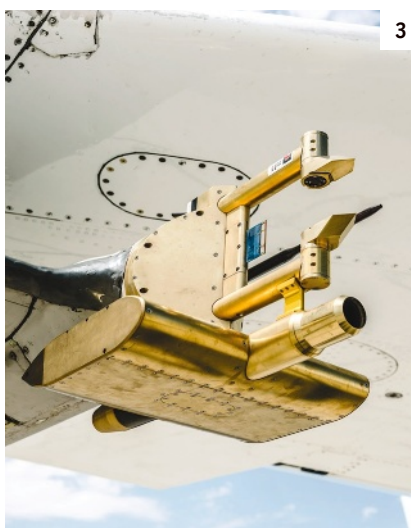




pour 3 millions d'hectares en Sibérie. Le spécialiste des incendies Stephen Pyne, de l'université d'État de l'Arizona, n'hésite pas à surnommer cette époque le Pyrocène.

En déterminant, à plus fine résolution, la composition de la fumée et les processus par lesquels ses produits les plus délétères se forment, les prévisionnistes de la qualité de l'air anticiperaient mieux les impacts des incendies sur la santé humaine. Savoir comment la fumée diffère selon les types de feux simplifierait également la gestion des incendies, en particulier quand il s'agit d'allumer des feux dirigés. Ces incendies contrôlés, d'intensité réduite, imitent leur contrepartie naturelle et sont allumés afin de réduire la quantité de combustible disponible pour de futurs feux sauvages. Ils sont aussi notoirement difficiles à déclencher pour des raisons sociales, environnementales et réglementaires. L'EPA encadre rigoureusement leur utilisation. Pour autant, aucune étude de terrain n'a prouvé que les émissions issues de ces feux de moindre intensité sont aussi toxiques que celles émises par des incendies géants.

Afin de déterminer ce que devient la fumée en aval du vent et comment elle s'enrichit en aérosols nocifs et en ozone, la première chose à connaître est sa composition au point d'embrasement. Est-ce que certaines plantes, en brûlant, génèrent une fumée

contenant plus d'ozone et de particules fines PM 2,5 que d'autres ?

L'équipe de *Firex-AQ* a collecté des pins ponderosa du Montana, des lilas de Californie, des chênes de l'Arizona et dix-huit autres essences régulièrement brûlées dans l'ouest. D'abord séché et pesé, chaque échantillon a été brûlé dans des conditions contrôlées reproduisant deux types de feux : l'un, couvant, dont la fumée semble visqueuse comme de la lave, et un autre, plus ouvert, plus chaud, avec une fumée moins dense accompagnant les flammes vers le haut.

Étonnamment, la température de combustion dicte bien plus la composition des émissions que la nature des plantes brûlées. Certains composés organiques volatiles (des COV) sont émis par feu couvant, tandis que d'autres apparaissent surtout quand la chaleur est plus forte. Au total, la température du feu suffit à prédire environ 80 % du contenu des fumées.

Pour certains de ces feux, les chercheurs ont capturé des échantillons de fumée et les ont enfermés dans un réceptacle en Teflon éclairé par des lampes à ultraviolets pour simuler la lumière du soleil. Ils s'intéressaient aux PM 2,5, qui sont émis par tous les feux. Dans les récipients, la quantité initiale de PM 2,5 a rapidement diminué, mais lors de certaines expériences, après plusieurs heures, des

L'intérieur de la cabine d'un DC-8 a été reconverti par la Nasa et la NOAA en laboratoire volant (1) truffé d'instruments de mesure, par exemple un spectromètre de masse dans lequel Xu Lu ajoute de l'azote liquide (2). Des appareils sont installés sous les ailes (3, des compteurs de particules), d'autres sous le fuselage (4). Des échantillons d'air seront prélevés dans des récipients préparés auparavant (5, sous la supervision de Vanessa Selimovic).

➤ composés chimiques ont commencé à s'agréger, faisant ensuite remonter les niveaux de PM 2,5. Selon Carsten Warneke, la reformation des PM 2,5 s'appuierait sur le pyrocatechol, une molécule aromatique (le benzène-1,2-diol) émise par le bois lors d'un feu couvant. Ainsi, en liant la température d'un feu à la production de PM 2,5, l'étude rendait possible la prévision de la quantité de PM 2,5 à l'aide de satellites mesurant l'intensité des incendies.

LE GEL DE L'OZONE

Avec Matt Coggon, de la NOAA, l'équipe a montré que le pyrocatechol jouerait également un rôle clé dans la formation d'ozone. Il n'est pas directement émis par les feux, mais se forme lorsque l'oxyde d'azote, les composés organiques volatiles et la lumière du soleil interagissent. Il y a toujours des composés organiques volatiles dans la fumée, et la lumière du soleil est omniprésente. Cependant, la production d'azote varie selon les conditions. Les feux couvants libèrent de l'ammoniac, une forme non réactive de l'azote, à partir des plantes. En revanche, les feux plus chauds relâchent de l'oxyde d'azote volatil. «Le piège, c'est que la chimie dans un panache est plutôt intense, explique Matt Coggon. En moins d'une heure dans le cas de grands incendies, cette fumée ne ressemblera plus vraiment à celle qui a été émise au départ.»

Lors de grands incendies, l'oxyde d'azote libéré par la combustion des plantes est entraîné dans la fumée puis poussé dans la troposphère supérieure par la chaleur. Durant cette ascension, certains des composés réagissent jusqu'à ce que, après une cascade de réactions chimiques, l'oxyde d'azote devienne du nitrate de peroxyacétyle $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{NO}_2$, une molécule relativement stable quand les températures sont assez fraîches. Tant que la fumée dérive en altitude, à des températures plus fraîches, l'azote est enfermé et le processus de formation d'ozone est essentiellement gelé.

Mais quand la fumée commence à redescendre vers des altitudes où les températures sont plus élevées, le nitrate de peroxyacétyle se dégrade et l'oxyde d'azote fait son retour. Soudainement, à des centaines voire des milliers de kilomètres de l'incendie originel, l'ozone peut se former en quantités toxiques pour les humains. On comprend alors mieux pourquoi, durant certains incendies, les niveaux d'ozone grimpent dans des villes du centre des États-Unis et même de l'est, quand les panaches de fumée nés à l'ouest dérivent vers l'orient. Dans les zones urbaines, dont l'air est déjà riche en oxyde d'azote issu des voitures et des usines, la teneur atmosphérique en ozone peut alors bondir bien au-delà des seuils tolérés. Ce scénario explique comment Seattle a été à plusieurs reprises en 2018 la ville où la qualité de l'air était la pire au monde.

D'autres molécules émises par les incendies se comportent-elles de la même façon que le nitrate de peroxyacétyle? Ce serait le cas des catéchols (la famille du pyrocatechol cité précédemment) et des composés nitroaromatiques dérivés de ces derniers. Matt Coggon a développé un modèle chimique où ces composés jouent un rôle clé dans le cycle de vie de l'azote et par conséquent dans la formation de l'ozone. De fait, et de façon schématique, «quand ils sont présents, il y a moins d'ozone», résume le chercheur.

Les incendies produisent également des volumes significatifs de ces composés nitroaromatiques. Par conséquent, en modifiant un outil préexistant, un spectromètre de masse, Carsten Warneke et Matt Coggon ont mis au point un appareil pour analyser la concentration de ces molécules dans l'air tous les dixièmes de seconde. Et ils l'ont embarqué à bord du DC-8. C'est cet instrument qui a mis Matt Coggon sur la piste de quelque chose de remarquable.

DES SIGNAUX DANS LA FUMÉE

Une heure et demie après avoir quitté l'incendie de North Hills, dans le Montana, l'avion a rejoint celui de Tucker, près du mont Shasta, en Californie. Quand l'avion est entré dans le panache, la lumière est devenue orange et une odeur de fumée a envahi la cabine.

Matt Coggon fixait l'écran du spectromètre, qui indiquait une très forte concentration de catéchols. «C'est bien plus que ce que nous avons vu il y a deux jours!» a-t-il remarqué. Le spectromètre ne détectait aucun composé nitroaromatique, seulement leurs précurseurs.

EN MOINS D'UNE HEURE, LA COMPOSITION DE LA FUMÉE D'UN GRAND INCENDIE NE RESSEMBLE PLUS VRAIMENT À CELLE QUI A ÉTÉ ÉMISE AU DÉPART

Soudain, il rejoignit Wyatt Brown, un étudiant en train de manipuler un autre instrument qui révélait ce que le spectromètre ne pouvait pas voir: des aérosols submicroniques composés justement de composés nitroaromatiques, en l'occurrence des nitrocatechols, qui n'étaient donc pas présents sous forme de gaz, mais de fines gouttelettes.