ou dans des zones à forte fumée.	(WHO 2021; FEMA, s. d.; US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. CA 2023a)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
	fournissent probablement une protection bien moindre ou inexistante.			
	Boire en abondance afin de maintenir les membranes respiratoires humides.	(Anses 2012)	/	(Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023)
	Se couvrir le nez et la bouche d'un linge humide pour se protéger de la fumée et respirer à travers le tissu humide aussi longtemps que cela n'interfère pas avec la capacité de respirer.	(Anses 2012; ARS NA 2023; MTECT 2023; Préf. Drôme 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)	/	/
	Privilégier les habits en coton épais couvrant toutes les parties du corps, ne pas utiliser de tissus synthétiques. Se munir si disponibles de gants de cuir, d'une casquette ou d'un chapeau, de lunettes enveloppantes, d'un foulard et de chaussures montantes si possible en cuir.	(MI 2023; Feux de Forêt 2020)	/	(FEMA, s. d.; Gov. WA, s. d.)

Tableau 3. Consignes pour le retour au domicile après un incendie de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (France)

Consignes pour le retour au domicile		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
En extérieur	Sortir protégé (chaussures et gants en cuir, vêtements en coton, casquette ou chapeau, lunettes, foulard).	(Préf. AM 2021; Préf. AHP 2023; Feux de Forêt 2020)	/	(Gov. BC, s. d.)
	Utiliser le tuyau d'arrosage pour éteindre les dernières braises sans prendre de risque.	(Préf. AM 2021; MTECT 2023; Préf. HS 2023; Préf. AHP 2023)	/	/
	Se laver les mains à l'eau et au savon après les activités extérieures.	(ARS NA 2023)	/	/

Consignes pour le retour au domicile	Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international	
En intérieur / à domicile	Surveiller son habitation car des braises peuvent toujours être en contact avec un combustible (volet, avant-toit, charpente).	(ARS NA 2023; Préf. HS 2023; MI 2023; Préf. AHP 2023)Préf. NA (2021), Préf. HS (2023), MI (2023a), Préf. AHP (2023)	/	/
	Ne pas utiliser son aspirateur pour retirer les poussières, ainsi que tout souffleur, tout nettoyeur haute pression (type karcher) ou balayage à sec pouvant mettre en suspension des particules.	(Anses 2012; ARS NA 2023; ARS PDL 2022)	/	(FEMA, s. d.; US EPA 2021)
	Nettoyer les surfaces à l'eau uniquement : lingettes humidifiées pour les objets et meubles de la maison et serpillères humides pour les sols.	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	/	(US EPA 2021)
	Porter des gants lors des opérations de nettoyage ou de remise en état et se laver les mains à l'eau et au savon après retrait des gants.	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	Lors du nettoyage, porter des vêtements de protection, notamment une chemise à manches longues, un pantalon long, des gants de travail, des chaussettes et des chaussures solides à semelle épaisse. Porter des lunettes pour protéger ses yeux.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; CDC 2023)
	Évacuer l'eau restée stagnante dans le branchement d'eau destinée à la consommation : il est recommandé, comme après toute absence prolongée de son domicile, de laisser couler les robinets intérieurs pendant deux minutes avant de consommer l'eau pour la boisson.	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	Ne pas boire, ne pas se brosser les dents, ne pas préparer de nourriture et ne pas se laver / ne pas se baigner dans l'eau jusqu'à ce que les autorités indiquent que la source d'eau est sûre. Vidanger ou désinfecter les réservoirs d'eau de pluie contaminée.	(FEMA, s. d.; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)
	Vérifier le bon fonctionnement des équipements des piscines : filtration, désinfection et retrait des déchets à l'épuisette.	(ARS NA 2023)	Vider ou chlorer les piscines.	(Gov. WA, s. d.)

Consignes pour le retour au domicile		Sources en France	Compléments apportés par les sources internationales	Sources à l'international
Actions individuelles	Pour les personnes à risques et les femmes enceintes, le port du masque FFP2 est recommandé pour les opérations de nettoyage.	(ARS PDL 2022; ARS NA 2023)	Utiliser un masque respiratoire pour limiter son exposition, et mouiller les débris pour minimiser la respiration des particules de poussière. Les personnes souffrant d'asthme, de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) et/ou d'autres affections pulmonaires doivent prendre des précautions dans les zones où la qualité de l'air est mauvaise, car elle peut aggraver les symptômes. Les enfants ne doivent pas participer aux efforts de nettoyage.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. WA, s. d.)
	Éviter tout contact avec la suie, les cendres et les poussières.	(ARS NA 2023)	Enlever la suie et la fumée avec de l'eau et du savon doux ou un détergent. Laver la suie et la fumée des vêtements en mélangeant les articles blanchissables avec 4 à 6 cuillères à soupe de lessive en poudre, 1 tasse d'eau de Javel domestique et 4 litres d'eau tiède. Après avoir lavé ses vêtements avec ce mélange, rincer à l'eau puis sécher.	(CDC 2023; Gov. WA, s. d.)
	Laver à l'eau les légumes et fruits du jardin avant consommation et éplucher les légumes racine et tubercules.	(ARS NA 2023)	Jeter les aliments exposés à la chaleur, à la fumée ou à la suie.	(FEMA, s. d.)
	Consommer uniquement des œufs vendus en magasins : par principe de précaution, en attendant les résultats des prélèvements effectués dans les élevages, il est déconseillé de consommer les œufs issus des poulaillers de particuliers.	(ARS NA 2023)	/	/

3.3.1.2. A l'international

Afin de compléter les consignes propres à la France et de proposer un état des lieux plus large de l'existant, des consignes formulées par des institutions internationales ou étrangères ont également été recensées (sources gouvernementales, agences nationales de santé, services de lutte contre les incendies). Des sources étasuniennes, canadiennes et australiennes ont été recherchées. Ces pays sont en effet particulièrement touchés par le phénomène des incendies de végétation et ont publié plusieurs référentiels en matière de consignes à la population. Seules sont présentées les consignes différentes des consignes françaises, les consignes similaires étant présentées dans la partie 3.3.1.1. Les consignes recensées à l'international sont présentées à titre informatif et ne sont pas comparées avec les consignes françaises.

Comme dans la partie précédente, les consignes similaires ont été regroupées sans en altérer le sens.

Les tableaux suivants présentent de la même façon les consignes pour chacune des trois phases :

- la préparation aux incendies (Tableau 4),
- la protection ou réduction du risque pendant les incendies (Tableau 5) et
- le retour au domicile (Tableau 6).

Dans chacun des tableaux, les consignes sont réparties selon les trois mêmes catégories : celles s'appliquant en milieu extérieur, celles s'appliquant en milieu intérieur ou au domicile et celles relatives aux actions individuelles.

Tableau 4. Consignes pour la préparation aux incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises)

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources
En extérieur	Jeter correctement les briquettes de charbon de bois et les cendres de cheminée. Ne jamais laisser un feu extérieur sans surveillance. Éteindre complètement tous les feux extérieurs (par exemple, les feux de camp, les grils et les foyers extérieurs) et s'assurer qu'ils sont froids au toucher avant de quitter la zone.	(FEMA, s. d.)
	Garder les grils à gaz et les réservoirs de propane à au moins 15 pieds (4,5 mètres) de toute structure. Dégager une zone de 15 pieds (4,5 mètres) autour du gril. Ne pas utiliser le gril dans des conditions météorologiques d'incendie potentiellement dangereuses. Toujours avoir un extincteur ou un tuyau d'incendie à proximité.	(FEMA, s. d.)
	Ne pas utiliser de soudeuses ou tout autre équipement créant des étincelles à l'extérieur par temps sec et venteux.	(FEMA, s. d.)
	Ne pas garer de véhicules dans des herbes hautes et sèches si les autorités ont émis une veille météorologique en cas d'incendie ou si un avertissement météorologique/drapeau rouge a été émis. Les systèmes d'échappement sont très chauds et peuvent enflammer l'herbe sèche.	(FEMA, s. d.)
En intérieur / à domicile	Veiller à ce que les camions de pompiers disposent d'un espace suffisant pour accéder à la maison (au moins quatre mètres de large et de haut avec une aire de retournement).	(Gov. WA, s. d.; QFES 2023)
	Installer un système d'arrosage pour arroser la maison et le jardin afin de réduire l'effet de la chaleur radiante, des étincelles et des braises. Tous les raccords doivent être en métal, car le plastique fond.	(Gov. SA 2023)
	Assurer l'accès à un approvisionnement en eau indépendant tel qu'un réservoir, un barrage ou une piscine d'au moins 5 000 litres. Ne pas compter sur la disponibilité de l'eau du réseau en cas d'incendie.	(Gov. SA 2023)
	Stocker des masques N95 (équivalent FFP2 en Europe) approuvés par le <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> (NIOSH).	(Gov. US 2022; CDC 2023; CDPH 2022)
	Colmater les interstices par où les braises pourraient pénétrer ou s'accrocher (sous les planchers, sous les terrasses, dans les combles, sous les toits et avant-toits, les bouches d'aération extérieures, les lucarnes, les cheminées et les revêtements muraux).	(Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Stocker les matériaux et produits inflammables dans des conteneurs de sécurité approuvés.	(FEMA, s. d.)

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources
	S'assurer que les bouteilles de gaz sont enchaînées / fixées à la verticale. Tenir les bouteilles de gaz à l'écart de la direction probable de l'incendie (Gov. SA (2023)). Vérifier que les valves d'échappement du gaz soient dans le sens opposé à la propriété (Gov. SA (2023), QFES (2023)).	(Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Installer ou utiliser un mur de pierre, une barrière de terre ou une clôture solide à proximité de la maison comme écran de protection contre le feu ou la chaleur.	(Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023)
	Installer un grillage métallique sur toutes les fenêtres, les portes et les bouches d'aération, ainsi qu'un écran de protection sur les systèmes de climatisation.	(Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	Etre prudent lors du transport des produits ménagers inflammables ou combustibles pouvant provoquer des incendies ou des explosions s'ils sont mal manipulés, tels que les aérosols, les huiles de cuisson, l'alcool à friction et le désinfectant pour les mains.	(Gov. US 2022)
	Avant que la fumée arrive, mettre à niveau son climatiseur ou augmenter la qualité du filtre du système de climatisation central.	(FEMA, s. d.; Gov. CA 2023a)
	S'assurer que les détecteurs de fumée sont placés à tous les niveaux de la maison, et de préférence dans chaque chambre. Tester les détecteurs de fumée une fois par mois. Les piles devraient être remplacées tous les 6 mois, tandis que l'alarme elle-même devrait être remplacée une fois tous les 10 ans.	(Gov. CA 2023b)
	Veiller à avoir au moins un avertisseur de monoxyde de carbone (CO) fonctionnel dans sa maison.	(Gov. CA 2023a)
Actions individuelles	Savoir comment contacter sa famille et ses amis en cas d'urgence. Enregistrer les numéros de contacts importants dans son téléphone. Les systèmes de téléphonie fixe et cellulaire sont souvent débordés à la suite d'une catastrophe. Préférer les textos, les courriels et les réseaux sociaux. Avoir un téléphone portable de rechange gardé entièrement chargé en cas d'urgence.	(FEMA, s. d.)
	Se renseigner auprès de son assurance habitation et automobile sur les dommages couverts en cas de catastrophe attribuable à un feu de forêt et sur les frais de subsistances couverts en cas d'ordonnance d'évacuation obligatoire. Photographier ou filmer ses biens et effets personnels.	(FEMA, s. d.; Gov. BC, s. d.; Gov. SA 2023; QFES 2023)
	S'assurer que ses polices d'assurance et ses documents personnels, comme une pièce d'identité, sont à jour. Faire des copies et les conserver dans un espace numérique sécurisé et protégé par un mot de passe. (Gov. US (2022)). Conserver les papiers dans une boîte ignifuge et étanche. Si les enregistrements sont stockés électroniquement, conserver un disque de sauvegarde dans une boîte ignifuge et étanche ou stocker les fichiers à l'aide d'un service cloud sécurisé (FEMA).	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.)

Consignes pour la préparation aux incendies		Sources
	<p>Rester informé des conditions météorologiques et des indices de qualité de l'air dans sa région. Être particulièrement attentif aux conditions météorologiques susceptibles de déclencher un incendie, comme les sécheresses et les orages.</p> <p>Surveiller les indices de risque incendie.</p> <p>Selon son lieu de séjour, disposer de plusieurs moyens pour recevoir les alertes (radio, application sur téléphone portable, réseaux sociaux, numéro de téléphone, site web...).</p>	<p>(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b; 2023a; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.; Gov. SA 2023)</p>
	<p>S'assurer que son véhicule ait assez de carburant. Si l'évacuation devient nécessaire, il sera difficile de s'arrêter pour de l'essence. Selon la région ou la distance à parcourir, acheter des bidons d'essence supplémentaires approuvés.</p>	<p>(Gov. CA 2023b; Gov. BC, s. d.)</p>
	<p>Garder des couvertures en laine dans sa voiture pour se protéger des braises volantes au cas où vous seriez pris sur la route.</p> <p>S'assurer d'avoir un approvisionnement en eau potable dans sa voiture.</p>	<p>(Gov. WA, s. d.; QFES 2023)</p>

Tableau 5. Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources
En extérieur	Etre conscient de toute ligne électrique endommagée qui peut causer l'électrocution. S'assurer de rester à au moins 10 mètres d'elles pour éviter les blessures. Ne pas essayer de traverser les zones susceptibles d'être touchées par les lignes électriques abattues.	(Gov. CA 2023b)
En intérieur / à domicile	Enlever le mode « automatique » du système de climatisation central et le faire fonctionner en continu. Utiliser un filtre à haute efficacité (HEPA) dans le système de climatisation central.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. BC, s. d.)
	Porter des manches longues, des pantalons longs et des bottes en cuir au cas où il serait nécessaire de partir.	(Gov. WA, s. d.)
	Eteindre tous les incendies localisés sur sa propriété. Ne pas oublier de vérifier la cavité du toit pour déceler tout incendie localisé.	(Gov. WA, s. d.)
	Utiliser un purificateur d'air, surtout pour les personnes à risques. Choisir un purificateur d'air qui élimine efficacement les particules sans produire d'ozone (seulement les purificateurs d'air portables ne produisant pas plus de 0,050 ppm devraient être utilisés). Le placer à l'endroit où les personnes passent le plus de temps (plus d'informations sur le choix des purificateurs sont proposées par l'US EPA (2021) et le CDPH (2022)).	(Gov. US 2022; US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.; Gov. BC, s. d.)
	Les purificateurs d'air « faits maison » réalisés en attachant un filtre à haute efficacité à un ventilateur doivent être utilisés avec précaution et seulement en présence de personnes éveillées pour éviter tout danger électrique. Le ventilateur utilisé doit être récent et disposer d'un dispositif de sécurité thermique (bouchon à fusible) (plus d'informations sur leur fabrication sont proposées par l'US EPA (2021)).	(US EPA 2021; CDC 2023; CDPH 2022; CEPA, s. d.)
	Ne pas utiliser de générateur d'ozone. L'US EPA et la <i>California Air Resources Board</i> s'accordent sur le fait qu'ils sont plus néfastes que bénéfiques. Les fabricants de générateurs d'ozone affirment que l'ozone peut éliminer les moisissures et les bactéries de l'air, mais cela ne se produit que lorsque l'ozone est libéré à des niveaux plusieurs fois supérieurs à ceux connus pour nuire à la santé humaine.	(US EPA 2021)
	Les humidificateurs et déshumidificateurs (selon l'environnement) ne sont pas des purificateurs d'air mais peuvent réduire légèrement les polluants par condensation, absorption et autres mécanismes. Dans un environnement aride, l'un des avantages possibles du fonctionnement d'un humidificateur pendant un événement de fumée pourrait être d'aider les muqueuses à rester confortablement humides, ce qui peut réduire l'irritation des yeux et des voies respiratoires. Cependant, s'ils ne sont pas correctement nettoyés et entretenus, certains humidificateurs peuvent faire circuler des spores de moisissures et d'autres contaminants biologiques.	(US EPA 2021)

Consignes pour la protection ou réduction du risque pendant les incendies		Sources
	<p>Pour les climatiseurs par évaporation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faire fonctionner le climatiseur pour mouiller les tampons filtrants. - Eteindre l'appareil lorsque de la fumée envahit la maison ou que des cendres commencent à tomber dans la maison. - Si possible, continuer à faire couler de l'eau sur le filtre avec le ventilateur éteint. - Si l'eau ne peut pas couler d'elle-même ou s'il y a une panne de courant, mouiller les tampons filtrants à l'aide d'un tuyau d'arrosage. 	(Gov. WA, s. d.)
Actions individuelles	Suivre l'évolution des incendies près de chez soi afin d'être prêt.	(CDC 2023)
	Si un ordre d'évacuation est donné ou s'il faut quitter le domicile, s'assurer de se munir de son kit ou sa trousse d'urgence composée des articles essentiels ¹⁰ .	(Gov. CA 2023b)
	Protéger les animaux de compagnie et le bétail (le CDC propose des ressources dédiées : https://www.cdc.gov/healthypets/keeping-pets-and-people-healthy/emergencies.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fhealthypets%2Femergencies%2Findex.html)	(CDC 2023; CDPH 2022)
	Communiquer avec ses parents et voisins âgés pour voir s'ils ont besoin d'aide. Si vous êtes à l'aise de le faire, poster un message public indiquant sa destination et comment pouvoir être contacté.	(Gov. CA 2023b)

¹⁰ Les consignes relatives à la préparation de son kit ou de sa trousse d'urgence sont disponibles dans le Tableau 1, dans la partie relative aux actions individuelles.

Tableau 6. Consignes pour le retour à domicile après les incendies de végétation à destination de la population générale et des populations sensibles (International, consignes non similaires aux consignes françaises)

Consignes pour le retour au domicile		Sources
Ne rentrer pas au domicile avant que les autorités ne disent qu'il est possible de le faire en toute sécurité.		(Gov. US 2022; Gov. CA 2023b; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)
Suivre les recommandations de son service de santé local. Par exemple, les autorités peuvent recommander des injections contre le tétanos parce que des bactéries peuvent être présentes dans un sol contaminé.		(FEMA, s. d.)
En extérieur	Éviter les cendres chaudes, les arbres carbonisés, les débris fumants et les braises vivantes. Le sol peut contenir des poches de chaleur qui peuvent brûler ou déclencher un autre incendie.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.)
	Se rappeler que l'on peut rencontrer des conditions qui rendent la marche ou la conduite difficile. Les routes peuvent être jonchées de débris, des arbres peuvent être tombés et les feux de signalisation peuvent ne pas fonctionner.	(Gov. CA 2023b)
	Etre conscient que toute ligne électrique endommagée peut causer l'électrocution. S'assurer de rester à au moins 10 mètres d'elles pour éviter les blessures. Ne pas essayer de traverser les zones susceptibles d'être touchées par les lignes électriques abattues.	(Gov. CA 2023b)
En intérieur / à domicile	Parce qu'un incendie endommage la stabilité d'une structure, demander à un professionnel d'examiner sa maison pour déterminer la sécurité avant d'y entrer.	(FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b; Gov. WA, s. d.)
	Lorsque l'on rentre chez soi, être attentif aux dangers potentiels tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Électricité sous tension et lignes électriques endommagées ou à terre ; - Fuite de gaz (odeur ou sifflement) ; - Fuite de fosse septique ou d'eaux usées ; - Souches brûlées, arbres et sols brûlés qui peuvent être encore chauds ; - Arbres tombés, branches basses et tombantes ; - Infrastructures endommagées, notamment murs, ponts, routes et sentiers ; - Retardateurs de flamme et mousses de classe A (plus d'informations : https://publications.dfes.wa.gov.au/publications/use-of-retardant-and-a-class-foams-during-bushfire-operations) 	(Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)
	Etre extrêmement prudent en entrant dans les bâtiments. Vérifier qu'il n'y a pas d'incendie continu et que les bâtiments ne sont pas instables. Vérifier le grenier. Si de la fumée ou du feu sont visibles, quitter le domicile et appeler les secours.	(FEMA, s. d.)
	Jeter les aliments réfrigérés/congelés gâtés et ceux qui ont été stockés dans un réfrigérateur/congélateur ayant été exposé au feu ou ayant subi une panne de courant, même si le courant a été rétabli. Jeter les aliments périssables s'ils n'ont pas été réfrigérés pendant deux heures. En cas de doute, les jeter.	(Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)

Consignes pour le retour au domicile		Sources
	Les aliments en conserve devraient être sûrs, à moins que la boîte ne soit bombée, rouillée ou très bosselée. Tous les produits en conserve intacts doivent être lavés et désinfectés s'ils ont été exposés à la fumée. Les aliments conservés dans des pots de verre exposés à la chaleur doivent être jetés, car les joints d'étanchéité peuvent s'être brisés.	(Gov. CA 2023b)
	Il est presque impossible d'éliminer l'odeur de fumée des plumes ou de la mousse, mais les matelas endommagés peuvent être restaurés par une entreprise qui fabrique et répare des matelas. Si son matelas doit être utilisé temporairement, le mettre d'abord au soleil pour qu'il sèche, puis le recouvrir d'une bâche en caoutchouc ou en plastique.	(Gov. WA, s. d.)
	Retirer la suie ou la poussière en lavant les ustensiles de cuisine avec de l'eau savonneuse, puis en les polissant avec un nettoyant en poudre fine.	(Gov. WA, s. d.)
Actions individuelles	Photographier ou filmer les dommages causés à sa propriété et contacter son agent d'assurance. Faire ce qu'il est possible pour éviter d'autres dommages à sa propriété (par exemple, mettre une bâche sur un toit endommagé), car l'assurance peut ne pas couvrir les dommages supplémentaires qui surviennent après un incendie. Conserver un registre de toutes les réparations d'urgence effectuées. Conservez tous les reçus liés au nettoyage et aux frais de subsistance si vous avez été déplacé. Si possible, réunir des preuves d'achat, des photos, des reçus et des garanties. Ne rien jeter, sauf si cela présente un danger pour la santé, jusqu'à ce que sa compagnie d'assurance autorise à le faire.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. BC, s. d.; Gov. WA, s. d.)
	Si non assuré, demander à un constructeur ou à un consultant en construction d'évaluer les dommages causés à son domicile et d'obtenir un rapport écrit des dommages qui aidera à établir des devis pour les réparations nécessaires.	(Gov. WA, s. d.)
	Envoyer des SMS ou utilisez les médias sociaux pour contacter sa famille et ses amis. Les systèmes téléphoniques sont souvent occupés après une catastrophe. Ne passer des appels qu'en cas d'urgence.	(Gov. US 2022; FEMA, s. d.; Gov. CA 2023b)

In fine, ce regroupement effectué des consignes formulées par des institutions françaises et des institutions internationales, visant à protéger la population générale et les populations sensibles des fumées d'incendies de végétation, pourront utilement contribuer au développement de la communication grand public à grande échelle, tel que proposé dans la rubrique 2 du plan d'action de la mission CGAAER-IGEDD-IGA « *risque incendie forêt* » (Mortier et al. 2023a).

3.3.2. Consignes pour les sapeurs-pompiers

Dans ce paragraphe, est présenté un état des lieux des consignes pour les sapeurs-pompiers en France et à l'international. Comme pour l'état des lieux des consignes pour la population générale et les populations vulnérables et sensibles, les consignes recensées à l'international sont présentées à titre informatif et ne sont pas comparées avec les consignes françaises.

Ces sections présentent, dans un premier temps, les équipements de protection individuels (EPI) en vigueur puis les recommandations pour la prévention des risques sanitaires liés aux fumées d'incendies de feux de végétation.

3.3.2.1 En France

Le personnel intervenant dans la lutte contre le feu, désigné par le terme « sapeurs-pompiers », englobe les sapeurs-pompiers professionnels, volontaires ou militaires de tous les services d'incendie et de secours (BMPM¹¹, BSPP¹², SDIS¹³, SDMIS¹⁴ et les SIS¹⁵ de Corse). Lors de leurs activités, ils peuvent être exposés à des agents chimiques ou biologiques par inhalation, ingestion, voie cutanée ou voie oculaire (DGSCGC 2020).

Leur exposition aux fumées des incendies de végétation diffère de celle de la population générale par sa fréquence, sa durée et son intensité, et par les efforts physiques induits par leurs activités de lutte contre le feu. Les risques sanitaires liés à l'exposition aux fumées peuvent être présents dans les différentes phases de l'opération de lutte contre le feu (Anses 2019) :

- L'*extinction*, ou lutte active, étape au cours de laquelle les sapeurs-pompiers maîtrisent ou tentent de maîtriser l'incendie ;
- Le *noyage*, étape qui est initiée lorsque les sapeurs-pompiers finissent de noyer toutes les braises.

Durant les phases de l'opération de lutte contre le feu, l'exposition aux fumées ne concerne pas que les sapeurs-pompiers intervenant à proximité de l'incendie, mais également l'ensemble des intervenants qui peuvent être présents dans la zone de retombée des fumées : conducteurs des engins-pompes et toute la chaîne de commandement, personnel de santé, de sécurité et des services publics (Enedis, GRDF, etc.), etc.

À ces deux temps d'extinction et noyage généralement décrits dans la littérature, un troisième peut être ajouté en considérant l'exposition aux matériels contaminés lors du retour au centre d'incendie et de secours.

¹¹ Bataillon de Marins-Pompiers de Marseille.

¹² Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris.

¹³ Service Départemental d'Incendie et de Secours.

¹⁴ Service Départemental-Métropolitain d'Incendie et de Secours.

¹⁵ Service d'Incendie et de Secours.

Les équipements de protection individuelle

Lors de la phase d'extinction, les sapeurs-pompiers doivent porter une tenue de feux complète qui comprend : casque type F2 et lunettes de protection, ensemble de protection textile (pantalon de feu, veste de feu), cagoule, effets chaussants et gants d'incendie, ainsi qu'un masque de fuite.

L'appareil respiratoire isolant (ARI), porté habituellement lors des feux de structure, hors incendies de végétation, offre une bonne protection contre les fumées, cependant, son poids (14 à 18 kg) et son encombrement sont des contraintes importantes (déplacements et perceptions sensorielles). Par ailleurs, son autonomie est limitée à 20 minutes environ. Pour ces raisons, l'ARI n'est pas porté dans l'ensemble des différentes phases en cas d'incendie de végétation (CNRACL 2017).

Des cagoules sont actuellement disponibles pour les sapeurs-pompiers vis-à-vis des fumées et des particules fines issues des feux de forêt. Une évaluation de leur efficacité, réalisée pour la CNRACL par le laboratoire Centre d'essais et de recherches (CEREN) de l'Entente de Valabre en 2018, conclut que ces cagoules ne permettent pas de filtrer les particules fines ni les composés chimiques contenus dans les fumées (CEREN 2018).

En réponse à ce constat, un prototype de cagoule visant à mieux filtrer les particules fines dans un contexte d'incendie de végétation a été élaboré en partenariat entre la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC) et le Fonds national de prévention (FNP) de la Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales (CNRACL). Ces cagoules de protection filtrante sont confectionnées pour prévenir des risques de contamination engendrée par les suies et les particules fines contenues dans les fumées d'incendies (DGSCGC 2020). Ce nouveau prototype de cagoule a été conçu pour améliorer les performances de filtration mais sans gêner les capacités respiratoires (DGSCGC 2020; CNRACL 2020). Cette nouvelle cagoule, qui présente un taux de filtration des particules fines de 70 % minimum, est définie par un référentiel technique élaboré par la DGSCGC publié en 2022 (DGSCGC 2022b). Ce nouveau modèle est en cours de certification pour une mise sur le marché prévue en cours d'année 2024.

À la fin de l'intervention, lors du retour en caserne, les poussières et autres effluents ayant contaminé les équipements peuvent exposer les opérateurs de lutte contre le feu aux contaminants, ainsi que les personnels dédiés à l'appui logistique et au nettoyage des EPI (Anses 2019).

Prévention des risques sanitaires liés aux fumées d'incendies de feux de végétation

En 2019, l'Anses a publié un rapport au sujet des risques sanitaires liés aux expositions professionnelles des sapeurs-pompiers au sein duquel la partie 5 comportait un recueil de recommandations de prévention des risques sanitaires liés aux fumées d'incendies (non spécifiques aux feux de végétation) (Anses 2019). Ces consignes provenaient du rapport de la CNRACL sur les impacts et la prévention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers (CNRACL 2017), du Guide de doctrine relatif à la prévention contre les risques de toxicité liés aux fumées d'incendie de la DGSCGC du ministère de l'Intérieur (DGSCGC 2018), du guide réalisé par les services d'intervention suédois (MSB 2015) et d'un rapport du NIOSH (NIOSH, CDC, et U.S. DHHS 2013).

Depuis 2019, les rapports publiés par les deux organismes français ont été mis à jour. La CNRACL a publié en 2020 un rapport faisant l'état des lieux de l'application des recommandations émises en 2017 et ajoutant des recommandations spécifiques aux feux d'espaces naturels. Le Guide de doctrine opérationnelle (GDO) relatif à la prévention des risques liés à la toxicité des fumées publié en septembre 2020 (DGSCGC 2020) inclut également les feux d'espaces naturels, contrairement à la première édition. Ces deux organismes travaillent en partenariat et le Guide de doctrine de 2018 a largement contribué à la mise en œuvre des recommandations de 2017 de la CNRACL.

Les consignes émises à destination des sapeurs-pompiers pour limiter les risques sanitaires liés à l'exposition aux fumées d'incendie peuvent être générales ou spécifiques aux feux d'espaces naturels.

Au sein des trois références considérées (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020), des recommandations d'actions relatives à la prévention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers, applicables aux feux de végétation, ont été relevées. Les recommandations similaires ont été regroupées sans en altérer le sens. La classification reprend celle utilisée dans les rapports de l'Anses et de la CNRACL :

1. Avant l'intervention

A. Informer et former

- Sensibiliser et former l'ensemble des sapeurs-pompiers (y compris les sapeurs-pompiers qui n'interviennent pas directement sur les incendies) sur les effets à court et long terme de la toxicité des fumées et des résidus de combustion lors des différentes phases d'intervention (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).
- Sensibiliser et former les sapeurs-pompiers à l'utilisation des EPI et moyens de protection collective, ainsi que leurs modalités d'entretien. Pour rappel, l'EPI respiratoire doit être porté sur une peau rasée (Anses 2019; DGSCGC 2020).
- Sensibiliser et former les sapeurs-pompiers aux règles d'hygiène à adopter pour préserver leur santé, en appliquant des mesures simples (lavage des mains, du visage, douche, etc.) (Anses 2019; DGSCGC 2020).
- Développer la culture de la prévention et la prise de conscience du risque spécifique lié aux expositions aux fumées lors des cycles de formation (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).
- Intégrer les risques de contamination lors de la conception des centres d'incendie et de secours, des centres de formation, des engins, des matériels et des équipements (Anses 2019; CNRACL 2020).

B. Prévenir et dépister

- Mettre à jour les fiches d'exposition (obligation réglementaire) en intégrant les risques liés aux fumées (Anses 2019; CNRACL 2020).

- Assurer la traçabilité des expositions de l'ensemble des personnels des SDIS (simplification de (Anses 2019; CNRACL 2020)).
- Changer systématiquement de tenue en cas d'échec de la procédure de dépollution mentionnée dans le Guide de doctrine opérationnelle (GDO) (CNRACL 2020).

C. Agir sur l'organisation

- Mener une réflexion sur les équipements à disposition dans les engins : bouteilles d'air, masques... La réflexion pourra porter également sur les dispositifs pour aider à respirer dans la cabine (CNRACL 2020).
- Veiller à ce que les engins envoyés en colonne de renfort soient adaptés aux directives de la DGSCGC (CNRACL 2020).
- Assurer une vérification des engins, des matériels et des personnels, préalable à la campagne feux de forêts (CNRACL 2020).
- Porter des sous-vêtements spécifiques pour les interventions sur feu (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Intégrer les risques des fumées dans le document unique pour l'ensemble des agents (PATS¹⁶, SP¹⁷) (Anses 2019; CNRACL 2020).
- S'inspirer du zonage existant concernant les risques NRBC (nucléaire, radiologique, biologique et chimique) pour toutes les interventions pour feu (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020). Le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable* c.-à-d. aussi bas que raisonnablement possible) utilisé lors des interventions avec des risques radiologiques est parfaitement transposable lors des opérations de lutte contre les incendies (DGSCGC 2020).
- Aménager le centre d'incendie et de secours (CIS) avec le principe d'un circuit « sale-propre » avec marche en avant pour limiter les contacts avec des équipements souillés (vestiaires froids et chauds) et séparation stricte des lieux de vie (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020). La DGSCGC propose un exemple d'aménagement (DGSCGC 2020).
- Privilégier les couleurs claires pour les tenues et les cagoules permettant ainsi de visualiser correctement le niveau de salissure (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Nettoyer périodiquement les casiers avec port d'EPI adaptés (gants à usage unique et masque FFP3 si nécessaire), de la cabine de véhicules incendie et vérifier les véhicules incendie avec des gants. La persistance d'une odeur de fumée dans les locaux ou dans les engins doit inciter à réaliser une action de nettoyage (DGSCGC 2020).

2. Pendant l'intervention

¹⁶ Personnels administratifs, techniques et spécialisés.

¹⁷ Sapeurs-Pompiers.

A. Prévenir et dépister

- À l'arrivée des secours, un stationnement des engins avec vitres et ventilations fermées doit être privilégié même en dehors de la zone d'exposition aux fumées (Anses 2019; DGSCGC 2020).
- En dehors de la « zone d'exclusion »¹⁸, au moindre doute dans la zone contrôlée, le personnel intervenant doit utiliser des masques adaptés (FFP3, FFP2, masques à ventilation assistée, etc.) (Anses 2019; CNRACL 2020).
- S'assurer par un contrôle croisé du bon positionnement des EPI, en portant une attention particulière sur les jonctions entre les équipements (Anses 2019; DGSCGC 2020).
- Lors des phases de repos, après retrait des EPI, il est préconisé l'usage de lingettes nettoyantes ou d'eau froide et de savon pour se nettoyer le visage, le cou, les mains avant de s'hydrater et de se restaurer. Les yeux et la bouche peuvent être lavés. L'action de se moucher le nez pour le débarrasser des mucosités est préconisé (DGSCGC 2020).

B. Agir sur l'organisation

- Déterminer un zonage de l'intervention dans lequel les personnels porteront une protection respiratoire adaptée (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).
- Le principe de marche en avant doit être recherché dans l'organisation de la zone de soutien (DGSCGC 2020).
- Le déshabillage des personnels ayant des tenues et équipements souillés doit être réalisé en amont de la zone de soutien par des sapeurs-pompiers disposant d'une protection respiratoire (FFP2, FFP3, cagoule de protection filtrante), oculaire et cutanée adaptée au niveau de souillure et des gants à usage unique (DGSCGC 2020).
- Créer un espace dédié pour le repos et la restauration dans les zones de soutien (Anses 2019).
- Identifier un espace dédié au nettoyage dans les zones de soutien (DGSCGC 2020).
- Mettre en place un protocole de décontamination sur l'exemple suivant (Anses 2019) :
 - Brosser les tenues (DGSCGC 2018).
 - Rincer les véhicules et les équipements, voire les tenues dans la mesure du possible,
 - Retirer rapidement la cagoule et se nettoyer le visage et les mains,
 - Enlever la tenue et la déposer dans un sac hermétique, y compris pour le décontamineur,
 - Tout le matériel contaminé lors des alertes et des entraînements doit être transporté séparément du personnel lors du retour à la station.

¹⁸ Zone d'exclusion : zone sinistrée ou sinistrable, contaminée ou contaminable ; le minimum de personnels y est engagé avec port obligatoire de l'équipement de protection individuelle adapté aux risques (SDIS 42, s. d.).

- Laver les matériels sur place – y compris les tuyaux – avant de les ranger dans l'engin, afin de limiter le plus possible le transfert de résidus de combustion à l'habitacle des véhicules mais aussi dans le centre de secours (DGSCGC 2020).
- Utiliser un engin de servitude, du type « véhicule tout usage » (VTU) s'il y a une grande quantité de matériel souillé à transporter. L'intérêt de ce type d'engin est que le volume est facilement nettoyable, après le transport. Il convient de veiller à ce que le vecteur dispose d'une isolation entre l'espace de conduite et de stockage (DGSCGC 2020).
- Protéger l'intérieur des engins utilisés à l'aide de polyane, de bâche par exemple, si les conditions climatiques ou opérationnelles imposent de rentrer au CIS pour y effectuer les actions de nettoyage des EPI et des matériels (DGSCGC 2020).
- Laver systématiquement les mains et les effets chaussants avant la réintégration du véhicule (Anses 2019; DGSCGC 2020).
- Pendant les phases de remise en condition du personnel, veiller à éviter toute contamination (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Généraliser le soutien sanitaire opérationnel et le rendre obligatoire sur les interventions importantes (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Mettre en place une zone de réhabilitation, installée en dehors du panache de fumées, ou hors de la zone brûlée sur feu d'espace naturel (DGSCGC 2020).
- Nettoyer les tenues de feu et les matériels sur les lieux de l'intervention en fonction du degré de souillure pour limiter le transfert de particules et des résidus de combustion vers les centres d'incendie et de secours. La souillure ne constitue pas le seul critère de pollution d'un EPI (DGSCGC 2020).
- Certaines opérations menées peuvent dépasser par leur ampleur, par leur durée, voire par la spécificité des actions réalisées, le cadre conventionnel de dimensionnement des ressources logistiques disponibles. [...] La constitution d'un secteur fonctionnel dédié aux missions logistiques, de sécurité et de gestion des EPI permet de s'assurer de la bonne mise en œuvre des actions (DGSCGC 2020).

3. Après l'intervention

A. Prévenir et dépister

- Une hydratation soutenue est recommandée (DGSCGC 2020).

B. Agir sur l'organisation

- Considérer que chaque vêtement présentant des résidus de combustion ou, *a minima*, « sentant la fumée » après intervention sur un feu, est contaminé et contaminant (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Tout le matériel contaminé lors des alertes et des entraînements doit être stocké séparément dans un contenant approprié jusqu'au nettoyage ou entretien. Les modalités de stockage des EPI et matériels souillés doivent être définies en tenant compte de la réalité de la conception des SDIS (Anses 2019).

- Mettre en place un circuit d'élimination des matériels et produits de nettoyage (lingettes, gants à usage unique, etc.) (DGSCGC 2020).
- Limiter les déplacements dans le CIS et prendre très rapidement une douche. En aucun cas, les espaces de vie ne doivent être rejoints par le personnel de retour d'intervention avant la douche (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).
- Les sapeurs-pompiers doivent veiller à retirer les salissures de suies sur la peau avec de l'eau savonneuse froide avant de se doucher le plus rapidement possible. Lors de la douche, il est nécessaire d'insister sur le brossage des zones de liaison entre les EPI et/ou les zones où les couches de protection sont les plus fines, le cou notamment. Ne pas oublier de brosser les ongles (DGSCGC 2020).
- Changer les effets vestimentaires qui ont été portés sur intervention (polos, sous-vêtements...) avant de poursuivre la garde (DGSCGC 2020).
- Nettoyer les effets vestimentaires portés sur intervention (polos, sous-vêtements, cagoule de feu) (DGSCGC 2020).
- Interdire certaines zones de la caserne aux bottes de feu (Anses 2019).
- Les personnels en charge du nettoyage des matériels doivent disposer de protections cutanée, oculaire et respiratoire adaptées (FFP3, combinaison papier, sous-gants coton ou nitrile, lunettes de protection, protection respiratoire, etc.) (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).
- Le travail avec les manches baissées est recommandé, ainsi que le port de gants à usage unique (DGSCGC 2020).
- Laver, voire décontaminer, tous les matériels (tuyaux, etc.) et les tenues (cagoule, gants, casque) utilisés, après chaque intervention sur feu (Anses 2019).
- Laver, voire décontaminer, les tenues de feu dès lors qu'elles sont considérées comme contaminées suivant les préconisations des fabricants d'équipements et les dispositions en vigueur dans le SDIS (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Tout le nettoyage des EPI doit être fait dans un local séparé dans une machine à laver réservée uniquement à cet usage, ne pas stocker la tenue de feu contaminée dans son véhicule personnel et ne pas la laver à domicile (Anses 2019).
- Tout le séchage et le traitement des EPI doivent être faits dans un local séparé dédié à cette tâche (Anses 2019).
- Tous les autres matériels contaminés sont nettoyés dans un local séparé approprié (Anses 2019).
- Vérifier au moins une fois par an que les prescriptions du fabricant relatives au nettoyage des tenues sont respectée (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Disposer d'effets chaussants différents selon l'activité (bureau/ caserne/ ambulance/ feu) (Anses 2019; CNRACL 2020).
- Déterminer un circuit de reconditionnement des matériels en évitant tout lien entre la zone de stockage ou de prise en compte des matériels souillés lors des interventions et la zone des matériels propres (Anses 2019; DGSCGC 2020; CNRACL 2020).

- Laisser les engins dehors, vitres et/ou portes ouvertes durant la phase de reconditionnement. Si le temps ne s'y prête pas, laisser les portes de remises ouvertes pour aérer (DGSCGC 2020).
- Le séchage des EPI peut être nécessaire pour éviter les dégradations liées à l'humidité et dans l'attente de leur prise en charge dans le circuit logistique de nettoyage interne ou externe, ou avant de réintégrer le lieu de stockage dans le CIS. Le séchage des tenues et matériels peut être effectué à l'air libre, dans une pièce chauffée et ventilée dédiée à cet effet, ou dans une enceinte fermée telle qu'une armoire de séchage (DGSCGC 2020).

L'application de ces recommandations doit être adaptée aux spécificités des SDIS.

3.3.2.2. À l'international

Les équipements de protection individuelle

Aux États-Unis, pour la lutte contre les incendies de végétation, des **équipements de protection individuelle** (EPI) sont requis pour les sapeurs-pompiers selon le rapport du *National Interagency Fire Center* (NIFC 2023) :

- Des bottes de lutte contre les incendies de forêt ;
- Un abri anti-feu M-2002, spécification 5100-606 du service des forêts (*Forest Service*);
- Un casque avec jugulaire devant être conforme à la norme NFPA 1977 (NFPA, 2022) ;
- Des lunettes de protection (telles qu'identifiées par l'analyse du risque professionnel/évaluation de risque) ;
- Des bouchons d'oreilles/protection auditive ;
- Une chemise à manches longues résistante aux flammes (couleur jaune recommandée) devant être conforme à la norme NFPA 1977 ;
- Pantalon résistant aux flammes devant être conforme à la norme NFPA 1977 ;
- Gants en cuir ou combinés cuir/antidéflagrants. Des gants de vol ignifugés ou des gants de conduite conformes à la norme NFPA 1977 peuvent être utilisés par les opérateurs d'équipement lourd, les conducteurs et les superviseurs de ligne de feu lorsqu'ils n'utilisent pas d'outils manuels de pare-feu.

Des EPI supplémentaires peuvent être recommandés en fonction des conditions locales, de la fiche de données de sécurité (FDS) ou de l'analyse du risque professionnel/évaluation de risque. Par exemple, un ARI conforme à la norme NFPA 1981 (NFPA, 2019) ne peut être utilisé que lorsque les contaminants provenant d'un véhicule, d'une décharge, d'une structure ou d'un autre feu de combustible non sauvage ne peuvent être évités tout en atteignant les objectifs de suppression des incendies de forêt (29 CFR 1910.134, Respiratory Protection, OSHA. s. d.), selon le rapport du NIFC (NIFC 2023).

Concernant la tenue de terrain, les matériaux en polyester, polypropylène et nylon ne doivent pas être portés, car la plupart des fibres synthétiques fondent lorsqu'elles sont exposées aux flammes ou à une chaleur radiante extrême. Le personnel ne doit porter que des sous-vêtements composés à 100 %, ou à une teneur la plus élevée possible, de fibres naturelles, d'aramide ou d'autres matériaux ignifuges. Toute modification de l'EPI réduisant sa capacité de protection, telle que l'apposition de logos au fer à repasser ou l'ajout de bandes sur les pantalons, est une pratique interdite.

Concernant les **équipements de protection respiratoire** pour les sapeurs-pompiers en cas de feux de forêt, les agences nord-américaines et canadiennes n'en recommandent aucun (NASEM 2022; NWCG 2012; IRSST 2008; NIFC 2023).

L'IRSST, institut canadien de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, indique dans son rapport que, quel que soit le type de protection respiratoire utilisé, les sapeurs-pompiers doivent être informés qu'aucun des respirateurs actuellement sur le marché n'offre une protection contre tous les composants toxiques de la fumée (IRSST, 2008). Il indique également que les seuls respirateurs approuvés par le NIOSH présentement disponibles, et susceptibles d'être utilisés par les sapeurs-pompiers forestiers, sont des appareils respiratoires filtrants (ARF)¹⁹ ou des appareils respiratoires filtrants à air propulsé (ARFAP)²⁰. Toutefois, aucun d'eux ne filtre le monoxyde de carbone (CO) et aucun n'est approuvé pour une utilisation en situation de lutte contre les feux de forêt. De plus, les odeurs ou les effets irritants pouvant être atténués par ces appareils respiratoires, les sapeurs-pompiers qui les utilisent pourraient s'exposer sans le savoir à de plus hauts niveaux de CO qu'ils ne le seraient sans leur utilisation. De ce fait, l'IRSST recommande que les sapeurs-pompiers forestiers, qui portent des appareils respiratoires filtrants n'offrant aucune protection contre le CO, les utilisent en conjonction avec un détecteur de CO et se retirent des zones où le niveau de CO dépasse la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP). L'institut canadien recommande également des détecteurs de CO pour les pompiers forestiers travaillant sans respirateur dans les zones enfumées.

Les travailleurs exposés à des risques professionnels d'inhalation relativement inhabituels, comme la fumée des feux de forêt, ne disposent pas de programmes de protection respiratoire (PPR) incluant des respirateurs répondant à des exigences spécifiques et approuvés par le NIOSH aux États-Unis (NASEM 2022).

De plus, la mise en œuvre d'un programme PPR pour les sapeurs-pompiers est compliquée en raison de la diversité des employeurs. Les sapeurs-pompiers fédéraux relèvent des programmes de sécurité des 5 agences fédérales qui les emploient, réparties dans deux ministères ayant chacun leur propre programme de gestion des incendies de forêt. En outre, chaque État dispose de son département des ressources naturelles, et des volontaires locaux et les municipalités peuvent être responsables de la lutte contre les incendies de forêt. La nécessité d'une protection respiratoire pour les sapeurs-pompiers impliqués dans la lutte contre les incendies de forêt doit être déterminée par chacune de ces entités (NASEM 2022; NIFC 2023).

L'utilisation efficace des protections respiratoires, et plus largement le développement d'une culture de la sécurité, sont également compliqués en raison du nombre important de travailleurs saisonniers et de travailleurs volontaires parmi les sapeurs-pompiers engagés sur le terrain dans la lutte contre les incendies de végétation (NASEM 2022).

¹⁹ « Appareil respiratoire filtrant » est une terminologie canadienne équivalente à « appareil filtrant à ventilation libre » dans l'Union Européenne.

²⁰ « Appareil respiratoire filtrant à air propulsé » est une terminologie canadienne équivalente à « appareil filtrant à ventilation assistée » dans l'Union Européenne.

La protection respiratoire est un sujet de préoccupation dans le cadre des programmes PPR depuis les incendies de Yellowstone en 1988. Cependant, à ce jour, aucun respirateur sur le marché ne répond aux besoins uniques de la lutte contre les incendies de forêt. L'activité intense associée au stress thermique voire au mauvais ajustement des protections respiratoires dû à la pilosité faciale sont des exemples d'obstacles à une utilisation efficace, qui pourraient empêcher le porteur de bénéficier du niveau de protection prévu (De Vos et al. 2006; Haston 2007; Sharkey 1997).

Les directives fédérales sur la prévention de l'exposition à la fumée des feux de forêt mentionnent l'utilisation d'EPI spécifiques aux feux de forêt, mais ne recommandent pas spécifiquement l'utilisation de respirateurs (NIOSH, CDC, et U.S. DHHS 2013). Ainsi, les sapeurs-pompiers impliqués dans la lutte contre les incendies de forêt sont confrontés à une absence quasi-totale de directives fédérales sur l'utilisation des appareils de protection respiratoire (NASEM 2022).

Les directives officielles sur l'utilisation d'une protection respiratoire pour les sapeurs-pompiers de forêt disponibles auprès du *National Wildfire Coordinating Group* (NWCG) constituent l'approche la plus complète pour instituer des pratiques de protection respiratoire spécifiquement adaptées aux besoins de ce groupe de travailleurs (NASEM 2022). Toutefois, les directives fédérales des *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) spécifiques aux sapeurs-pompiers de forêt ont aujourd'hui expiré et aucune mise à jour n'a été effectuée pour répondre aux besoins des sapeurs-pompiers de forêt (par exemple, la sécurité du port d'appareils de protection respiratoire, et quels types d'appareils de protection doivent être portés) (NASEM 2022).

Par conséquent, le NWCG recommande aux gestionnaires des incendies de se concentrer sur la mise en œuvre des mesures d'atténuation (NWCG 2012).

Mesures d'atténuation recommandées pour réduire l'exposition à la fumée

Dans une note d'information de 2012 et un guide de 2022, le NWCG recommande différentes mesures d'atténuation afin de réduire l'exposition à la fumée (NWCG 2012; 2022) :

Prendre en compte les effets de la fumée dans l'analyse des risques professionnels et l'évaluation des risques :

- Nécessité de renforcer la prise en compte de l'exposition à la fumée et des méthodes d'atténuation de l'exposition.

Atténuer l'exposition aux fumées lors des opérations de lutte contre les incendies :

- **Les intervenants des phases d'attaque directe, de maintien en ligne et de nettoyage sont les plus exposés à la fumée.** Si nécessaire, faire entrer et sortir les intervenants des zones enfumées par **rotation**. Tenir compte de l'exposition lors de l'élaboration des normes de nettoyage.
- **Utiliser des vigies pour surveiller et communiquer les fumées susceptibles d'avoir un impact sur les routes avoisinantes.** Effectuer les signalements appropriés en matière de supervision et/ou de sécurité.

- **Assurer un repos et une récupération adéquats après une exposition à la fumée pendant le travail.** Éviter d'installer les camps dans les drainages, les vallées ou les zones de basse altitude où la fumée peut se concentrer la nuit ou dans des conditions d'inversion des vents. S'il n'est pas possible de déplacer les camps, prévoir des mesures d'atténuation appropriées pour garantir un repos et une récupération adéquats en cas d'exposition à la fumée (par exemple, des caravanes ou des chambres d'hôtel à l'air pur).

Minimiser les opérations de nettoyage autant que possible, utiliser des moyens alternatifs moins exposants :

- Faire preuve de patience pour éteindre le feu :
 - laisser les zones sécurisées se consumer ;
 - utiliser le brûlage plutôt que le nettoyage ;
 - utiliser des bulldozers ou d'autres équipements mécaniques pour étaler les tas de bois brûlés.
- Ajuster les périodes opérationnelles de nettoyage pour éviter les périodes d'inversion des vents.
- Ajuster les recommandations pendant les brûlages dirigés, dans la mesure du possible, afin de réduire la fumée en assurant une combustion plus complète.
- Minimiser la chute d'arbres et de branchages dans la mesure où tous les autres problèmes de sécurité sont atténués.

Les *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (NASEM), quant à elles, présentent des consignes pour réduire les risques d'exposition et d'effets sur la santé des pompiers selon plusieurs catégories d'intervention : contact cutané, inhalation, mixtes et administratives (Tableau 7). Les interventions sur le contact cutané comprennent le retrait direct de la suie de la peau et le nettoyage plus fréquent de l'équipement sale.

Tableau 7. Interventions potentielles pour réduire les expositions et les effets sanitaires des pompiers forestiers (traduit de NASEM *et al.* 2022)

Contact cutané	Prendre une douche après chaque intervention, ou utiliser des lingettes nettoyantes pour la peau si la douche n'est pas possible.
	Emporter des vêtements de rechange propres pour la période post-intervention en cas de non-retour au camp de base.
	Prévenir la contamination du contenu du sac à dos (sac avec des affaires personnelles pour 14 jours) en utilisant des sacs imperméables scellés.
	Utiliser un équipement de protection renforcé pour réduire l'exposition cutanée.
Inhalation	Utiliser un équipement de protection respiratoire si vous êtes un conducteur de véhicule / un opérateur de pompe.
	Fournir des équipements de surveillance de l'exposition aux sapeurs-pompiers, quand cela est nécessaire, pour les aider à identifier et éviter les risques par inhalation (mise en œuvre avec le soutien des responsables de la sécurité sur les lieux de l'incident et du personnel chargé de la gestion des risques dans les agences territoriales).
	Changer les filtres des systèmes de filtration d'air de l'habitacle des fourgons d'incendie.
Mixtes	Nettoyer les tentes et les sacs de couchage après chaque déploiement.
	Mettre en œuvre un protocole de nettoyage des véhicules.
Administratives	Utiliser la rotation du personnel pour réduire les expositions (le personnel chargé de la gestion des incendies peut procéder à une rotation et à une réaffectation des équipes et des ressources après avoir effectué des tâches associées à une plus forte exposition à la fumée vers des tâches pour lesquelles l'exposition attendue à la fumée est plus faible).
	Permettre aux sapeurs-pompiers de patrouiller à la recherche de foyers plutôt que de rester statique sur la ligne de feu.

3.4. Substances et méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur

3.4.1. Substances présentes dans les panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur

3.4.1.1. Éléments préliminaires sur l'origine et la nature des substances

Source des substances

Les émissions de feux de végétations dépendent de la composition chimique, structure physique (densité, hauteur, etc) et humidité du combustible, des conditions topographiques (vallées montagneuses, pente du sol, etc.), des conditions d'aération, d'humidité ambiante, ainsi que de l'intensité et température du feu et de la durée en conditions de combustion vive (feu flambant) et combustion lente (feu couvant, sans flamme) (Mazzoleni, Zielinska, et Moosmüller 2007). La composition chimique du combustible dépend également 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 exemples 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.

Combustion, transport, et polluants primaires et secondaires

Les processus de combustion de la biomasse telle que le bois ont été décrits en détail précédemment (Anses 2012), suivant la séquence ignition, pyrolyse, pyrolyse associée au feu flambant (combustion vive), pyrolyse associée au feu incandescent/couvant (combustion lente), incandescence, puis extinction. Chacune de ces phases correspond à des processus chimiques différents et donc à des émissions différentes (Andreae 2004). La combustion de biomasse lors des incendies de végétation est typiquement incomplète, et donc une multitude de substances, notamment des substances organiques partiellement oxydées, sont générées dans les fumées de biomasse (Anses 2012).

L'ignition libère l'eau et des composés volatils. Les phases de pyrolyse sont associées au craquage thermique des molécules du combustible, produisant *in fine* des résidus carbonneux (solides peu volatils fortement carbonisés), des goudrons, et des composés volatils (fumée blanche inflammable). Lorsque ce mélange s'allume, la combustion vive intervient : le mélange complexe de substances émises par la pyrolyse se transforme en molécules simples, en particulier CO₂, H₂O, NO, N₂O, N₂ et SO₂, mais aussi CO, CH₄, H₂, C₂H₄, C₂H₂, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en fonction des conditions physico-chimiques dans la flamme. Des particules de suie sont également libérées durant cette phase. Après que la majorité des composés volatils a été libérée en proximité de la surface du combustible, la combustion vive cesse, laissant place à la phase de combustion lente. Ce processus à plus faibles températures émet des quantités de polluants qui peuvent encore être importantes, notamment des émissions de CO ainsi que des produits de la pyrolyse partiellement oxydés. Ainsi, ce mode de combustion est responsable de la diversité des produits à l'émission.

Plusieurs facteurs incluant la météorologie, le stade du feu et le terrain peuvent influencer le comportement du feu et la propagation du panache de fumée. La chaleur intense atteinte rapidement dans le feu entraîne les fumées en altitude dans l'air, où elles persistent jusqu'à refroidir et commencer à descendre. Les panaches initiaux tendent à être guidés par les vents, facilitant ainsi la prévision de la zone impactée par les fumées. A mesure que les fumées se déplacent sous le vent, 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). Des couches brumeuses comportant des concentrations élevées de gaz, tels que l'ozone, ont été détectées à partir d'observations aériennes et satellitaires (Anses 2012).

Les substances présentes dans les fumées peuvent être issues directement des processus de combustion (polluants « primaires ») ou issues de la transformation de ces dernières dans l'atmosphère (polluants « secondaires »). Différents processus influencent le transport, la répartition entre les phases gazeuse et particulaire, la transformation et la dégradation dans l'atmosphère des substances. Les principales voies de dégradation atmosphérique des espèces chimiques sont la photolyse, la réaction avec le radical hydroxyle et la réaction en phase gazeuse avec l'ozone (NASEM *et al.* 2022). D'autres processus de dégradation sont aussi possibles, par exemple par l'oxydation par les radicaux chlorés, par la chimie multiphasique et par la chimie des nuages.

Les fumées issues des feux de végétation contiennent ainsi de nombreuses substances, dont certaines sont (potentiellement) néfastes pour la santé, listées dans le Tableau 8 avec leurs principaux modes d'action toxique. Cette liste d'exemples n'a pas vocation à inclure l'exhaustivité des composés potentiellement toxiques et issus des incendies de végétation. Il peut exister des composés potentiellement toxiques issus des incendies de végétation qui ne sont pas encore étudiés à date.

3.4.1.2. Substances d'intérêt sanitaire

La composition des fumées est variable en fonction de nombreux facteurs incluant notamment le combustible, sa densité, l'humidité, les conditions de combustion et l'éloignement des feux (Anses 2012). Précédemment, l'Anses a synthétisé l'ensemble des composés chimiques correspondant à plusieurs centaines de composés individuels détectés dans des prélèvements de fumées de combustion de biomasse rapportées dans la littérature scientifique (Anses 2012). Cette synthèse incluait une liste de composés particuliers et gazeux présents dans les fumées de biomasse et majoritairement préjudiciables pour la santé, ainsi que certains de leurs principaux modes d'action toxique²¹. Le Tableau 8 s'appuie sur ces travaux et les actualise à partir d'autres rapports institutionnels plus récents d'organismes publics étrangers et d'articles scientifiques de revues spécialisées, en se concentrant toujours sur les substances rapportées comme (potentiellement) nocives pour la santé humaine.

Une attention particulière a été portée au caractère proximal ou distal de l'occurrence de ces substances par rapport au feu de végétation dont elles sont issues. Deux catégories de zones d'exposition potentielle aux substances sont ainsi distinguées : d'une part les zones en champs proche de l'incendie, soit les zones incluant les zones d'intervention des sapeurs-pompiers et les zones riveraines en proximité immédiate des feux, et d'autre part les zones à distance de l'incendie, soit les zones situées de plusieurs kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres à distance des feux. 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 (demi-vie²²) 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. Les intensités lumineuses, les concentrations de radicaux hydroxyle et d'autres radicaux, ainsi que les concentrations d'ozone auxquelles les substances sont exposées, varient considérablement. Aussi, ces estimations de durées de vie sont à considérer comme des indicateurs approximatifs et relatifs de la persistance des substances chimiques dans l'atmosphère.

Comme indiqué dans la section précédente, la pollution atmosphérique issue des incendies de végétation comprend des composés en phases particulaire et gazeuse, certains composés pouvant se trouver dans les deux phases, simultanément ou non.

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 sont facilement transportables 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 (PM_{2,5}) qui échappe plus efficacement au système de défense mucociliaire et se dépose plus préférentiellement au niveau des voies respiratoires périphériques (Naeher *et al.* 2007). Dans le domaine des études d'expositions professionnelles, incluant donc les expositions des sapeurs-pompiers, la

²¹ Les modes d'actions toxiques présentés sont les principaux modes d'action identifiés pour les substances les plus toxiques au sein d'une famille de substances. Ils ne sont pas forcément attribuables à l'ensemble des substances d'une famille et ils ne représentent pas tous les modes d'actions toxiques possibles.

²² Demi-vie atmosphérique : le temps au bout duquel la concentration initiale de la substance est réduite de moitié.

fraction souvent mesurée concerne les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 4 µm (PM₄) qui se veut proche de ou équivalente à la fraction alvéolaire (Anses 2023b). Les particules ultrafines peuvent traverser la membrane alvéolo-capillaire et entrer dans la circulation sanguine (Nemmar *et al.* 2002) voire directement traverser la barrière hémato-encéphalique *via* le nerf olfactif après inhalation (Oberdörster *et al.* 2004; Tian *et al.* 2019). Bien que les particules dont le diamètre aérodynamique médian est supérieur à 10 µm soient moins susceptibles d'atteindre les poumons, elles peuvent entraîner des irritations ou des inflammations au niveau des voies respiratoires supérieures et oculaires (US EPA 2008).

Les particules sont composées de polluants primaires (carbone suie, métaux, etc.) et secondaires (aérosols organiques secondaires incluant par exemple acides organiques et espèces organiques semi-volatiles). Elles sont solides mais peuvent être également liquides (gouttelettes). Elles comportent des radicaux libres et des gaz toxiques adsorbés et condensés. Les particules comportent des produits de combustion et des dérivés de produits de combustion, ainsi que des substances naturellement présentes dans les fragments de végétaux et dans le sol. En effet, lorsque les feux atteignent des zones où les couches superficielles du sol ont une forte teneur en substances toxiques (par exemple, la silice cristalline), celles-ci peuvent être mises en suspension dans l'air.

Concernant les gaz, il existe une grande diversité de substances. Certaines sont le produit de réactions chimiques dans l'atmosphère entre des gaz précurseurs, tels que l'ozone formé par la réaction de NO_x, COV et CO sous l'action des rayonnements solaires ultra-violet. Selon les substances, elles peuvent donc être plus concentrées en proximité ou à distance des feux. Plusieurs gaz peuvent être présents en proximité et à distance des feux (HCN, CH₂O₂, HCl, HF, H₃PO₄, H₂S, SO₂, H₂SO₄, aldéhydes, etc.) d'après les informations disponibles incluant la demi-vie des substances dans l'air. Ces informations sont toutefois beaucoup plus imprécises que celles disponibles pour les particules. Pour plusieurs substances ou familles de substances en lien avec les incendies de végétation, les informations disponibles n'ont pas permis de renseigner leur potentielle présence ou non à distance des incendies.

Les hydrocarbures sont une famille de substances incluant différentes substances, en phase particulaire ou gazeuse selon la substance. La présence, en champ proche et à distance des feux, des hydrocarbures mono-aromatiques et des HAP est documentée (Anses 2012; NASEM *et al.* 2022; NWCG 2020; NIOSH, CDC, et U.S. DHHS 2013) (Tableau 8). Ces derniers peuvent se transformer, se combiner, s'adsorber sur des particules en fonction de leur nature et des conditions physico-chimiques de l'atmosphère. Les informations sont manquantes pour les hydrocarbures non aromatiques, saturés ou insaturés.

Parmi les nombreuses substances potentiellement toxiques pouvant entrer dans la composition des fumées des incendies de végétation, certaines peuvent être très spécifiques de la zone atteinte par les feux.

Concernant les zones de bâti et les véhicules, la composition des fumées sera dépendante des matériaux atteints par les feux (plastiques, retardateurs de flamme, métaux, amiante, etc.), entraînant la présence de substances toxiques issues de la transformation chimique des matériaux (par exemple, composés organochlorés) et de la dégradation mécanique des matériaux (par exemple, des fibres d'amiante). À noter qu'un rapport de l'agence de protection de santé britannique ne considère pas l'exposition aux fibres d'amiante, à distance des feux, comme une préoccupation de santé publique (Smith et Saunders 2007).

Concernant les sites industriels, ils constituent des sources potentiellement importantes et hétérogènes d'exposition à des substances toxiques, très différentes et variables en comparaison de celles émises par la combustion de biomasse. Il peut par exemple s'agir des sites de stockage et/ou de traitement de déchets, des sites d'opérations pétrolières, des sites d'opérations gazières, des sites de l'industrie du charbon, des sites de traitement des eaux usées, des sites de l'industrie nucléaire, des sites de l'industrie chimique et des mines métallifères (NIFC 2023; NWCG 2020; IRSN 2012; France Chimie et UFIP 2023).

Si le feu atteint des zones traitées avec des pesticides, des composés issus de la dégradation thermique des molécules mères, comme des organochlorés, peuvent être émis dans l'air. La présence des molécules mères de pesticides dans les émissions aériennes reste encore peu documentée, et pourrait préférentiellement concerner l'exposition en champs proche de feux couvant (phase de combustion lente) (Carratt et al. 2017).

Si le feu atteint des zones contaminées par des éléments radioactifs (par exemple, région contaminée de Tchernobyl), les fumées des feux de végétation peuvent comporter des radionucléides tels que l'iode-129, le césium-137 et le chlore-36 (Anses, 2012).

Si le feu atteint des zones avec des caractéristiques géologiques particulières, telles que la présence de roches granitiques ou d'autres sources de quartz cristallin sur les couches superficielles du sol, de la silice cristalline peut être mise en suspension dans l'air (NWCG 2020; Liu et Peng 2019), avec des expositions potentiellement importantes en champ proche des feux (NWCG 2020). La présence d'affleurements naturels de minéraux tels que l'amiante ou l'érionite est également à considérer au regard de leur dangerosité intrinsèque (NIFC 2023), bien que les informations disponibles ne permettent pas de caractériser leur présence dans l'air sous forme de fibres en lien avec les incendies de végétation.

L'exposition à distance des feux apparaît peu ou non documentée pour nombre de ces substances.

Enfin, il existe d'autres composantes du potentiel toxique de la pollution de l'air générée par les incendies de végétation qui restent encore très peu étudiées, telles que le potentiel oxydant des particules et les micro-organismes.

Le potentiel oxydant des particules n'est pas une substance en soi mais une métrique qui caractérise la capacité des particules à induire ou générer des espèces réactives de l'oxygène dans un milieu pulmonaire, mesurée en conditions acellulaires ou cellulaires. Ce mode d'approche du mécanisme toxicologique a été suggéré pour expliquer le risque plus important associé à des particules fines issues des fumées des feux de végétation par rapport à une exposition similaire de particules d'une autre origine. Le potentiel oxydant constitue ainsi une métrique potentiellement très intéressante s'agissant des incendies de végétation. Il intègre en partie les effets de la taille, des propriétés de surface des particules, ainsi que de leur composition chimique, sur ce milieu. Il est majoritairement associé à la pollution particulaire de l'air issue de la combustion de biomasse et du trafic routier (ANSES, 2019).

La fumée des incendies de végétation pourrait transporter des micro-organismes pathogènes viables et leurs sous-produits métaboliques (pollens, cellules bactériennes et fongiques, spores de moisissures). Ce serait par exemple le cas des coccidioïdomycoses en Californie, un champignon qui se propage dans l'air lorsque les sols sont perturbés, et qui sont la cause de la fièvre de la vallée du Rift, une infection potentiellement grave (ASM 2021).

Tableau 8. Substances dans l'air avec un potentiel toxique et issues des incendies de végétation

* Cette liste d'exemples n'a pas vocation à inclure l'exhaustivité des substances potentiellement toxiques et issues des incendies de végétation. Il peut exister des substances potentiellement toxiques issues des incendies de végétation qui ne sont pas étudiées. Les notations « X+ » correspondent au nombre minimal X de substances identifiées dans une famille de substances (exemple : « 40+ » équivaut à « plus de 40 substances »).

** Zone où la pollution de l'air issue de l'incendie de végétation peut influencer l'exposition : Champ proche de l'incendie = zones d'intervention sur les feux des sapeurs-pompiers et zones riveraines à proximité immédiate des feux / A distance de l'incendie = de plusieurs kilomètres jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres (échelles locale, régionale et/ou suprarégionale).

*** Les modes d'actions toxiques présentés sont les principaux modes d'action identifiés pour les substances les plus toxiques au sein d'une famille de substances. Ils ne sont pas forcément attribuables à l'ensemble des substances d'une famille et ils ne représentent pas tous les modes d'actions toxiques possibles.

**** Non disponible : absence d'information dans les ressources documentaires disponibles

***** Méconnue : les informations dans les ressources documentaires disponibles amènent à conclure que l'exposition potentielle dans cette zone est méconnue

Famille de substances	Exemples de substances *	Zone d'exposition potentielle **		Mode de toxicité ***	Commentaires	Références
		Champ proche de l'incendie	A distance de l'incendie			
Particules en suspension	Particules grossières et fines (PM ₁₀)	oui	oui	Stress oxydant et inflammation, allergénique possible	Des particules sont formées directement durant la combustion, et ultérieurement à partir des gaz émis via leur condensation et des réactions chimiques dans l'atmosphère. Concentrations importantes en champs proche. Particules grossières ne sont pas transportées sur de longues distances et contiennent principalement du sol et des cendres	(Anses 2012)
	Particules fines (PM _{2.5}) et particules proches de la fraction alvéolaire (PM ₄)	oui	oui	Stress oxydant et inflammation, allergénique possible, cancérigène	Des particules sont formées directement durant la combustion, et ultérieurement à partir des gaz émis via leur condensation et des réactions chimiques dans l'atmosphère. Concentrations importantes en champs proche. Transport à grandes distances ; production primaire et secondaire. Aérosols organiques primaires et secondaires ; adsorption de composés cités ci-dessous. Concentration PM _{2.5} jusque 400 µg.m ⁻³ (USA, CA, 2018), 300 µg.m ⁻³ (Marseille)	(Anses 2012; CARB 2021; NWCG 2020)
	Particules ultrafines (diamètre inférieur ou égal à 0,1 µm)	oui	oui	Stress oxydant et inflammation, perturbateur du fonctionnement des cellules		(NASEM et al. 2022; Marcella et al. 2022; Zhang et al. 2024)
	Carbone suie, carbone organique (+ carbone brun)	oui	oui	Stress oxydant et inflammation, cancérigène possible	Transport sur de très longues distances (inter-continentale, en basse atmosphère)	(Anses 2012; 2019; Ditas et al. 2018; Liu et Peng 2019)
	Silice cristalline	oui	non	Cancérigène, irritant, fibrosant	En particulier si le feu atteint des zones où la surface du sol contient des roches granitiques ou d'autres sources de quartz cristallin. Concentrations potentiellement importantes en champs proche.	(NWCG 2020; Liu et Peng 2019)
	Fibres minérales (amiante, érionite, ...)	oui	non	Cancérigène, irritant, pathologies pleurales	Si le feu atteint des zones avec du bâti. Possiblement si le feu atteint des zones avec des affleurements naturels d'amiante, d'érionite, etc. Concentrations potentiellement importantes en champs proche.	(NASEM et al. 2022; NWCG 2020; NIFC 2023; INRS 2018; Smith et Saunders 2007)
	Arsenic (As), cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn), fer (Fe), manganèse (Mn), chrome (Cr) (incluant chrome hexavalent), antimoine (Sb), mercure (Hg) (et méthylmercure MeHg)	oui	oui	As, Cd, Pb, Cr : cancérigène de rang A ou B1 d'après CIRC-OMS et selon oxydation, et toxiques généralement ; Zn, Fe : oligoéléments, mais peuvent être toxiques. Sb toxique et irritant. Hg (et MeHg) : irritant, toxique pour les systèmes nerveux, digestif, immunitaire, pulmonaire et rénal	Les métaux se retrouvent généralement dans la phase particulaire, bien que certains comme le mercure, puissent se retrouver dans la phase gazeuse. Jusque 240 km. En particulier si le feu atteint des zones avec mines ou avec d'autres sources de métaux (ex : As, Cd, Pb), avec du bâti, avec des véhicules ou si importante bioaccumulation par la végétation à partir des métaux disponibles dans le sol. Concentration Pb : jusque 0,12 µg.m ⁻³ (USA-CA, 2018) ; Cr moyen 0,3 mg/g PM _{2.5} , Sb : 4,2 µg/g PM _{2.5}	(CARB 2021; Vicente et al. 2013; Lopez, Pacheco, et Fendorf 2023; NASEM et al. 2022; NWCG 2020; Anses 2012)
	Potentiel oxydant	oui	oui	Stress oxydant		(Wong et al. 2019; Mylonaki et al. 2024)

Appui scientifique et technique de l'Anses
Demande n° « 2023-AST-0171 »

Famille de substances	Exemples de substances *	Zone d'exposition potentielle **		Mode de toxicité ***	Commentaires	Références
		Champ proche de l'incendie	A distance de l'incendie			
Gaz inorganiques	Monoxyde de carbone (CO)	oui	non	Asphyxiant	Concentrations importantes en champs proche. Transport à grandes distances	(Anses 2012)
	Ozone (O ₃)	non	oui	Irritant	Présent uniquement à distance sous le vent du feu, transport à grandes distances	(Anses 2012)
	Dioxyde d'azote (NO ₂)	oui	non	Irritant	NO ₂ en concentrations potentiellement importantes en champs proche. Réactif (1/2 vie : heures/jours)	(Anses 2012; NWCG 2020)
	Acides bromhydrique (HBr), chlorhydrique (HCl), fluorhydrique (HF), phosphorique (H ₃ PO ₄), sulfurique (H ₂ SO ₄), sulfure d'hydrogène (H ₂ S), dioxyde de soufre (SO ₂)	oui	oui	Brûlure chimique, irritant, possible cancérigène	SO ₂ en concentrations potentiellement importantes en champs proche. S'oxyde rapidement (1/2 vie : heures/jours), retrait de l'atmosphère sous forme de pluie acide ; HBr = 1/2 vie de quelques heures HCl et HF= 1/2 vie de quelques jours (transport >1000km) Composés halogénés réactifs (ex : HBr, HCl, HF) : en particulier si le feu atteint des zones avec du bâti.	(NASEM et al. 2022; NWCG 2020; US EPA 2023)
	Ammoniac (NH ₃)	oui	non disponible****	Irritant		(NASEM et al. 2022; NWCG 2020)
Hydrocarbures	<i>Plusieurs centaines</i>				Transport – réagissent également pour former des aérosols organiques. Les espèces différent en fonction de la biomasse et des conditions de combustion	(Anses 2012)
	Insaturés : >40 substances (40+), ex : 1,3 butadiène	oui	non disponible****	Irritant, cancérigène, mutagène		(Anses 2012)
	Saturés : 25+, ex : n-hexane	oui	non disponible****	Irritant, neurotoxique		(Anses 2012)
	Monoaromatiques : 28+, ex : benzène, toluène, styrène	oui	oui	Cancérigène, mutagène	1/2 vie benzène: 9 j ie transport >1000km 1/2 vie toluène: 2 j ie transport ~1000km	(Anses 2012; NASEM et al. 2022; NWCG 2020; NIOSH, CDC, et U.S. DHHS 2013)
	Aromatiques polycycliques (HAPs) : 20+, ex : benzo[a]pyrène	oui	oui	Cancérigène, mutagène	Transport selon phase gazeuse ou particulaire et nombre de cycles (<3 : gaz, ≥5 : particules). Oxydation pendant transport, moindre si adsorbé sur particules (typiquement 1-3µm, ie durée atmosphérique 5-10 jours, ie >1000km)	(Anses 2012; NASEM et al. 2022; NWCG 2020; NIOSH, CDC, et U.S. DHHS 2013)
Organooxygénés	<i>Des centaines</i>				Transport – réagissent également pour former des aérosols organiques. Les espèces différent en fonction de la biomasse et des conditions de combustion	(Anses 2012)
	Aldéhydes : 20+, ex : acroléine, formaldéhyde, acétaldéhyde	oui	oui	Irritant, cancérigène, mutagène	Formaldéhyde en concentrations potentiellement importantes en champs proche. Transport longue distance possible (1/2 vie : 50h ie ~1000km); Acroléine en concentrations potentiellement importantes en champs proche. Transport limité (1/2 vie : 9h ie ~100km)	(Anses 2012; NASEM et al. 2022; NWCG 2020)
	Alcools organiques et acides : 25+, ex : méthanol et acide acétique	oui	non disponible****	Irritant, tératogène		(Anses 2012)
	Phénols : 33+, ex : catechol, cresol (méthylphenols)	oui	non disponible****	Irritant, cancérigène, mutagène, tératogène		(Anses 2012)
	Quinones : hydroquinone, fluorenone, anthraquinone	oui	non disponible****	Irritant, allergénique, activité redox, stress oxydant et inflammation, cancérigène possible		(Anses 2012)

Appui scientifique et technique de l'Anses
Demande n° « 2023-AST-0171 »

Famille de substances	Exemples de substances *	Zone d'exposition potentielle **		Mode de toxicité ***	Commentaires	Références
		Champ proche de l'incendie	A distance de l'incendie			
Organochlorés	Chlorure de méthylène, chlorure de méthyle, polychlorodibenzo-dioxines (PCDD), polychlorodibenzo-furanes (PCDF), polychlorobiphényles (PCB), phosgène	oui	oui	Dépresseur du système nerveux central (chlorure de méthylène), cancérigène possible, perturbateur endocrinien, effets reprotoxiques et développementaux	Disparités des conclusions suivant les études concernant la significativité des feux de forêt comme source d'émissions de PCDD/F et PCB (Estrelan et lino 2010). En particulier si le feu atteint des zones avec du bâti ou des zones avec de la végétation traitée avec des pesticides. PCB: fonction du nombre de chlorines : 4 chlorines 1/2 vie 15j ; si >8 chlorines par biphényle, PCB reste proche lieu émission, sinon migre vers les pôles. PCDDs 1/2 vie : 0,5-10 j	(Anses 2012; NASEM et al. 2022)
Radicaux libres	Radicaux semiquinones	oui	non disponible****	Activité redox, stress oxydant et inflammation, cancérigène possible		(Anses 2012)
Gaz organiques	Cyanure d'hydrogène (HCN), acide méthanoïque (CH ₂ O ₂)	oui	oui	Irritant	HCN : Transport très longue distance. Il se dégrade très lentement (jusque 5 ans dans l'atmosphère) et reste troposphérique.	(NASEM et al. 2022; NWCG 2020)
Isocyanates	Isocyanate de méthyle, méthylène diphényle diisocyanate, toluène diisocyanate	oui	non disponible****	Irritant	Si le feu atteint des zones de bâti Des isocyanates se retrouvent dans d'autres catégories du tableau (pesticides, plastifiants).	(NASEM et al. 2022)
Retardateurs de flamme	Esters de phosphate, polybromodiphényléthers	oui	oui	Neurotoxique, perturbateur endocrinien, effets reprotoxiques et développementaux	Si le feu atteint des zones de bâti Entre dans la composition des produits chimiques anti-incendie. Esters de phosphate : Transport particulaire, 1/2 vie 4-14j ie ~1000km ; gaz 1/2 vie 1-12h ie 100km Polybromodiphényléthers : 1/2 vie 29-476 j, transport >1000km. Les composés issus de combustion des molécules mères présents dans les retardateurs de flamme se retrouvent dans d'autres catégories du tableau (ex : gaz inorganiques, hydrocarbures, organooxygénés, particules).	(NASEM et al. 2022)
Plastifiants	Orthophtalates (ex : dibutylphthalate)	oui	non disponible****	Perturbateur endocrinien, effets reprotoxiques et développementaux	Si le feu atteint des zones de bâti Les composés issus de combustion des molécules mères présents dans les plastifiants se retrouvent dans d'autres catégories du tableau (ex : gaz inorganiques, hydrocarbures, organochlorés, organooxygénés, particules).	(NASEM et al. 2022; NWCG 2020)
Per- et polyfluoroalkylés (PFAS)	/	oui	oui	Perturbateur endocrinien, effets développementaux, immuno-toxicité, cancérigène ou cancérigène possible	Si le feu atteint des zones de bâti. Entre dans la composition des produits chimiques anti-incendie.(ex : mousses anti-incendie). PFAS 1/2 vie : jours-semaines, transport >1000km. Des composés PFAS se retrouvent dans d'autres catégories du tableau (retardateurs de flamme).	(NASEM et al. 2022)
Pesticides et dérivés	/	oui (feu couvant)	Méconnue*****	Perturbateur endocrinien, effets développementaux, immuno-toxicité, cancérigène ou cancérigène possible, pathologies neurodégénératives, troubles cognitifs, irritant	Si le feu atteint des zones de végétation traitées avec des pesticides ou des zones de bâti. Peuvent être transportés sur de longues distances, bien que concentrations plus fortes en champs proche. Concentrations potentiellement importantes en champs proche de feux couvants (phase de combustion lente). Influence sur longue distance méconnue. Les composés issus de combustion des molécules mères se retrouvent dans d'autres catégories du tableau (ex : organochlorés).	(CDPH 2022; Carratt et al. 2017)
Radionucléides	Iodine-129, Césium-137, Chlorine-36	oui	non	Effets reprotoxiques et développementaux, effets sur la thyroïde, cancérigène possible, troubles cognitifs	Si le feu atteint des zones de végétation contaminée par les radionucléides. Pas d'information disponible sur le cas où le feu atteindrait un site de l'industrie nucléaire.	(Anses 2012; IRSN 2022)
Micro-organismes et leurs sous-produits métaboliques	Pollens, cellules fongiques et bactériennes, spores de moisissures, coccidioidomycose	Méconnue *****	Méconnue*****	Irritant, allergénique, infectieux (ex : fièvre de la vallée du Rift)	/	(US EPA 2023; Kobziar et Thompson 2020; Kobziar et al. 2022; ASM 2021; 2023)

3.4.2. Méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur

Différents outils et approches de mesurage existent pour la surveillance des panaches de fumées des incendies de végétation. Ils peuvent être distingués selon deux catégories :

- la surveillance-prévision atmosphérique (modélisation/mesure de la qualité de l'air ambiant, observations satellitaires) ;
- les dispositifs de surveillance terrestres et aériens des espaces naturels (vigies, caméras, patrouilles terrestres, aéro-surveillance, drones)

3.4.2.1. Surveillance-prévision atmosphérique (modélisation/mesure de la qualité de l'air ambiant, observations satellitaires)

Modélisation/mesure de la qualité de l'air ambiant

Les incendies de végétation génèrent une exposition potentielle par voie aérienne à de nombreuses substances, non seulement auprès des populations directement affectées en proximité immédiate des feux, mais également indirectement à distance des feux via les panaches de fumées, telles que décrites dans le Tableau 8. Ces fumées peuvent être transportées sur de longues distances, sur des centaines voire des milliers de kilomètres, et peuvent impacter un grand nombre de personnes.

La surveillance des polluants qui composent ces fumées concerne principalement les particules fines (PM_{2,5}, masse totale) et plusieurs approches ont été utilisées pour estimer les concentrations de PM_{2,5} directement attribuables aux fumées des feux de végétation, comme décrit ci-dessous. Cependant, il est important de noter que, récemment, d'autres polluants attribuables à ces fumées ont également été étudiés, incluant l'ozone troposphérique ou les HAP. Lorsqu'il s'agit d'estimer les concentrations de PM_{2,5} auxquelles les populations d'intérêt n'auraient, contrefactuellement²³, pas été exposées en l'absence de panaches de fumées, il est nécessaire d'isoler ces PM_{2,5} de celles issues de sources dites traditionnelles d'émissions de PM_{2,5} telles que le trafic, les émissions agricoles ou industrielles. Deux types d'applications peuvent être distinguées vis-à-vis de cette quantification des niveaux de polluants attribuables aux fumées des feux de végétation: i) l'utilisation pour des études épidémiologiques : ii) l'utilisation pour des outils de surveillance et de système d'alerte.

Ci-dessous, sont décrites, de manière synthétique, les deux principales approches distinguables pour quantifier les concentrations de PM_{2,5} attribuables aux fumées des incendies de végétation :

- i) les approches dites dynamiques, via des modèles de transport chimique ou de dispersion ;
- ii) les approches dites statistiques.

²³ Une approche « contrefactuelle » consiste à mesurer l'influence d'un facteur sur une évolution, par la différence entre cette évolution et celle, hypothétique, qui serait survenue si le facteur concerné n'avait pas existé (Françoise Pichon-Mamère / <https://www.universalis.fr/dictionnaire/contrefactuelle/>).

Ces deux approches se basent sur plusieurs variables/produits qui permettent de mesurer les caractéristiques d'émissions (coordonnées géographiques, durée et intensité des feux), les conditions de transport de fumées (notamment via les données météorologiques de vent, de température ou de précipitation) et la présence des fumées dans l'espace et le temps. En ce qui concerne la présence des fumées, plusieurs produits satellitaires permettent cette évaluation notamment ceux dédiés directement à la surveillance des fumées de feux de végétation ou les mesures indirectes des aérosols dans l'atmosphère tels que le *Aerosol Optical Depth* (AOD) via l'instrument *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). En ce qui concerne les produits existants pour mesurer directement la présence de fumées issues des feux de végétation, peuvent être mentionnés le produit *Hazard Mapping System Fire and Smoke Product* (HMS) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) mis en place depuis 2006 en Amérique du Nord et disponible au niveau journalier. Ce produit inclut une analyse infra-rouge et une validation par des experts de l'analyse d'images satellitaires permettant de distinguer les fumées des nuages. Depuis 2010, ce produit inclut aussi une classification de la densité du panache de fumée en trois catégories de légère à dense.

Approches dites dynamiques

Les approches dites dynamiques sont basées sur des simulations numériques, qui permettent de modéliser les niveaux de concentrations attendus de $PM_{2,5}$ sur la base de conditions d'émissions en lien avec des feux de végétation, et plusieurs paramètres, incluant ceux décrits plus haut vis-à-vis des conditions initiales du feu et conditions météorologiques, des données sur le type de végétation intégrées dans des modèles de chimie de l'atmosphère. Les niveaux de concentrations sont ainsi estimés à des résolutions temporelles (du mois jusqu'au niveau de l'heure) et spatiales qui diffèrent selon les modèles.

Plusieurs de ces modèles de chimie de l'atmosphère existent et ont été utilisés dans ce cadre. Par exemple, dans plusieurs études épidémiologiques nord-américaines (Liu et al. 2017) ou internationales (Chen et al. 2021), le modèle GEOSChem a été utilisé. Ce modèle combine des observations satellitaires vis-à-vis des feux (nombre de feux, surface brûlée, quantité de combustible) et estime des niveaux de $PM_{2,5}$ attribuables à un ou plusieurs feux de végétation. En parallèle, il est possible d'utiliser des modèles de dispersion, tels que HySPLIT (Stein et al. 2015), qui permettent également de simuler le transport de fumées issues de feux de végétation et estimer comment se déplacent les panaches. Ces modèles de dispersion permettent de simuler les niveaux de $PM_{2,5}$ qui peuvent être éventuellement liés à des émissions issues de feux de végétation. Ces modèles dynamiques, notamment les modèles de chimie de l'atmosphère, sont aussi utilisés dans le cadre de prévisions de niveaux de pollution en lien avec les panaches de fumées et permettent de diffuser en temps réel les prévisions de niveaux de pollution en lien avec des panaches de fumées issues de feux de végétation. Ces modèles dynamiques sont utilisés à la fois pour des études épidémiologiques et pour des applications de surveillance de la qualité de l'air et systèmes d'alertes. Par exemple, aux États-Unis, le système *Air Now Fire & Smoke Map* est basé sur un modèle de chimie-transport et est utilisé pour la surveillance, la mise en place de systèmes d'alertes et aussi disponible pour le grand public (voir : <https://fire.airnow.gov/>).

En Europe, plusieurs modèles existent et permettent de modéliser les émissions et les concentrations de polluants, notamment les $PM_{2,5}$, attribuables aux fumées de feux de végétation. Ont été recensés (de manière non-exhaustive) dans le Tableau 9 ci-dessous, quelques produits existants se basant sur plusieurs modèles chimiques ou de dispersion avec les sources de données, notamment satellitaires, utilisés qui couvrent plusieurs pays européens incluant la France métropolitaine. Les résolutions spatiales et temporelles ainsi que les périodes couvertes varient grandement entre les différents produits. Les sources pour télécharger ces données sont également mentionnées. Parmi ces produits, le *Global Fire Assimilation System* (GFAS) du *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) utilise les observations satellitaires du pouvoir radiatif des incendies (FRP) pour fournir des informations en temps quasi-réel sur la localisation, l'intensité relative et les émissions estimées de la combustion de la biomasse et des incendies de végétation. Les émissions sont estimées par (i) la conversion des observations FRP en matière sèche (MS) consommée par le feu, et (ii) l'application de facteurs d'émission à la MS pour différents biomes²⁴, établis sur la base d'études de terrain et de laboratoire dans la littérature scientifique, afin d'estimer les émissions. Les estimations des émissions pour 40 espèces pyrogènes²⁵ sont disponibles dans le GFAS, y compris les aérosols, les gaz réactifs et les gaz à effet de serre, sur une grille régulière avec une résolution spatiale de 0,1 degré de longitude par 0,1 degré de latitude (Wekeo, 2024).

Approches dites statistiques

En parallèle des modèles dits dynamiques, des approches dites statistiques ont été également développées. Ces approches sont principalement utilisées pour des applications épidémiologiques. Elles combinent des données mesurées (via des stations de surveillance) ou des données de modélisation dites de *land-use regression* couplées à des indicateurs de présence de fumées issues de feux de végétation (notamment HMS décrit plus haut).

Ces modèles ont été utilisés dans plusieurs études épidémiologiques et plusieurs développements méthodologiques ont été menés dans les dernières années. Une première approche proposée par Lipner *et al.* notamment s'est basée sur une interpolation saisonnière (Lipner *et al.* 2019). Il s'agit, pour une unité géographique donnée (e.g. un code postal) de calculer la moyenne saisonnière de $PM_{2,5}$ (toutes sources) et pour chaque jour où un panache de fumée est présent, de soustraire les niveaux de $PM_{2,5}$ observés à la moyenne saisonnière. Des développements ont été menés depuis avec notamment une approche proposée par Childs *et al.* qui combine cette approche d'interpolation saisonnière à des données issues d'un modèle de dispersion pour estimer les niveaux journaliers de $PM_{2,5}$ attribuables aux fumées de feux de végétation (Childs *et al.* 2022). Enfin, plus récemment, une approche proposée par Aguilera *et al.* s'est basée sur un modèle à ensemble (qui combine plusieurs algorithmes de *machine learning*) et des approches d'imputation pour estimer les niveaux journaliers de $PM_{2,5}$ attribuables aux fumées de feux de végétation (Aguilera *et al.* 2023). Ces approches ont permis de modéliser les niveaux de pollution attribuable aux fumées sur des périodes considérablement longues et à une échelle spatiale fine sur un espace géographique large (tout le territoire des Etats-Unis par exemple).

²⁴ Biome : vaste région biogéographique s'étendant sous un même climat. Les principaux biomes incluent notamment la toundra, la forêt tempérée, la forêt tropicale et équatoriale, la forêt boréale, la savane, la mangrove et la prairie tempérée.

²⁵ Acétaldéhyde (C₂H₄O), acétone (C₃H₆O), ammoniac (NH₃), benzène (C₆H₆), carbone suie, butanes (C₄H₁₀), butènes (C₄H₈), dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), sulfure de diméthyle (C₂H₆S), éthane (C₂H₆), éthanol (C₂H₅OH), éthène (C₂H₄), formaldéhyde (CH₂O), heptane (C₇H₁₆), hexanes (C₆H₁₄), hexène (C₆H₁₂), alcanes supérieurs (C_nH_{2n+2}, c>=4), alcènes supérieurs (C_nH_{2n}, c>=4), hydrogène (H), isoprène (C₅H₈), méthane (CH₄), méthanol (CH₃OH), oxydes d'azote (NO_x), oxyde nitreux (N₂O), hydrocarbures non méthaniques, octène (C₈H₁₆), carbone organique, particules (PM_{2.5}), pentanes (C₅H₁₂), pentènes (C₅H₁₀), propane (C₃H₈), propène (C₃H₆), dioxyde de soufre (SO₂), terpènes ((C₅H₈)_n), toluène (C₇H₈), toluène_lump (C₇H₈+ C₆H₆ + C₈H₁₀), carbone total dans les aérosols, particules totales, xylène (C₈H₁₀).

Avantages et inconvénients des deux approches

Bien que les approches dynamiques et statistiques soient toutes deux beaucoup utilisées dans les études épidémiologiques, il est important de mentionner qu'elles comportent des avantages et inconvénients les rendant complémentaires selon l'utilisation souhaitée.

Premièrement, les modèles dynamiques, bien qu'ils permettent des estimations plus fines et aussi possiblement en temps réel, nécessitent des temps de calcul qui peuvent être longs selon les résolutions spatiales et temporelles ainsi que la période d'étude d'intérêt. Il est important de préciser que plusieurs modèles dynamiques sont déjà en place dans des plateformes et applications de surveillance en temps réel et de prévision à quelques jours (jusqu'à J+4 avec [Copernicus](#) ; jusqu'à J+1 avec les outils [Prév'Air](#) et [Vigilance atmosphérique](#)). Les approches statistiques quant à elles sont plutôt performantes en termes de temps de calcul et permettent de couvrir des fenêtres longues et sur une aire géographique étendue en quelques heures de calcul.

Deuxièmement, les modèles dynamiques peuvent estimer des concentrations particulièrement imprécises avec des différences d'au moins un ordre de grandeur entre les modèles (pour le même événement) (Kopplitz et al. 2018). Les mécanismes chimiques impliqués dans le cadre des fumées de feux de végétation sont particulièrement complexes et il a été noté que les modèles de chimie-transport ne parviennent pas à bien capturer ces complexités, menant à des biais substantiels (Herron-Thorpe et al. 2014; Carter et al. 2020). De plus, il a été montré que ces modèles dynamiques ne capturent parfois pas adéquatement les concentrations de surface, avec des différences notables avec les mesures *in situ* quand disponibles (Herron-Thorpe et al. 2014; Carter et al. 2020). Il est toutefois possible, lorsque ces modèles dynamiques sont utilisés rétrospectivement dans le cas d'études épidémiologiques notamment, de corriger les sorties de modèles avec des données observées, de manière similaire aux approches statistiques.

Les modèles statistiques, bien que basés sur des concentrations mesurées aux stations ou validées *in situ*, quant à eux, sont basés sur plusieurs hypothèses permettant de simplifier la modélisation mais qui ne garantissent pas non plus des estimations non-biaisées. Les approches basées uniquement sur les données satellitaires ne permettent pas de distinguer systématiquement si le panache est au niveau de la surface et des biais peuvent exister. De plus, la prémisse de ces approches est que toute la différence entre les niveaux de PM_{2,5} mesurés et les niveaux contrefactuels (en l'absence de fumée, via une interpolation saisonnière ou des approches d'imputation) est attribuable à la fumée présente un jour donné sur un lieu géographique. Les approches statistiques ne sont pas utilisées pour des applications de surveillance en temps (quasi)-réel et pour des systèmes de prévision à court terme (J+ quelques jours) de la qualité de l'air car elles reposent sur des données de station mesurées et validées qui sont souvent disponibles avec un délai.

Les réseaux de mesure participatifs, tels que Purple Air, représentent une autre source de données de mesure en temps réel envisageable à l'avenir (Liang et al. 2021). Il existe en effet une littérature croissante sur la performance de ces mesures de PM_{2,5} par des systèmes capteurs portatifs durant les épisodes de fumées en comparaison des dispositifs réglementaires de mesure (Delp et Singer 2020).

Ainsi, il existe plusieurs approches de modélisation des polluants, notamment les PM_{2,5}, attribuables aux fumées issues des feux de végétation et il s'agit d'analyser quelle approche permet de répondre au mieux aux objectifs d'une étude ou d'un système de surveillance donnés.

Applications développées en France

Des applications d'information et de prévision en temps (quasi)-réel sur la qualité de l'air ambiant ont été développées en France, bien que non dédiées à des sources spécifiques de pollution de l'air. Ainsi, l'application du consortium [Prév'Air](#) diffuse en temps réel les informations relatives à la qualité de l'air sous forme cartographique :

- Les « cartes de pollution » pour le NO₂, l'O₃ et PM₁₀ et PM_{2,5}. Ces informations sont produites par le consortium Prév'Air et représentent les concentrations moyennes et les maxima journaliers établis chaque matin pour le jour même, le lendemain et le surlendemain, pour chacun des polluants. Pour les jours précédents, les simulations sont réajustées a posteriori en fonction des données d'observation disponibles auprès des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).
- Les « mesures aux stations » pour le NO₂, O₃, le SO₂, le CO et les particules (PM₁₀ et PM_{2,5}). Ces informations sont produites par les AASQA à partir d'un réseau de stations de mesure réparties sur l'ensemble du territoire national.
- Les « indices » qui synthétisent l'état de la qualité de l'air et correspondent aux indices ATMO pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants et aux indices de qualité de l'air pour les autres villes. Ces informations sont produites par les AASQA conformément à l'arrêté ministériel du 10 juillet 2020 relatif à l'indice de la qualité de l'air ambiant.

La base de données [Geod'air](#) diffuse en temps réel les informations relatives à la qualité de l'air jusqu'au jour J à partir des mesures réalisées aux stations des AASQA dans le cadre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air.

Basée également sur les données produites quotidiennement par les AASQA, l'application [Vigilance atmosphérique](#) du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) collecte, gère et diffuse en temps réel les informations relatives aux prévisions des épisodes de pollution de l'air ambiant et aux procédures préfectorales mises en œuvre lors de ces épisodes, pour les jours J et J+1. À partir de l'historique des épisodes disponible, certains épisodes en lien avec les incendies de végétation peuvent être retrouvés²⁶.

À noter que les données mesurées sur les stations fixes des AASQA en lien avec la surveillance réglementaire de la qualité de l'air permettent de disposer d'informations rapides et fiables sur l'état de la qualité de l'air. Elles sont par ailleurs localisées principalement dans les zones densément peuplées. Parmi les polluants mesurés en routine sur ces stations, les particules (PM_{2,5}, PM₁₀), l'O₃, le CO, voire le benzo[a]pyrène et le benzène, sont d'intérêt concernant la pollution atmosphérique liée aux incendies de végétation. À noter que le ratio PM_{2,5}/CO apparaît comme un bon indicateur de l'influence des fumées d'incendie de végétation sur la pollution de l'air urbaine (Jaffe, Schnieder, et Inouye 2022). Le réseau des stations fixes des AASQA est néanmoins limité par rapport à la surveillance de l'impact des fumées des incendies de végétation qui touchent fréquemment des zones non couvertes par ces stations.

²⁶ Par exemple : https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/communique_2022-07-21_nouvelle_aquitaine.pdf

[Le programme CARA](#) « caractérisation chimique des particules » constitue un observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain, basé sur une collaboration du LCSQA avec les AASQA, ainsi qu'avec des laboratoires académiques tels que le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), l'Institut Mines-Télécom Nord Europe (IMT-NE) et l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE). Les prélèvements et mesures automatiques sont mis en œuvre directement par les AASQA, ainsi que par le LSCE et l'IMT-NE, sur les sites opérationnels répartis sur le territoire français métropolitain, soit 15 sites en 2023. Ces mesures automatiques permettent notamment de documenter la nature des épisodes de pollution de grande ampleur au travers de notes LCSQA diffusées en temps quasi-réel aux acteurs de la surveillance de la qualité de l'air depuis 2015.

[Le programme MERA](#) constitue un observatoire national de mesure et d'évaluation en zone rurale de la pollution atmosphérique à longue distance, coordonné pour le compte du ministère en charge de l'environnement par l'IMT-NE et le LCSQA. Il se compose en 2020 de 12 sites de mesure répartis sur le territoire français métropolitain, gérés localement par les AASQA. Il permet également une caractérisation de la composition chimique et des sources de particules, mais ne permet pas à date une surveillance en temps quasi-réel à l'instar du programme CARA.

Concernant l'application cartographique du consortium Prév'Air, le modèle de prévision CHIMERE utilisé est un modèle dynamique (modèle chimie-transport), dont les avantages et inconvénients sont décrits ci-avant. Les challenges affectant la performance de ces modèles de prévision en place, que ce soit CHIMERE ou les autres utilisés en Europe par la plateforme CAMS, incluent l'estimation correcte de la puissance radiative du feu, les larges incertitudes associées à la distribution de la végétation et aux facteurs d'émission spécifiques au biome et aux types de feu (Loboda, French, et Puett 2024). Ceci induit par exemple des sous-estimations des émissions de matière organique et de carbone suie, compensées par des facteurs de correction importants. Ce point nécessiterait davantage d'optimisation et de recherche pour réduire l'amplitude de cette correction, par exemple en améliorant les connaissances sur la formation des aérosols secondaires à partir des émissions d'incendie de végétation. Un challenge important des outils de prévision de la pollution de l'air est celui de la prédiction des feux sur la période de prévision. Le système CAMS suppose la persistance des émissions des feux (GFAS), dérivées des observations satellitaires à partir du jour précédant la période de prévision. La prédiction correcte de la durée des feux observés et l'allumage des nouveaux feux restent un domaine actif d'étude. Enfin, les incendies de végétation sont souvent de taille inférieure à la résolution spatiale (modèle régional CAMS = 10 km) et à la résolution des données d'entrée d'émissions GFAS (0,1°). Une amélioration des paramètres serait nécessaire pour évaluer l'effet des processus à des échelles spatiales plus fines sur le transport des fumées, la convection et la transformation chimique.

Tableau 9. Outils disponibles en Europe et en France pour la surveillance atmosphérique et prévision en lien avec les incendies de végétation (liste non-exhaustive)

Outil	Source	Satellite / capteur	Substances	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Période	Format	Accessible via	Références
CAMS <i>global biomass burning emissions based on fire radiative power</i> (GFAS)	CAMS	MODIS	BC, CO, NO _x , PM _{2.5} , total PM, et autres	0,1 x 0,1 degrés	Journalière	2003-présent	GRIB or NetCDF	https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp/ + European air quality hourly forecast of ground- and upper-level pm10 wildfires	(ECMWF 2024)
<i>Global Fire Emissions Database</i> (GFED)	GFED	MODIS / VIIRS	Carbone, BC, CO, NO _x , SO ₂ , PM _{2.5} , total PM, et autres	0,25 x 0,25 degrés	Mensuelle	1995-présent	HDF	Global Fire Data NASA ORNL-DAAC (for 1997-2016) GWIS (for 2002-2022)	(Van Der Werf et al. 2017; Giglio, Randerson, et Van Der Werf 2013)
Inventaire des feux issu de NCAR version 2 Fire Emission (FINN)	NCAR	MODIS / VIIRS	NO _x , SO ₂ , et autres PM exclus.	0,1 x 0,1 degrés	Journalière	2002-2021	NetCDF	Research Data Archive	(Wiedinmyer et al. 2023)
Concentration surfacique journalière de PM _{2.5} liée aux feux modélisées par SILAM CTM	FMI	MODIS	PM _{2.5}	0,5 x 0,5 degrés	Journalière	2003-2022	NetCDF	EUDAT B2FIND Data Catalogue	(Romanello et al. 2023)
Concentration moyenne mensuelle de PM _{2.5} et O ₃ , totale et liée aux feux	Données utilisées dans Xu et al. 2023.	Station de mesure de la pollution de l'air / GFED	PM _{2.5} , O ₃	0,25 x 0,25 degrés	Mensuelle	2000-2019	RDS	Open Science Framework	(Xu et al. 2023)

A l'échelle mondiale, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a répondu aux demandes d'assistance urgentes des membres de plusieurs régions touchées en lançant le [Vegetation Fire and Smoke Pollution Warning and Advisory System](#) (VFSP-WAS). Les objectifs sont d'améliorer la capacité des pays à fournir des prévisions, des observations, des informations et des connaissances de qualité et en temps voulu sur les incendies de végétation et la pollution par la fumée, grâce à un partenariat international entre les milieux de la recherche et de l'exploitation. A ce jour, deux centres ont vu le jour :

- [le centre VFSP-WAS d'Asie du Sud-Est à Singapour](#)
- [le centre VFSP-WAS d'Amérique du Nord à l'Environment and Climate Change Canada](#)

Observations satellitaires pour la détection des feux et la surveillance des panaches de fumées

Les systèmes satellitaires d'observation de la Terre, utilisés dans les outils de surveillance susmentionnés (Tableau 9), sont également une composante de la détection précoce des feux et de la surveillance des panaches de fumées des incendies de végétation, principalement en raison de leur couverture à grande échelle.

Le Tableau 10 présente les systèmes satellitaires disponibles en Europe pour la détection des feux et la surveillance des panaches de fumées des incendies de végétation, issus d'un recensement de Barmoutis *et al.* 2020.

La majorité des satellites fournissant des images de la terre sont soit géostationnaires²⁷, soit en orbite héliosynchrone quasi-polaire²⁸, et comprennent des capteurs d'imagerie multispectraux. Les satellites héliosynchrones fournissent des données à haute résolution spatiale mais à faible résolution temporelle, tandis que les satellites géostationnaires ont une haute résolution temporelle mais une faible résolution spatiale. Plus récemment, les progrès réalisés dans le domaine des nanomatériaux et des technologies microélectroniques ont permis l'utilisation de minuscules satellites en orbite basse, appelés CubeSats. Les CubeSats présentent des avantages significatifs par rapport aux satellites traditionnels en ce qui concerne la détection des fumées et des incendies, car ils sont plus efficaces en termes de coûts, de résolution temporelle / temps de réponse, et de couverture (Barmoutis *et al.* 2020). En outre, ils sont plus petits que les satellites traditionnels et nécessitent moins de temps pour être mis en orbite. Cependant, leur capacité à transmettre de grandes quantités de données au sol peut être trop faible. Chaque catégorie a ses avantages et ses inconvénients. Pour cette raison, les efforts de recherche sur la détection des incendies de végétation se concentrent soit sur la combinaison de ces technologies, soit sur l'utilisation de sources d'entrée supplémentaires telles que le *crowdsourcing*²⁹, les réseaux sociaux et les prévisions météorologiques.

²⁷ Satellite géostationnaire : satellite de la Terre qui parcourt une orbite équatoriale, circulaire et directe avec une période de révolution égale à la période de rotation sidérale de la Terre, soit 23h56min, et qui, de ce fait, paraît fixe à un observateur terrestre. L'orbite des satellites géostationnaires est unique et son altitude est d'environ 35 800 km (CNRS 2001).

²⁸ Orbite héliosynchrone quasi-polaire : orbite d'un satellite de la Terre dont chaque passage dans le même sens à une latitude donnée s'effectue tout au long de l'année à la même heure solaire vraie. L'orbite doit être quasi polaire (inclinaison de l'ordre de 98° pour une altitude comprise entre 600 km et 800 km) (CNRS 2001).

²⁹ Le *crowdsourcing* consiste littéralement à externaliser (*to outsource*) une activité vers la foule (*crowd*) c'est-à-dire vers un grand nombre d'acteurs anonymes (à priori) (Burger-Helmchen et Pénin 2011).

Les systèmes terrestres et aériens, décrits dans le chapitre suivant, peuvent détecter les incendies à un stade très précoce en fonction de leur distance par rapport à l'incendie et de leur résolution spatiale, parallèlement à un temps de latence court. En ce qui concerne les systèmes satellitaires, le temps de latence et la taille minimale des incendies détectables s'améliorent. Les capteurs d'images des satellites en orbite héliosynchrone, tels que MODIS, peuvent détecter après observation de très petits incendies (jusqu'à 50 m²) dans des conditions quasi idéales et une taille moyenne de 30 × 30 = 900 m² dans diverses conditions d'après (Barmoutis et al. 2020). Selon cette même source, en ce qui concerne le temps de latence, les produits MODIS sur les incendies sont produits et livrés aux partenaires des gestionnaires d'incendies en temps quasi réel (dans les 2 à 4 heures suivant la collecte des observations par MODIS). D'autre part, les capteurs géostationnaires, comme MSG-SEVIRI, peuvent fournir des observations toutes les 5-15 minutes, ce qui les rend idéaux pour la surveillance des incendies en temps quasi réel, au prix d'une résolution spatiale plus élevée (taille de pixel de 3 km, qui peut être réduite à 1 km). En outre, la création de nouveaux ensembles de données pour l'apprentissage de nouveaux algorithmes d'apprentissage profond (par exemple, la super-résolution), ainsi que les progrès réalisés dans les technologies de transmission, contribuent à cette évolution.

Tableau 10. Systèmes satellitaires d'imagerie multi-spectrale disponibles en Europe pour la détection des feux et la surveillance des panaches de fumées des incendies de végétation (adapté de Barmoutis et al. 2020)

Satellite	Bandes spectrales	Accès aux données	Spécifications / avantages / limites	Echelle spatiale	Résolution spatiale	Couverture des données	Intervalle de précision
Terra/Aqua-MODIS	36 (0,4–14,4 μm)	Enregistrement requis (NASA)	Facilement accessible, résolution spatiale limitée, intervalle de réobservation : 1-2 jours	Globale	0,25 km (bandes 1–2) 0,5 km (bandes 3–7) 1 km (bands 8–36)	Terre	92,75 % – 98,32 %
MSG-SEVIRI	12 (0,4–13,4 μm)	Enregistrement requis (EUMETSAT)	Faible bruit dans les canaux IR à ondes longues, suivi des tempêtes de poussière en temps quasi-réel, susceptibilité du champ de vision plus large à la contamination par les nuages et absence de capacité de double vue, intervalle de réobservation : 5-15 min	Continentale	1 km pour le canal en haute-résolution visible 3 km pour les canaux en IR et les trois autres canaux en visible	Océan Atlantique, Europe et Afrique	71,1 % – 98 %
POES/MetOp-AVHRR	6 (0,58–12,5 μm)	Enregistrement requis (NOAA)	Résolution spatiale grossière, intervalle de réobservation : 6 h	Globale	1,1 km par 4 km au nadir	Terre	99,6 %
S-NPP/NOAA-20/NOAA-VIIRS-375 m	16 M-bands (0,4–12,5 μm) 5 I-bands (0,6–12,4 μm) 1 DNB (0,5–0,9 μm)	Enregistrement requis (NASA)	Résolution spatiale augmentée, cartographie améliorée des périmètres des feux étendus, intervalle de réobservation : 12 h	Globale	0,75 km (M-bands) 0,375 km (I-bands) 0,75 km (DNB)	Terre	89 % – 98,8 %
CubeSats	2: MWIR (3–5 μm) et LWIR (8–12 μm)	Accès commerciaux prévus	Faible taille physique, coût réduit, résolution temporelle / temps de réponse amélioré, intervalle de réobservation : moins de 1h.	Globale	0,2 km	Large couverture en orbite	Non disponible

3.4.2.2. Dispositifs de surveillance terrestres et aériens des espaces naturels (vigies, caméras, patrouilles terrestres, aéro-surveillance, drones)

En application de la stratégie nationale, la surveillance préventive des espaces naturels permet une détection précoce des départs de feux et ainsi un engagement plus rapide des moyens de lutte (DGSCGC 2021). Cette surveillance repose sur :

- un dispositif de surveillance terrestre (caméras, vigies, patrouilles, moyens de première intervention) ;
- un dispositif de surveillance aérienne (guet aérien armé³⁰ retardant, aéro-surveillance).

Ces dispositifs de surveillance concourent également à l'observation et à l'évaluation des feux et des fumées. Ils s'appuient sur un ensemble de personnes, du citoyen au réseau de surveillance mis en place par les différents services, composés de :

- réseaux téléphoniques – fixes et mobiles ;
- tours de guet et vigie ;
- réseaux de caméras des services d'incendie et de secours ou de partenaires ;
- guets aériens armés²⁴ ;
- aéronefs³¹ ;
- sémaphores³² ;
- moyens terrestres déployés³³ ;
- déclarations d'écobuage ou d'incinérations (champs coupés, etc.),
- de la veille et de l'exploitation en renseignement des réseaux sociaux.

Les aéronefs circulant sans équipage à bord, communément appelés « drones », sont utilisés de manière croissante ces dernières années, y compris pour la surveillance des fumées d'incendie de végétation. Ils sont employés par les services d'incendie et de secours depuis une dizaine d'années (DGSCGC 2022b). Le drone est un moyen opérationnel et peut apporter une valeur ajoutée puisqu'il :

- se déploie rapidement ;
- offre des capacités de reconnaissance de zones peu ou pas accessibles ;
- permet une économie de moyens (aérien et/ou terrestre) ;
- contribue à la sécurité des intervenants (engagement en zone dangereuse, selon les capacités intrinsèques de l'aéronef).

Néanmoins sa mise en œuvre est rendue complexe par le fait qu'elle :

- fasse l'objet d'une réglementation nationale, européenne et internationale spécifique ;
- s'inscrive dans un espace où évoluent d'autres aéronefs (compagnie aérienne, aéronefs, privés, militaires, de sécurité civile, etc.) ;
- puisse porter atteinte aux libertés individuelles.

³⁰ Le guet aérien armé est une spécificité française qui consiste en une action rapide, dans l'attente des moyens terrestres, avec le survol des zones vulnérables par des avions chargés de produits retardant ou d'eau (Sénat 2019). Les missions de guet aérien armé contribuent à la détection proprement dite des incendies et garantissent une première intervention rapide en supprimant les délais de décollage des aéronefs.

³¹ Appareil capable de se déplacer dans les airs (avion, hélicoptère, drone, ...).

³² Poste d'observation établi sur une côte qui permet notamment la surveillance de l'espace maritime, l'aide à la navigation et la coordination d'opérations de sauvetage. Il peut également assurer la surveillance de la forêt dans le cadre de la prévention des incendies de forêt (ex : sémaphore de la forêt des Landes).

³³ Les moyens terrestres déployés par les services d'incendie et de secours incluent des camions et des véhicules légers tous terrains.

Réglementation nationale relative à l'usage des drones sur les activités d'incendie

Les articles R. 172-16 et R. 563-27 du code de l'environnement, créés par le décret n° 2022-1638 du 22 décembre 2022 portant sur l'encadrement de l'utilisation de caméras et capteurs sur des aéronefs circulant sans personne à bord pour la connaissance des phénomènes naturels et la police administrative des risques technologiques, définissent les cas d'usage de ces aéronefs et les modalités d'encadrement complémentaires à ces dispositions législatives et prévoient une doctrine d'usage qui précise, en tant que de besoin, les modalités d'application de ce décret. C'est l'objet de l'avis « doctrine d'usage portant sur l'usage des drones dans le cadre de la prévention des risques naturels et technologiques » du 17 octobre 2023 qui liste à son alinea 3° les usages des drones pour la connaissance et la prévention des incendies.

Depuis la loi n°2022-52 relative à la responsabilité pénale et sécurité intérieure du 24 janvier 2022, les sapeurs-pompiers sont officiellement autorisés à utiliser les drones dans leurs interventions. Le décret n° 2022-712 du 27 avril 2022 pris en application de cette loi détaille le cadre du traitement des données issues de ces captations d'images. Ce décret autorise les services d'incendie et de secours, les services de l'État et unités militaires investis à titre permanent de missions de sécurité civile (marins-pompiers de Marseille et sapeurs-pompiers de Paris), ainsi que les associations de sécurité civile agréées participant à des opérations de sécurité civile à mettre en œuvre « en tous lieux » des traitements de données à caractère personnel provenant de caméras installées sur des aéronefs. Ils peuvent aussi intervenir en des lieux privés « lorsque cela est strictement nécessaire ». Ces captations d'images par drone sont cependant circonscrites à deux finalités : « la prévention des risques naturels ou technologiques » et « le secours aux personnes et la lutte contre l'incendie ».

Techniquement, ce qui est communément appelé le « système drone » correspond à un système dynamique contrôlé combinant :

- un aéronef ;
- une station au sol permettant de transmettre les ordres à l'aéronef et de réceptionner des paramètres de vol et/ou un retour vidéo « temps réel » sur un écran dédié ;
- éventuellement une charge utile comme un appareil photographique ou cinématographique dans les spectres visible et invisible, un système de largage, un haut-parleur, un dispositif d'éclairage...

Ces aéronefs télépilotés peuvent être utilisés par les sapeurs-pompiers, dans le cadre des finalités prévues par le code de la sécurité intérieure, à savoir : la prévention des risques naturels ou technologiques, les secours et soins d'urgence aux personnes et les opérations de lutte contre l'incendie de toute origine et de toute nature. S'agissant par exemple d'une utilisation à des fins de lutte contre un incendie de végétation ou autre, parmi les reconnaissances aériennes qui permettent l'acquisition d'images, selon le guide de doctrine opérationnelle (DGSCGC 2022b) il peut être distingué :

- la reconnaissance d'une zone étendue de terrain, afin d'actualiser la vue de masse de la zone sinistrée, de visualiser une zone impactée par les effets du sinistre, de détecter et localiser des personnes menacées par les effets de l'incendie, d'identifier des points d'accès ;
- la reconnaissance d'une sous-partie de la zone sinistrée, afin de localiser les éventuels sauvetages ou mises en sécurité, de cerner les limites du sinistre, d'identifier l'origine de l'incendie, de visualiser l'efficacité du dispositif hydraulique ;
- la reconnaissance spécialisée pour : la mise en place d'un réseau de mesures (toxicité des fumées), l'identification des zones à évacuer, lieu de la fuite, données physico-chimiques du rejet par prélèvements atmosphériques et/ou observation de la propagation du nuage, l'identification des cibles à protéger pour limiter les effets, l'acquisition des mesures physiques (imagerie thermique, opacité des fumées, concentration gazeuse, vitesse de propagation de l'incendie ou d'un nuage, etc.).

À noter toutefois que pendant l'incendie de végétation, il peut être interdit d'utiliser des drones en présence d'autres moyens aériens (hélicoptères ou avions bombardiers d'eau ou de reconnaissance, type Canadair, Tracker, Dash, Beechcraft, MRBET, etc.), pour des questions de sécurité.

En 2019, près de 40 % des SDIS de France s'étaient dotés de drones (SDIS 30 2019). Depuis, leur utilisation ne cesse de croître et est actuellement extrêmement évolutive en fonction des possibilités technologiques qui augmentent (zoom, caméra thermique, autonomie, déplacements, vitesse, etc.) et des services d'incendie et de secours qui s'équipent, s'organisent et se forment. En 2022, le SDIS des Landes a formé 10 nouveaux télépilotes et le volume d'heures de vol des 4 drones était très largement dédié à l'activité sur les incendies de végétation de la région (SDIS 40 2023).

In fine, les listes et descriptions de substances et méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation, établies dans le cadre de la présente note, pourront utilement alimenter le développement d'un dispositif global et intégré de surveillance du feu d'espaces naturels, forestiers et agricoles, tel que proposé dans la recommandation n°3 du plan d'action de la mission CGAAER-IGEDD-IGA « *risque incendie forêt* » (Mortier et al. 2023b).

3.5. Perspectives

À partir des informations collectées pour les deux parties précédentes 3.3 et 3.4, des perspectives³⁴ générales d'amélioration des connaissances ont été relevées :

- S'agissant des consignes pour la population générale et les populations sensibles et vulnérables, en cas d'incendie de végétation de grande ampleur (partie 3.3.1) :
 - Analyser le degré de connaissance et l'application des consignes par la population française, ainsi que l'efficacité de ces consignes.
- S'agissant des consignes pour la population professionnelle, en cas d'incendie de végétation de grande ampleur (partie 3.3.2) :
 - Poursuivre les efforts de recherche en France et à l'international sur l'efficacité et l'ergonomie des EPI, notamment des équipements de protection respiratoire, pour la lutte contre l'exposition aux fumées des incendies de végétation ;
 - Initier une réflexion en France sur le port de détecteur de CO dans le cadre de la lutte contre l'exposition aux fumées des incendies de végétation.
- S'agissant des substances présentes dans les panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur (partie 3.4.1) :
 - Poursuivre prioritairement les efforts de recherche sur des substances ou métriques peu documentées et d'intérêt sanitaire, tels que le potentiel oxydant des particules et les micro-organismes et leurs sous-produits métaboliques (pollens, cellules fongiques et bactériennes, spores de moisissures) ;
 - Poursuivre secondairement les efforts de recherche sur des substances d'intérêt sanitaire peu documentées et plus ponctuellement présentes dans les panaches de fumées, telles que les pesticides et produits de combustion des pesticides.
- S'agissant des méthodes de mesurage pour la surveillance des panaches de fumées issus des feux de végétation de grande ampleur (partie 3.4.2.) :
 - Étudier l'utilisation du ratio $PM_{2.5}/CO$ comme indicateur d'influence des fumées en zone urbaine en France à partir des mesures en station de surveillance de la qualité de l'air ;
 - Poursuivre le développement et l'harmonisation des outils européens de surveillance au travers du programme Copernicus ;
 - Étudier l'opportunité d'implémenter dans les outils de surveillance les approches statistiques développées pour l'épidémiologie combinant des données mesurées (via des stations de surveillance) ou des données modélisées de pollution de l'air couplées à des indicateurs de présence de fumées issues de feux de végétation ;
 - Encourager le recours aux informations cartographiques et autres données issues des satellites géostationnaires, qui peuvent être disponibles en temps quasi-réel et à une résolution spatiale fine pour la détection des départs de feux et le suivi des fumées, ainsi que leur communication à tous les services qui peuvent être concernés par la surveillance des panaches de fumées durant les incendies, incluant préfetures, ARS, DREAL, etc.


Pr Benoit VALLET

³⁴ Les perspectives présentées ne constituent pas des recommandations en tant que telles mais des aspects envisagés en matière d'amélioration des connaissances à la lumière des informations collectées.

BIBLIOGRAPHIE

- Aguilera, Rosana, Thomas Corringham, Alexander Gershunov, et Tarik Benmarhnia. 2021. « Wildfire Smoke Impacts Respiratory Health More than Fine Particles from Other Sources: Observational Evidence from Southern California ». *Nature Communications* 12 (1): 1493. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21708-0>
- Aguilera, Rosana, Nana Luo, Rupa Basu, Jun Wu, Rachel Clemesha, Alexander Gershunov, et Tarik Benmarhnia. 2023. « A Novel Ensemble-Based Statistical Approach to Estimate Daily Wildfire-Specific PM_{2.5} in California (2006–2020) ». *Environment International* 171 (janvier): 107719. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107719>.
- Andreae, Meinrat O. 2004. « Assessment of global emissions from vegetation fires ». *Int. For. Fire News* 31 (janvier): 112-21.
- Anses. 2012. « Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre ». Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0183Ra.pdf>
- Anses. 2019. « Risques sanitaires liés aux expositions professionnelles des sapeurs-pompiers ». Rapport d'appui scientifique et technique. Maisons-Alfort: Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0066Ra.pdf>
- Anses. 2023a. « Valeurs toxicologiques de référence - Les particules de l'air ambiant extérieur ». Maisons-Alfort: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2019SA0198Ra.pdf>
- Anses. 2023b. « Fractions granulométriques : évaluation des expositions par inhalation d'aérosols ». Maisons-Alfort: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0076Ra.pdf>
- ARS NA. 2023. « Feux de forêts - Impact sanitaire et recommandations ». Agence régionale de Santé Nouvelle-Aquitaine. 4 avril 2023. <https://www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/feux-de-forets-impact-sanitaire-et-recommandations>
- ARS PDL. 2022. « Exposition aux fumées générées par les incendies : recommandations sanitaires ». Agence régionale de santé Pays-de-la-Loire. 12 août 2022. <https://www.pays-de-la-loire.ars.sante.fr/exposition-aux-fumees-generees-par-les-incendies-recommandations-sanitaires>
- ASM. 2021. « The Microbiology of Wildfires ». American Society for Microbiology. 16 avril 2021. <https://asm.org:443/Articles/2021/April/The-Microbiology-of-Wildfires>
- ASM. 2023. « By Air, Rain and Land: How Microbes Return After a Wildfire ». American Society for Microbiology. 25 septembre 2023. <https://asm.org:443/Press-Releases/2023/September/By-Air,-Rain-and-Land-How-Microbes-Return-After-a>
- Barmpoutis, Panagiotis, Periklis Papaioannou, Kosmas Dimitropoulos, et Nikos Grammalidis. 2020. « A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing ». *Sensors* 20 (22): 6442. <https://doi.org/10.3390/s20226442>
- Burger-Helmchen, Thierry, et Julien Pénin. 2011. « Crowdsourcing : définition, enjeux, typologie ». *Management & Avenir* n° 41 (1): 254-69. <https://doi.org/10.3917/mav.041.0254>
- CARB. 2021. « Camp Fire Air Quality Data Analysis ». California Air Resources Board. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-07/Camp_Fire_report_July2021.pdf
- Carratt, SA, CH Flayer, ME Kossack, et JE Last. 2017. « Pesticides, wildfire suppression chemicals, and California wildfires: A human health perspective ». *Current Topics in Toxicology* 13: 1-12.

- Carter, Therese S., Colette L. Heald, Jose L. Jimenez, Pedro Campuzano-Jost, Yutaka Kondo, Nobuhiro Moteki, Joshua P. Schwarz, et al. 2020. « How Emissions Uncertainty Influences the Distribution and Radiative Impacts of Smoke from Fires in North America ». *Atmospheric Chemistry and Physics* 20 (4): 2073-97. <https://doi.org/10.5194/acp-20-2073-2020>
- CDC. 2023. « Protect Yourself from Wildfire Smoke ». Centers for Disease Control and Prevention. 19 mai 2023. <https://www.cdc.gov/air/wildfire-smoke/default.htm>
- CDPH. 2022. « Wildfire Smoke: Considerations for California's Public Health Officials ». California Department of Public Health. https://www.cdph.ca.gov/Programs/EPO/CDPH%20Document%20Library/EOM%20Documents/Wildfire-Smoke-Considerations-CA-PHO_08-2022.pdf
- CEPA. s. d. « Smoke Ready California ». California Environmental Protection Agency. Consulté le 17 janvier 2024. <https://ww2.arb.ca.gov/smokereadyca#:~:text=The%20best%20way%20to%20prevent,with%20windows%20and%20doors%20closed>
- CEREN. 2018. « Evaluation de l'efficacité de filtration de la cagoule feux de forêts vis-à-vis des fumées et des particules fines ». Rapport d'essais. Centre d'essais et de recherche.
- Chen, Gongbo, Yuming Guo, Xu Yue, Shilu Tong, Antonio Gasparini, Michelle L Bell, Ben Armstrong, et al. 2021. « Mortality Risk Attributable to Wildfire-Related PM_{2.5} Pollution: A Global Time Series Study in 749 Locations ». *The Lancet Planetary Health* 5 (9): e579-87. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00200-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00200-X)
- Childs, Marissa L., Jessica Li, Jeffrey Wen, Sam Heft-Neal, Anne Driscoll, Sherrie Wang, Carlos F. Gould, Minghao Qiu, Jennifer Burney, et Marshall Burke. 2022. « Daily Local-Level Estimates of Ambient Wildfire Smoke PM_{2.5} for the Contiguous US ». *Environmental Science & Technology* 56 (19): 13607-21. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02934>
- Chowdhury S, Hänninen R, Sofiev M, Aunan K. 2024. Fires as a source of annual ambient PM_{2.5} exposure and chronic health impacts in Europe. *Sci. Total Environ.* 922 (avril):171314. <https://doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171314>
- CNRACL. 2017. « Impacts et prévention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers ». Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales.
- CNRACL. 2020. « Impacts et prévention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers ». Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales.
- CNRS. 2001. « Vocabulaire des sciences et techniques spatiales : liste de termes, expressions et définitions adoptés ». Centre national de la recherche scientifique. 18 avril 2001. <https://www.dgdr.cnrs.fr/bo/2001/06-01/431-bo0601-vocabulairedesciencesettechniquesspatiales.htm>
- De Vos, Annemarie J.B.M., Angus Cook, Brian Devine, Philip J. Thompson, et Philip Weinstein. 2006. « Effect of Protective Filters on Fire Fighter Respiratory Health during Simulated Bushfire Smoke Exposure ». *American Journal of Industrial Medicine* 49 (9): 740-50. <https://doi.org/10.1002/ajim.20369>
- Delp, William W., et Brett C. Singer. 2020. « Wildfire Smoke Adjustment Factors for Low-Cost and Professional PM_{2.5} Monitors with Optical Sensors ». *Sensors* 20 (13): 3683. <https://doi.org/10.3390/s20133683>
- DGSCGC. 2018. « Guide de doctrine relatif à la prévention contre les risques de toxicité liés aux fumées d'incendie ». Ministère de l'Intérieur. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.
- DGSCGC. 2020. « Guide de doctrine opérationnelle. Prévention des risques liés à la toxicité des fumées ». Ministère de l'Intérieur. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.

- DGSCGC. 2021. « Guide de doctrine opérationnelle. Feux de forêts et d'espaces naturels ». Ministère de l'Intérieur. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.
- DGSCGC. 2022a. « Référentiel technique sur la cagoule de protection filtrante de sapeurs-pompier ». Ministère de l'Intérieur et des outre-mer. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.
- DGSCGC. 2022b. « Guide de doctrine opérationnelle. Engagement des appareils télépilotés de lutte, d'appui et de secours ». Ministère de l'Intérieur et des outre-mer. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.
- Ditas, Jeannine, Nan Ma, Yuxuan Zhang, Denise Assmann, Marco Neumaier, Hella Riede, Einar Karu, et al. 2018. « Strong Impact of Wildfires on the Abundance and Aging of Black Carbon in the Lowermost Stratosphere ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (50). <https://doi.org/10.1073/pnas.1806868115>
- ECMWF. 2024. « CAMS global biomass burning emissions based on fire radiative power (GFAS): data documentation ». European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 26 février 2024.
<https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS+global+biomass+burning+emissions+based+on+fire+radiative+power+%28GFAS%29%3A+data+documentation>
- EEA. 2018. *Air Quality in Europe: 2018 Report*. European Environment Agency. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/777411>
- EFFIS. s. d.-a. « EFFIS Annual Statistics for France ». European Forest Fire Information System. Consulté le 3 janvier 2024.
<https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates>
- EFFIS. s. d.-b. « EFFIS Annual Statistics for Greece ». European Forest Fire Information System. Consulté le 3 janvier 2024.
<https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates>
- ENBEL. 2024. « Climate change, wildfires and human health », Policy brief, n° 6 (janvier).
https://assets-global.website-files.com/6233557710220c5f2eafdabe/659ffda40b55af702171f819_ENBEL%20Policy%20brief%20%236_Climate%20change%2C%20wildfires%20and%20human%20health.pdf
- Estrellan, Carl Renan, et Fukuya Iino. 2010. « Toxic Emissions from Open Burning ». *Chemosphere* 80 (3): 193-207. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.03.057>
- FEMA. s. d. « Be Prepared for a Wildfire ». Federal Emergency Management Agency. Consulté le 17 novembre 2023.
<https://community.fema.gov/ProtectiveActions/s/article/Wildfire>
- Feux de Forêt. 2020. « Le feu de forêt: tout savoir ». Feux de Forêt. 2020.
<https://feuxdeforet.fr/savoir/#que-faire-en-cas-incendie>
- France Chimie, et UFIP. 2023. « Guide professionnel à l'usage des industriels de la chimie du pétrole sur les produits de décomposition émis par un incendie ». Document technique 126.
- Géorisques. s. d. « Dossier expert sur les feux de forêt. Conditions d'apparition et facteurs déclenchants ». Géorisques. Consulté le 23 février 2024.
<https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/feux-de-foret/conditions-dapparition-et-facteurs-declenchants>
- Giglio, Louis, James T. Randerson, et Guido R. Van Der Werf. 2013. « Analysis of Daily, Monthly, and Annual Burned Area Using the Fourth-generation Global Fire Emissions Database (GFED4) ». *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 118 (1): 317-28.
<https://doi.org/10.1002/jgrg.20042>
- Gov. BC. s. d. « Guide de préparation aux feux de forêt ». Gouvernement de la Colombie-Britannique. Consulté le 17 janvier 2024. <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety->

[and-emergency-services/emergency-preparedness-response-recovery/embc/preparedbc/preparedbc-guides/translations/preparedbc_wildfire_preparedness_guide_fr.pdf](#)

Gov. CA. 2023a. « Wildfire Smoke 101: How to Prepare for Wildfire Smoke ». Gouvernement Du Canada. 9 août 2023. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/how-prepare-wildfire-smoke.html>

Gov. CA. 2023b. « Les feux de forêts ». Gouvernement du Canada. 21 août 2023. <https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/hzd/wldfrs-fr.aspx>

Gov. CA. 2023c. « Rapport national sur la situation des feux de végétation ». Gouvernement du Canada. 2 novembre 2023. <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/rapport>

Gov. SA. 2023. « Plan & Prepare ». General. South Australia Country Fire Service. 2023. <https://www.cfs.sa.gov.au/plan-prepare/>

Gov. US. 2022. « Wildfires ». Ready.gov (US government). 14 mars 2022. <https://www.ready.gov/fr/wildfires>

Gov. WA. s. d. « Prepare for a bushfire ». Government of Western Australia. Consulté le 17 janvier 2024. <https://www.dfes.wa.gov.au/hazard-information/bushfire/prepare>

Gualdi, Baptiste, Emma Binet-Stéphan, André Bahabi, Roxane Marchal, et David Moncoulon. 2022. « Modelling Fire Risk Exposure for France Using Machine Learning ». *Applied Sciences* 12 (3): 1635. <https://doi.org/10.3390/app12031635>

Haston, D. 2007. « Respirator usage by wildland firefighters. Fire management tech tips ». U.S. Department of Agriculture Fire Service. <https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdf/hires/07511301hi.pdf>

Herron-Thorpe, F. L., G. H. Mount, L. K. Emmons, B. K. Lamb, D. A. Jaffe, N. L. Wigder, S. H. Chung, R. Zhang, M. D. Woelfle, et J. K. Vaughan. 2014. « Air Quality Simulations of Wildfires in the Pacific Northwest Evaluated with Surface and Satellite Observations during the Summers of 2007 and 2008 ». *Atmospheric Chemistry and Physics* 14 (22): 12533-51. <https://doi.org/10.5194/acp-14-12533-2014>

IGN. 2022. « La surface forestière ». Institut national de l'information géographique et forestière. 2022. <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique11>

INRAE. 2022. « Quelles gestions des forêts pour demain ? » *Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement*, Ressources, 2 (avril): 66-89.

INRS. 2018. « Amiante. Fiche toxicologique n°145 ». Institut national de recherche et de sécurité. juillet 2018. https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_145

IPCC. 2023. « Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ». Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

IRSN. 2012. « La maîtrise des risques d'incendie et d'explosion ». Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 21 mai 2012. <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/surete/maitrise-risques-dincendie-dexplosion>

IRSN. 2022. « Ukraine : Point de situation sur les incendies dans la zone d'exclusion de Tchernobyl ». Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 24 mars 2022. <https://www.irsn.fr/actualites/ukraine-point-sur-incendies-dans-zone-dexclusion-tchernobyl>

IRSST. 2008. *Risques pour la santé des pompiers forestiers et protection respiratoire*. Montréal, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec.

- Jaffe, Daniel A., Brendan Schnieder, et Daniel Inouye. 2022. « Technical Note: Use of PM2.5 to CO Ratio as an Indicator of Wildfire Smoke in Urban Areas ». *Atmospheric Chemistry and Physics* 22 (18): 12695-704. <https://doi.org/10.5194/acp-22-12695-2022>
- JRC. 2017. *Forest Fire Danger Extremes in Europe under Climate Change: Variability and Uncertainty*. European Commission. Joint Research Centre. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/13180>
- JRC. 2023. *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2022*. European Commission. Joint Research Centre. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/348120>
- Kobziar, Leda N., et George R. Thompson. 2020. « Wildfire Smoke, a Potential Infectious Agent ». *Science* 370 (6523): 1408-10. <https://doi.org/10.1126/science.abe8116>
- Kobziar, Leda N, David Vuono, Rachel Moore, Brent C Christner, Timothy Dean, Doris Betancourt, Adam C Watts, Johanna Aurell, et Brian Gullett. 2022. « Wildland Fire Smoke Alters the Composition, Diversity, and Potential Atmospheric Function of Microbial Life in the Aerobiome ». *ISME Communications* 2 (1): 8. <https://doi.org/10.1038/s43705-022-00089-5>
- Kopplitz, Shannon N., Christopher G. Nolte, George A. Pouliot, Jeffrey M. Vukovich, et James Beidler. 2018. « Influence of Uncertainties in Burned Area Estimates on Modeled Wildland Fire PM2.5 and Ozone Pollution in the Contiguous U.S. » *Atmospheric Environment* 191 (octobre): 328-39. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.020>
- Li, Jienan, Michael F. Link, Shubhrangshu Pandit, Marc H. Webb, Kathryn J. Mayer, Lauren A. Garofalo, Katelyn L. Rediger, et al. 2023. « The Persistence of Smoke VOCs Indoors: Partitioning, Surface Cleaning, and Air Cleaning in a Smoke-Contaminated House ». *Science Advances* 9 (41): eadh8263. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh8263>
- Liang, Yutong, Deep Sengupta, Mark J. Campmier, David M. Lunderberg, Joshua S. Apte, et Allen H. Goldstein. 2021. « Wildfire Smoke Impacts on Indoor Air Quality Assessed Using Crowdsourced Data in California ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 (36): e2106478118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2106478118>
- Lipner, Ettie M., Katelyn O'Dell, Steven J. Brey, Bonne Ford, Jeffrey R. Pierce, Emily V. Fischer, et James L. Crooks. 2019. « The Associations Between Clinical Respiratory Outcomes and Ambient Wildfire Smoke Exposure Among Pediatric Asthma Patients at National Jewish Health, 2012–2015 ». *GeoHealth* 3 (6): 146-59. <https://doi.org/10.1029/2018GH000142>
- Liu, Jia Coco, et Roger D. Peng. 2019. « The Impact of Wildfire Smoke on Compositions of Fine Particulate Matter by Ecoregion in the Western US ». *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 29 (6): 765-76. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0064-7>
- Liu, Jia Coco, Ander Wilson, Loretta J. Mickley, Francesca Dominici, Keita Ebisu, Yun Wang, Melissa P. Sulprizio, et al. 2017. « Wildfire-Specific Fine Particulate Matter and Risk of Hospital Admissions in Urban and Rural Counties ». *Epidemiology* 28 (1): 77-85. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000556>
- Loboda, Tatiana V., Nancy H. F. French, et Robin C. Puett, éd. 2024. *Landscape fire, smoke, and health: linking biomass burning emissions to human well-being*. Geophysical monograph series 280. Hoboken, NJ: Wiley.
- Lopez, Alandra Marie, Juan Lezama Pacheco, et Scott Fendorf. 2023. « Metal Toxin Threat in Wildland Fires Determined by Geology and Fire Severity ». *Nature Communications* 14 (1): 8007. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43101-9>
- Marcella, Simone, Barbara Apicella, Agnese Secondo, Francesco Palestra, Giorgia Opromolla, Renato Ciardi, Valentina Tedeschi, et al. 2022. « Size-Based Effects of Anthropogenic Ultrafine Particles on Activation of Human Lung Macrophages ». *Environment International* 166 (août): 107395. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107395>

- Mazzoleni, Lynn R., Barbara Zielinska, et Hans Moosmüller. 2007. « Emissions of Levoglucosan, Methoxy Phenols, and Organic Acids from Prescribed Burns, Laboratory Combustion of Wildland Fuels, and Residential Wood Combustion ». *Environmental Science & Technology* 41 (7): 2115-22. <https://doi.org/10.1021/es061702c>
- MEDDTL. 2011. « Le risque de feux de forêts en France ». 45. Etudes & documents. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. <https://observatoire-risques-nouvelle-aquitaine.fr/wp-content/uploads/sites/2/2018/08/ORRNA-Etudes-documents-le-risques-de-feux-de-forts-en-France-n45-Aot-11.pdf>
- Météo-France. 2023. « Feux de forêts : un risque accru par le réchauffement climatique ». Météo-France. 2 juin 2023. <https://meteofrance.com/le-changement-climatique/observer-le-changement-climatique/changement-climatique-et-feux-de-forets>
- MI. 2023. « Lutte contre les feux de forêt : conseils de prévention ». Ministère de l'Intérieur et des outre-mer. 29 novembre 2023. <https://www.interieur.gouv.fr/actualites/grands-dossiers/lutte-contre-feux-de-foret-conseils-prevention>
- Mortier, Frédéric, Philippe Cannard, Jean-Maurice Durand, Christophe Leuret, et Vincent Piveteau. 2023a. « Politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique - Tome 1 "Faire face à court terme" ». CGAAER ; IGEDD ; IGA. <https://agriculture.gouv.fr/politique-de-prevention-et-de-lutte-contre-lincendie-de-foret-dans-un-contexte-dextension-et>
- Mortier, Frédéric, Philippe Cannard, Jean-Maurice Durand, Christophe Leuret, et Vincent Piveteau. 2023b. « Politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique - Tome 2 "S'adapter au changement d'ère : apprendre à vivre avec le feu pour les moyen et long termes" ». CGAAER ; IGEDD ; IGA. <https://agriculture.gouv.fr/politique-de-prevention-et-de-lutte-contre-lincendie-de-foret-dans-un-contexte-dextension-et>
- MSB. 2015. « Healthy firefighters – the Skellefteå Model improves the work environment ». Swedish Civil Contingencies Agency. <https://www.msb.se/siteassets/dokument/publikationer/english-publications/healthy-firefighters-the-skelleftea-model-improves-the-work-environment.pdf>
- MTECT. 2023. « Feux de forêt et de végétation. Ayons les bons réflexes ». Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires. juin 2023. <https://www.ecologie.gouv.fr/feux-foret-et-vegetation>.
- MTSS. 2022. « Recommandations en cas d'épisode de pollution ». Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités. Octobre 2022. <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution>
- Mylonaki, Maria, Maria Gini, Maria Georgopoulou, Marika Pilou, Eleftheria Chalvatzaki, Stavros Solomos, Evangelia Diapouli, et al. 2024. « Wildfire and African Dust Aerosol Oxidative Potential, Exposure and Dose in the Human Respiratory Tract ». *Science of The Total Environment* 913 (février): 169683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169683>
- Naeher, Luke P., Michael Brauer, Michael Lipsett, Judith T. Zelikoff, Christopher D. Simpson, Jane Q. Koenig, et Kirk R. Smith. 2007. « Woodsmoke Health Effects: A Review ». *Inhalation Toxicology* 19 (1): 67-106. <https://doi.org/10.1080/08958370600985875>
- NASA. 2020. « Western U.S. Smoke From Fires Stretching Across the Country ». National Aeronautics and Space Administration. 14 septembre 2020. <https://www.nasa.gov/missions/suomi-npp/western-u-s-smoke-from-fires-stretching-across-the-country/>

- NASEM. 2022. *Frameworks for Protecting Workers and the Public from Inhalation Hazards*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26372>
- NASEM, Division on Earth and Life Studies, Board on Chemical Sciences and Technology, et Committee on the Chemistry of Urban Wildfires. 2022. *The Chemistry of Fires at the Wildland-Urban Interface*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26460>
- Nemmar, A., P.H.M. Hoet, B. Vanquickenborne, D. Dinsdale, M. Thomeer, M.F. Hoylaerts, H. Vanbilloen, L. Mortelmans, et B. Nemery. 2002. « Passage of Inhaled Particles Into the Blood Circulation in Humans ». *Circulation* 105 (4): 411-14. <https://doi.org/10.1161/hc0402.104118>
- NFPA. 2022. NFPA 1977, Standard on Protective Clothing and Equipment for Wildland Fire Fighting and Urban Interface Fire Fighting. The National Fire Protection Association. <https://www.nfpa.org/ar/product/nfpa-1977-standard-on-protective-clothing-and-equipment-for-wildland-fire-fighting-and-urban-interface-fire-fighting/p1977code>
- NFPA. 2019. NFPA 1981, Standard on Open-Circuit Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA) for Emergency Services. The National Fire Protection Association. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1981-standard-development/1981>
- NIFC. 2023. *Interagency Standards for Fire and Fire Aviation Operations*. National Interagency Fire Center. <https://www.nifc.gov/standards/guides/red-book>
- NIOSH, CDC, et U.S. DHHS. 2013. « Evaluation of Dermal Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fire Fighters ». 2010-0156-3196. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2010-0156-3196.pdf>
- NWCG. 2012. « Monitoring and Mitigating Exposure to Carbon Monoxide and Particulates at Incident Base Camps ». National Wildfire Coordinating Group. <https://www.mcftoa.org/wp-content/uploads/2011/05/712-Smoke-Exposure-Guidelines.pdf>
- NWCG. 2020. « Smoke Management Guide for Prescribed Fire ». National Wildfire Coordinating Group.
- NWCG. 2021. « Guide to Fire Weather Forecasts, PMS 425 ». National Wildfire Coordinating Group. 26 mars 2021. <https://www.nwcg.gov/publications/pms425>
- NWCG. 2022. « Incident Response Pocket Guide (IRPG) ». National Wildfire Coordinating Group.
- Oberdörster, G., Z. Sharp, V. Atudorei, A. Elder, R. Gelein, W. Kreyling, et C. Cox. 2004. « Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain ». *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-45. <https://doi.org/10.1080/08958370490439597>
- OFF. 2023a. « Les incendies de forêt et de végétation ». Observatoire des forêts françaises. 2023. <https://foret.ign.fr/themes/les-incendies-de-foret-et-de-vegetation>
- OFF. 2023b. « Prévention des incendies et préparation au risque. Les outils pour limiter le risque feux de forêts ». Observatoire des forêts françaises. 2023. https://foret.ign.fr/themes/prevention-des-incendies-et-preparation-au-risque#loi_sur_les_incendies
- OSHA. s. d. Personal Protective Equipment, Respiratory protection. Occupational Safety and Health Standards. <https://www.ecfr.gov/current/title-29/subtitle-B/chapter-XVII/part-1910/subpart-I>
- Parliament of Australia, Canberra. 2020. « Australian Bushfires - Frequently Asked Questions: A Quick Guide ». Text. Australia. 12 mars 2020. https://www.aph.gov.au/About_Parliament/Parliamentary_departments/Parliamentary_Library/pubs/rp/rp1920/Quick_Guides/AustralianBushfires

- Sénat. 2022. « Rapport d'information de la mission conjointe de contrôle relative à la prévention et à la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie ». Sénat.
- Sharkey, B. 1997. « Health hazards of smoke: Recommendations of the consensus conference April 1997 ». Washington, DC: U.S: Department of Agriculture.
- Smith, K. R., et P. J. Saunders. 2007. *The Public Health Significance of Asbestos Exposures from Large Scale Fires*. Didcot: Health Protection Agency.
- Stein, A. F., R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen, et F. Ngan. 2015. « NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System ». *Bulletin of the American Meteorological Society* 96 (12): 2059-77. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
- Tian, Lin, Yidan Shang, Rui Chen, Ru Bai, Chunying Chen, Kiao Inthavong, et Jiyuan Tu. 2019. « Correlation of Regional Deposition Dosage for Inhaled Nanoparticles in Human and Rat Olfactory ». *Particle and Fibre Toxicology* 16 (1): 6. <https://doi.org/10.1186/s12989-019-0290-8>
- US EPA. 2008. « Wildfire smoke: a guide for public health officials. Rapport révisé en juillet 2008 ». United States Environmental Protection Agency.
- US EPA. 2021. « Wildfire smoke: a guide for public health officials ». EPA-452/R-21-901.
- US EPA. 2023. « Why Wildfire Smoke is a Health Concern ». United States Environmental Protection Agency. 13 octobre 2023. <https://www.epa.gov/wildfire-smoke-course/why-wildfire-smoke-health-concern>
- Van Der Werf, Guido R., James T. Randerson, Louis Giglio, Thijs T. Van Leeuwen, Yang Chen, Brendan M. Rogers, Mingquan Mu, et al. 2017. « Global Fire Emissions Estimates during 1997–2016 ». *Earth System Science Data* 9 (2): 697-720. <https://doi.org/10.5194/essd-9-697-2017>
- Vicente, Ana, Célia Alves, Ana I. Calvo, Ana P. Fernandes, Teresa Nunes, Cristina Monteiro, Susana Marta Almeida, et Casimiro Pio. 2013. « Emission Factors and Detailed Chemical Composition of Smoke Particles from the 2010 Wildfire Season ». *Atmospheric Environment* 71 (juin): 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.062>
- Wekeo. 2024. « CAMS global biomass burning emissions based on fire radiative power (GFAS) ». [https://www.wekeo.eu/data?view=dataset&dataset=EO%3AECMWF%3ADAT%3ACAMS GLOBAL FIRE EMISSIONS GFAS&initial=1](https://www.wekeo.eu/data?view=dataset&dataset=EO%3AECMWF%3ADAT%3ACAMS%20GLOBAL%20FIRE%20EMISSIONS%20GFAS&initial=1)
- WHO. 2021. « Health Advice: Wildfires in the WHO European Region ». World Health Organization. 12 août 2021. <https://www.who.int/europe/news/item/12-08-2021-health-advice-wildfires-in-the-who-european-region>
- Wiedinmyer, Christine, Yosuke Kimura, Elena C. McDonald-Buller, Louisa K. Emmons, Rebecca R. Buchholz, Wenfu Tang, Keenan Seto, et al. 2023. « The Fire Inventory from NCAR Version 2.5: An Updated Global Fire Emissions Model for Climate and Chemistry Applications ». *Geoscientific Model Development* 16 (13): 3873-91. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-3873-2023>
- Wong, Jenny P.S., Maria Tsagkarakaki, Irini Tsiodra, Nikolaos Mihalopoulos, Kalliopi Violaki, Maria Kanakidou, Jean Sciare, Athanasios Nenes, et Rodney J. Weber. 2019. « Effects of Atmospheric Processing on the Oxidative Potential of Biomass Burning Organic Aerosols ». *Environmental Science & Technology* 53 (12): 6747-56. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01034>
- Xu, Rongbin, Tingting Ye, Xu Yue, Zhengyu Yang, Wenhua Yu, Yiwen Zhang, Michelle L. Bell, et al. 2023. « Global Population Exposure to Landscape Fire Air Pollution from 2000 to 2019 ». *Nature* 621 (7979): 521-29. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06398-6>

Zhang, Jianwei, Zhao Chen, Dan Shan, Yang Wu, Yue Zhao, Chen Li, Yue Shu, Xiaoyu Linghu, et Baiqi Wang. 2024. « Adverse Effects of Exposure to Fine Particles and Ultrafine Particles in the Environment on Different Organs of Organisms ». *Journal of Environmental Sciences* 135 (janvier): 449-73. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.08.013>

MOTS-CLÉS

consignes de santé publique, fumées d'incendie de végétation, population générale, pollution de l'air, sapeur-pompier, substance

air pollution, firefighter, general population, public health instruction, substance, wildfire smoke

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2024). Etat des lieux des consignes en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations et 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 2023-SA-0154 / 2023-AST-0171) Maisons-Alfort : Anses, 92 p.

ANNEXE 1 : LETTRE DE SAISINE



Paris, le

La Directrice générale de l'énergie et
du climat

Le Directeur général de la prévention
des risques

Le Directeur général de la santé

à

**Monsieur le Directeur général de
l'Agence nationale de sécurité
sanitaire de l'alimentation, de
l'environnement et du travail
(ANSES)**

14 Rue Pierre et Marie Curie
94 700 Maisons-Alfort

Objet : Actualisation de l'état des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale et professionnelle aux feux de végétation

Dans votre avis formulé en mai 2012 relatif aux effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre qui met en exergue l'impact des émissions de particules produites sur la population générale et la population professionnelle, des recommandations d'amélioration des connaissances ont été formulées. Elles concernent notamment la composition des émissions de brûlage de certains types de végétation, l'émission ou non de particules ultrafines et la pollution des sols par les feux de végétation.

Dans le contexte actuel de changement climatique, et dans la perspective des grands événements sportifs à venir (Coupe du monde de Rugby en 2023 et Jeux Olympiques et Paralympiques en 2024), il apparaît nécessaire d'actualiser les connaissances scientifiques en appui à la gestion des épisodes de pollution de l'air ambiant.

Dans un premier temps, nous souhaitons pouvoir disposer d'un état des nouvelles connaissances sur les effets sur la santé humaine liés spécifiquement à l'exposition à court terme aux émissions aériennes des incendies de végétation de grande ampleur pour les professionnels et le grand public. Nous souhaiterions également disposer d'une liste de substances prioritaires à surveiller dans l'air ambiant en cas de feux de végétation de grande ampleur. Cette analyse pourra en particulier s'appuyer sur un retour d'expérience des feux qui ont frappé la Gironde à l'été 2022 et ont donné lieu à un suivi du panache de fumées ainsi qu'à une communication de l'Agence régionale de santé de la Nouvelle-Aquitaine. Enfin, nous souhaiterions disposer d'un état des lieux des consignes en cas d'incendies de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations.

Dans un second temps, il vous est demandé d'actualiser l'avis de 2012, notamment l'état des connaissances relatives à la contamination des sols, de l'air et des eaux, à la toxicité et aux effets sanitaires des fumées produites par les incendies de végétation, afin de :

- documenter les dernières connaissances en matière de composition des fumées en fonction des essences ;

- réaliser une revue bibliographique des effets sur la santé pour les professionnels et le grand public, d'une part liée à la pollution de l'air générée par les feux de végétation autres que les incendies de grande ampleur, notamment la pratique de l'écobuage, et d'autre part liés aux produits et techniques utilisés par les professionnels pour éteindre les feux de végétation. Dans un esprit « Une seule santé », il conviendrait également de préciser succinctement les effets connus de ces fumées sur l'environnement, la flore et la faune ;

A l'issue de ces travaux, et en vous appuyant si possible sur les travaux actuels de l'Ineris (projet IFIQAS engagé dans le cadre de l'astreinte qualité de l'air notamment), vous formulerez des recommandations en précisant les modalités de mise en œuvre d'une surveillance environnementale dans l'air, le sol, les aliments et les eaux et vous indiquerez les mesures de gestion qui vous apparaissent adaptées.

Nous souhaiterions pouvoir disposer des conclusions de la première phase des travaux d'ici à décembre 2023 (avec, en cas d'incendie majeur cet été, le déploiement d'une cellule d'urgence pour répondre aux principales attentes opérationnelles de cette première phase) et de la seconde phase d'ici à fin 2024.

La Directrice générale de
l'énergie et du climat,



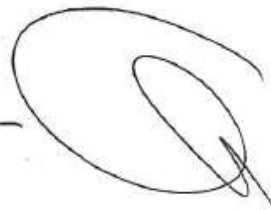
Sophie MOURLON

Le Directeur général de
la prévention des risques,



Cédric BOURILLET

Le Directeur général de
la santé,



Christian RABAUD

Copie : DGAL, DGALN, DGT, Ineris

ANNEXE 2 : INTERVENANTS

Présentation des intervenants

PREAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

RAPPORTEURS

Mme Christine BARUL - Chargée de recherche en épidémiologie - Equipe INSERM-U1085-IRSET

M. Tarik BENMARHNIJA – Professeur associé, chargé de recherche en épidémiologie - *Scripps Institution of Oceanography (SIO) UC San Diego, USA / École des hautes études en santé publique (EHESP)*

M. Christian LEMBEYE – Médecin conseil et recherche en santé, sécurité et prévention des sapeurs-pompiers - retraité

Mme Emeline LEQUY-FLAHAULT - Chargée de recherche en épidémiologie - Equipe INSERM CESP U 1018 / UMS 011

M. Jean-Marie STEVE – Médecin chef du laboratoire santé du centre d'étude et de recherche de la sécurité civile, médecin sapeur-pompier volontaire - École nationale supérieure des officiers de sapeurs-pompiers (ENSOSP)

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Alexandra PAPADOPOULOS - Coordinateur d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

M. Matteo REDAELLI - Coordinateur d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

Contribution scientifique

Mme Claire DULONG - Coordinateur d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

Mme Alexandra PAPADOPOULOS - Coordinateur d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

M. Matteo REDAELLI - Coordinateur d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

ANNEXE 3 : LISTE D'INSTITUTIONS POUR L'IDENTIFICATION DES RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET/OU TECHNIQUES

Liste initiale

ARS Nouvelle-Aquitaine
<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)</i>
<i>California Council on Science and Technology (CCST)</i>
<i>California Department of Public Health (CDPH)</i>
<i>Centers for Disease Control and Prevention (CDC)</i>
Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC)
<i>European Commission</i>
<i>Federal Emergency Management Agency (FEMA)</i>
Géorisques
Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)
<i>Health Protection Agency (HPA)</i>
Institut national de recherche et de sécurité (INRS)
Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)
Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires
Ministère de la Transition énergétique
Ministère de l'Agriculture
Ministère de l'Intérieur et des outre-mer
<i>National Aeronautics and Space Administration (NASA)</i>
<i>National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM)</i>
<i>National Academy of Engineering</i>
<i>National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)</i>
<i>National Interagency Fire Center (NIFC)</i>
<i>National Wildfire Coordinating Group (NWCG)</i>
Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)
Préfecture de la Gironde
<i>Ready (US government)</i>
Sénat
<i>U.S. Geological Survey</i>
<i>United Nations Environment Programme (UNEP)</i>
<i>U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)</i>
<i>US Fire Administration</i>
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>
Organisation mondiale de la santé (OMS/WHO)
Organisation météorologique mondiale (OMM/WMO)

Liste complémentaire

ARS (autres que ARS Nouvelle-Aquitaine)
<i>California Environmental Protection Agency</i>
Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales
<i>Government of British Columbia</i>
<i>Government of Canada</i>
<i>Government of South Australia</i>
<i>Government of the United States of America</i>
<i>Government of Western Australia</i>
<i>Home Queensland Fire and Emergency Services</i>
Inspection Générale de l'Administration
Inspection générale de l'environnement et du développement durable
Institut national de l'environnement industriel et des risques
Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités
Observatoire des Forêts Françaises
Préfectures (autres que Préfecture de la Gironde)
<i>Queensland Fire and Emergency Services</i>
Services départementaux d'incendie et de secours
<i>US Department of Health & Human Services</i>

ANNEXE 4 : SUIVI DES ACTUALISATIONS DE LA NOTE

Date	Page	Description de la modification
15/04/2024	-	Version initiale
10/06/2024	9	<p><u>Chapitre 1.1. Contexte</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout de la note de bas de page relative à la définition des termes « feux de végétation » utilisés dans la présente note • Modification du texte pour préciser que les « près de 30 000 hectares » concerne la région Nouvelle-Aquitaine
	12	<p><u>Chapitre 2. Organisation des travaux</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout de la mention d'échanges avec la DGSCGC des 18 avril 2024 et 24 avril 2024 relatifs à l'apport d'informations sur la cagoule pour la filtration des particules dans un contexte d'incendie de végétation • Ajout d'un paragraphe pour préciser le contexte de la révision de la note d'AST
	13	<p><u>Chapitre 3.2. Préambule sur le risque incendie de végétation en France</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout de texte et de la note de bas de page pour préciser la couverture géographique des données relatives au nombre de feux et à la surface boisée brûlée en France, disponibles dans le rapport du Centre commun de recherche de la Commission européenne (JRC 2023)
	18, 19, 20	<p><u>Chapitre 3.3.1.1. Consignes en France et à l'international en cas d'incendie de végétation de grande ampleur pour la protection de la santé des populations – En France</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modification du texte relatif aux implications du ministère en charge de l'écologie et de la prévention des risques dans les politiques publiques de prévention et de lutte contre les incendies de forêt et de végétation • Ajout de texte pour compléter la liste des établissements publics en appui avec l'ajout de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) • Ajout du texte relatif aux plans de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRif) et à ses objectifs • Ajout de texte relatif à la notion de « défense des forêts contre les incendies » en lien avec la Figure 5 • Modification de la Figure 5 (modification du titre avec l'ajout de la notion de « défense des forêts contre les incendies » et ajout de la note de bas de figure) • Modification du texte : « obligations légales » remplacé par « obligations réglementaires »
	41	<p><u>Chapitre 3.3.2.1. Consignes pour les sapeurs-pompiers – En France</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • précisions apportées quant à l'appareil respiratoire isolant et à la cagoule pour la filtration des particules dans un contexte d'incendie de végétation

ANNEXE 5 : LES MARQUEURS DES « MEGAFEUX » (DGSCGC 2021)

Le feu d'espace naturel de grande ampleur s'inscrit dans un continuum espace-temps défavorable, et caractérisé par :

- une occurrence plus élevée en période estivale : présence accrue de population en des endroits contraints, populations non sensibilisées aux risques endémiques,
- un développement du tourisme vert au plus près des espaces naturels ;
- la végétalisation des zones d'habitat et de résidence ;
- le passage d'un risque local a un risque national : sécheresse qui s'accroît d'année en année à l'échelle du territoire ;
- une cinétique rapide, dynamique et exponentielle favorisée par les conditions météorologiques ;
- un aménagement du territoire et des mutations du végétal qui renforcent la combustibilité des zones affectées ;
- une gestion partagée en interministériel ;
- une gouvernance fragilisée par une organisation administrative et géographique morcelée en opposition avec l'emprise de feux de grande ampleur ;
- un écart irrattrapable dans les délais nominaux des moyens terrestres et aériens de lutte contre les feux de forêt et à la puissance des feux de nouvelle génération ;
- la potentielle rupture durable de la capacité opérationnelle nationale et même européenne avec ses incidences opérationnelles (arbitrages par défaut, part du feu).

La fondation espagnole Pau Costa propose une évolution chronologique des types d'incendie depuis la moitié du siècle précédent, jusqu'à présent (Tableau 11)

Tableau 11. Evolution chronologique des types d'incendie de végétation (DGSCGC 2021)

GENERATION	TYPE D'INCENDIE
1950-1960	Les terres agricoles ne sont plus des zones d'interruption de combustible. Incendies de 1 000 à 5 000 hectares Feux de surface, principalement favorisés par le vent
1970-1980	L'accumulation de combustible permet des feux plus rapides et des émissions d'étincelles. Incendies de 5 000 à 10 000 hectares favorisés par le vent et la topographie.
1990-2000	L'accumulation de combustible permet la continuité des cimes, ce qui entraîne des feux de cimes et la formation de grandes colonnes convectives. Il s'agit d'incendies de 10 000 à 20 000 hectares Vagues de chaleur extrême qui alimentent des feux de forte intensité. Présence accrue de la population civile dans les zones forestières Augmentation du risque
Depuis 2000	Incendies qui peuvent commencer et être éteints dans les zones d'interface urbano-forestière (IUF) et brûler plus de 1 000 hectares Affectation importantes des populations
Années 2000	Des méga-feux rapides et extrêmement intenses avec des feux de cimes concourants, qui touchent plusieurs zones à risque simultanément (IUF), principalement pendant les vagues de chaleur
Depuis 2016	Méga-feux causés par l'aridité extrême Conséquence du changement climatique. Ils libèrent tellement d'énergie qu'ils peuvent modifier la météo autour d'eux et provoquer des tempêtes de feu