



RESEARCH HIGHLIGHT

Tripling of western US particulate pollution from wildfires in a warming climate

Mars 2022

Les particules fines ($PM_{2.5}$) sont des particules dont la taille est inférieure ou égale à 2,5 microns. En raison de leur très petite taille, elles peuvent contourner de nombreuses défenses immunitaires du corps humain, se déplacer en profondeur dans les voies respiratoires et finalement pénétrer dans la circulation sanguine, ce qui les rend particulièrement dangereuses pour la santé. Les épisodes de pollution atmosphérique sévère causés par les émissions de ces petites particules peuvent également avoir des répercussions importantes sur le climat et les écosystèmes¹⁻⁴.

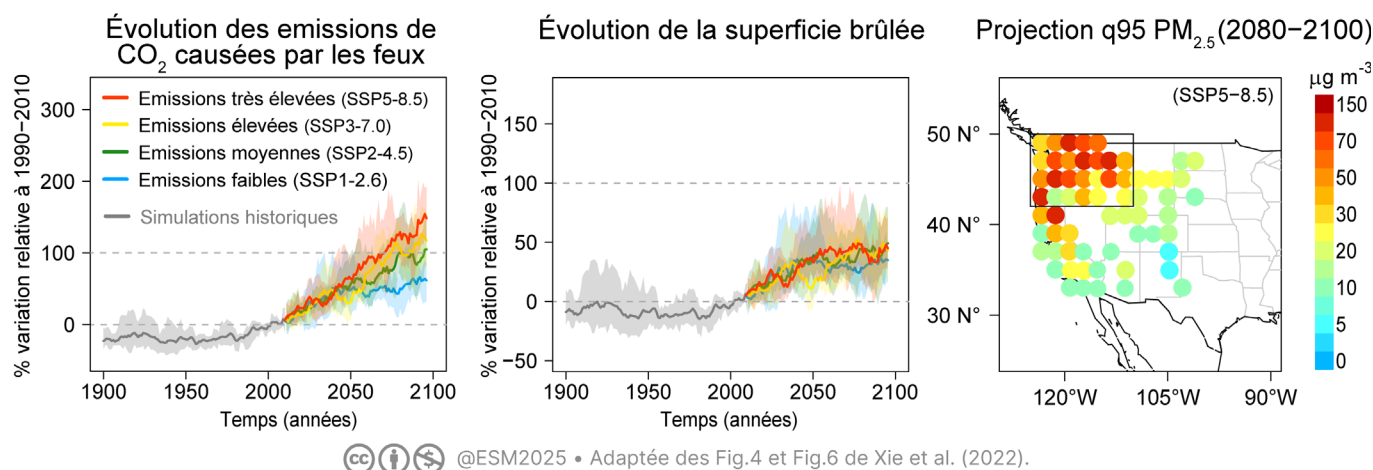
Aujourd'hui, les feux de forêt contribuent à hauteur de 15 à 30 % des émissions primaires totales de $PM_{2.5}$ dans l'atmosphère aux États-Unis⁵. Au cours du 21^e siècle, un climat plus chaud devrait accroître l'activité des feux de forêt dans l'ouest des États-Unis⁶⁻¹⁰. Cependant, peu d'études ont encore estimé les émissions futures de $PM_{2.5}$ causées par les incendies. La plupart des projections sur les changements de la qualité de l'air à grande échelle

dans le futur ont négligé l'impact d'un changement du régime des feux.

Cette nouvelle étude, soutenue par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et le projet européen ESM2025, applique un nouveau modèle statistique empirique aux projections futures des feux de forêt fournies par trois modèles du système Terre pour estimer les impacts des émissions des feux sur la pollution atmosphérique future dans l'ouest des États-Unis.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE CONTRIBUE À L'AUGMENTATION DE L'ACTIVITÉ DES FEUX DE FORÊT

Quatre scénarios basés sur les trajectoires socio-économiques partagées (SSPs) ont été utilisés pour explorer les changements futurs du climat et de l'activité des feux de forêt au cours du 21^{ème} siècle : SSP1-2.6 (scénario d'émissions faibles avec un réchauffement de $\sim 1,8^{\circ}C$ d'ici 2100¹¹), SSP2-4.5 (scénario d'émissions moyennes avec un



CC BY-NC-ND @ESM2025 • Adaptée des Fig.4 et Fig.6 de Xie et al. (2022).

Évolution de la moyenne glissante sur 10 ans (a) des émissions totales de CO₂ causées par les feux et (b) de la superficie brûlée, par rapport aux moyennes de 1990-2010 en août-septembre sur l'ouest de l'Amérique du Nord, à partir des simulations CNRM-ESM2-1. c) Projection des extrêmes de PM_{2.5} (95ème percentile) du modèle empirique MLR forcé par les feux du modèle CNRM-ESM2-1 suivant le SSP5-8.5 (scénario d'émissions très élevées).

réchauffement de ~2,7 °C d'ici 2100¹¹), SSP3-7.0 (scénario d'émissions élevées avec un réchauffement de ~3,6°C d'ici 2100¹¹) et SSP5-8.5 (scénario d'émissions très élevées avec un réchauffement de ~4,4°C d'ici 2100¹¹).

Les projections futures pour l'ouest des États-Unis, dans le cadre d'un scénario supposant un développement fondé sur l'utilisation intensive des combustibles fossiles et de fortes émissions de gaz à effet de serre, prévoient un allongement de la saison des feux. Ces projections anticipent aussi un réchauffement de +7,5°C entre la fin de l'été et l'automne, période pendant laquelle les émissions annuelles des feux atteignent leur maximum. Ce réchauffement entraînerait une augmentation de la demande évaporative et de la consommation d'eau par la végétation, conduisant à une diminution de l'humidité du sol d'environ 10 %. Simultanément, la fertilisation par le CO₂ atmosphérique, la température et le changement d'utilisation des terres entraîneraient une augmentation d'environ 50 % de la quantité de carbone de la végétation. Un sol plus sec et une masse végétale accrue sont des conditions favorables aux incendies.

Selon cette étude, d'ici la fin du XXI^e siècle, ces facteurs d'impact climatique, associés à des facteurs socio-économiques (tels que la croissance et la densité de la population), entraîneraient une augmentation de 110 à 250 % des émissions de CO₂ causées par les incendies, et une expansion de 50 à 120 % de la superficie brûlée par les incendies, selon le scénario futur et le modèle utilisé.

L'AUGMENTATION DE L'ACTIVITÉ DES FEUX DE FORÊT POURRAIT ENTRAÎNER UNE HAUSSE DANGEREUSE DU NIVEAU DE PARTICULES FINES DANS L'ATMOSPHÈRE

Xie et ses collègues ont développé un modèle de régression linéaire multiple (ou un modèle statistique empirique) pour prédire les niveaux futurs de PM_{2.5} à partir des émissions de CO₂ des incendies et des résultats météorologiques fournis par trois modèles du système Terre utilisés pour le CMIP6. Ce modèle de régression linéaire est basé sur les observations historiques; le lien entre la variabilité interannuelle des moyennes et des extrêmes de PM_{2.5} sur les sites de surface américains et les incendies régionaux ou locaux; et les conditions météorologiques.

Grâce à leur nouvelle approche, l'équipe a découvert que l'augmentation future des émissions de CO₂ causées par les incendies et les changements météorologiques liés au changement climatique pourraient entraîner un doublement ou un triplement des niveaux moyens de particules fines dans le nord-ouest des États-Unis entre la fin de l'été et l'automne. Ainsi, des niveaux quotidiens de 55 à 150 µg/m³, correspondant à des indices de qualité de l'air "très mauvais" et "extrêmement mauvais", pourraient devenir la nouvelle norme.

Suivant une trajectoire de développement socio-économique basée sur des émissions élevées de gaz à effet de serre, les modèles prévoient que 72 à 96 % des sites du nord-ouest des États-Unis connaîtront des extrêmes quotidiens de PM_{2.5} supérieurs à la

norme nationale américaine de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avec 52 à 68 % des sites dépassant 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (indice de qualité de l'air "très mauvais") d'ici 2080-2100. Cette norme serait aussi déjà dépassée en milieu de siècle même avec des scénarios plus optimistes d'émissions moyennes.

LA POLLUTION FUTURE AUX PARTICULES FINES DÉPEND DU RÉCHAUFFEMENT FUTUR

Entre 2017 et 2021, d'important feux de forêt sur l'ouest des États-Unis ont entraîné des niveaux historiques extrêmes de pollution aux particules fines, corroborant "la possibilité que le changement climatique contribue déjà à de forts changements dans les régimes des feux". Cette étude suggère que même dans le cadre d'un scénario futur d'émissions moyennes, des extrêmes de pollution atmosphérique aux particules fines à grande échelle pourraient survenir tous les 5 ans d'ici la fin du 21^{ème} siècle, avec de lourdes conséquences pour la santé publique.

Ce travail met en évidence le fait qu'en s'engageant sur un certain niveau de réchauffement futur, nous nous engageons également sur un certain niveau de pollution atmosphérique par les particules fines à grande échelle. Néanmoins, l'écart important des niveaux de pollution par les particules fines selon les différents scénarios futurs souligne également les co-bénéfices de l'atténuation du changement climatique sur l'activité des feux de forêt et sur la pollution atmosphérique aux particules fines à grande échelle.

Des efforts importants et une coopération entre les parties prenantes dans de multiples domaines, notamment sur l'atténuation du changement climatique, la qualité de l'air au niveau régional et la gestion des forêts, sont indispensables pour s'adapter et réduire les effets potentiellement néfastes sur la santé de la pollution atmosphérique par les particules fines, et pour relever les défis futurs liés aux feux de forêt.

REFERENCES

- ¹ D. M. J. S. Bowman et al. (2020) Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 500-515.
- ² F. H. Johnston et al. (2012) Estimated Global Mortality Attributable to Smoke from Landscape Fires. *Environmental Health Perspectives* 120, 695-701.
- ³ M. Burke et al. (2021) The changing risk and burden of wildfire in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118, e2011048118.
- ⁴ G. P. Schill et al. (2020) Widespread biomass burning smoke throughout the remote troposphere. *Nature Geoscience* 13, 422-427.
- ⁵ USEPA (2017) Data from the 2017 National Emissions Inventory. <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2017-national-emissions-inventory-nei-data>.
- ⁶ B. Ford et al. (2018) Future Fire Impacts on Smoke Concentrations, Visibility, and Health in the Contiguous United States. *GeoHealth* 2, 229-247.
- ⁷ E. N. Stavros, J. T. Abatzoglou, D. McKenzie, N. K. Larkin (2014) Regional projections of the likelihood of very large wildland fires under a changing climate in the contiguous Western United States. *Climatic Change* 126, 455-468.
- ⁸ J. T. Abatzoglou, A. P. Williams, R. Barbero (2019) Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophysical Research Letters* 46, 326-336.
- ⁹ X. Yue, L. J. Mickley, J. A. 725 Logan, J. O. Kaplan (2013) Ensemble projections of wildfire activity and carbonaceous aerosol concentrations over the western United States in the mid-21st century. *Atmospheric Environment* 77, 767-780.
- ¹⁰ J. S. Littell, D. McKenzie, H. Y. Wan, S. A. Cushman (2018) Climate Change and Future Wildfire in the Western United States: An Ecological Approach to Non stationarity. *Earth's Future* 6, 1097-1111.
- ¹¹ IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.



Xie, Y., M. Lin, B. Decharme, C. Delire, L. W. Horowitz, D. M. Lawrence, F. Li, and R. Séférian (2022) Tripling of western US particulate pollution from wildfires in a warming climate. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 119, e2111372119, doi:10.1073/pnas.2111372119.

SUR LES AUTEURS:

Yuanyu Xie a mené cette recherche en collaboration avec Meiyun Lin et Larry W. Horowitz, chercheurs de la US National Oceanic and Atmospheric Administration; Bertrand Decharme, Christine Delire et Roland Séférian, chercheurs du Centre National de Recherches Météorologiques, France; David M. Lawrence, chercheur du US National Center for Atmospheric Research; et Fang Li, chercheuse du International Center for Climate and Environment Sciences, Chine.