

L'air se met spontanément à tourbillonner au centre d'un trio de planches en feu disposées de façon triangulaire. L'un des feux rassemble ensuite les filets d'air tournant en un tourbillon de feu. De façon similaire, les feux de forêt ou les incendies urbains peuvent engendrer des tornades de feu.



Quelles sont les causes des tornades de feu? Pouvons-nous en prédire la formation afin de pouvoir évacuer les gens à temps? Pour répondre, une première étape consiste à rechercher des événements comparables dans le passé. En 1871, une ville du Wisconsin fut dévastée par un phénomène qui, à en juger par la quantité massive d'objets déplacés, dont une maison, était sans doute une tornade de feu. En 1964, l'incendie du Polo, en Californie, a fait quatre blessés et détruit deux maisons, une grange, trois voitures et un verger d'avocats.

L'une des plus horribles tornades de feu s'est produite lors des bombardements de Hambourg, entre le 25 juillet et le 3 août 1943, pendant lesquels ont péri plus de 40 000 habitants: selon le géographe Charles Ebert, ce *feuersturm*, c'est-à-dire cette «tempête de feu», mesurait plus de 3 kilomètres de large et 4,5 kilomètres de haut.

L'horreur du *feuersturm* de Hambourg le dispute à celle de la tornade du grand incendie de Tokyo de 1923. Un tremblement de terre majeur avait déclenché le feu. Puis une grande tornade de feu s'était formée et avait tué en 15 minutes 38 000 personnes.

Pendant plus d'un demi-siècle, on a expliqué cet événement en supposant qu'une tornade normale s'était formée exactement là où un grand incendie faisait rage. Mais dans les années 1980 et 1990, Seiji Soma et Kozo Saito, de l'université du Kentucky, lurent les récits historiques de l'événement afin de construire une maquette du lieu et d'imiter les vents ayant soufflé ce jour-là par des courants d'air appropriés. Ils reproduisirent ainsi à petite échelle le grand incendie de Tokyo, et mirent en évidence que cet incendie avait lui-même engendré sa tornade de feu.

Cette recherche s'appuyait sur les expériences novatrices réalisées deux décennies plus tôt par George Byram et Robert Martin, du Service forestier des États-Unis. Ils avaient réussi à créer de petits tourbillons de feu dans leur installation de Macon, en Géorgie.

SEPT FOIS PLUS D'ÉNERGIE

Leur dispositif? Un petit bassin circulaire contenant de l'alcool en train de brûler et entouré de parois cylindriques percées de fentes verticales. Celles-ci forçaient l'air venant alimenter le feu à entrer en rotation. Le tourbillon ainsi formé consommait tout le carburant jusqu'à trois fois plus vite qu'en l'absence de rotation. La présence d'un vent tournant augmente le taux de combustion en amenant les flammes à lécher la surface de l'alcool, ce qui le réchauffe puis enflamme les vapeurs émises. Des recherches ultérieures ont montré que, dans de tels feux, l'énergie dégagée par unité de temps était jusqu'à sept fois plus importante que dans les feux ordinaires.

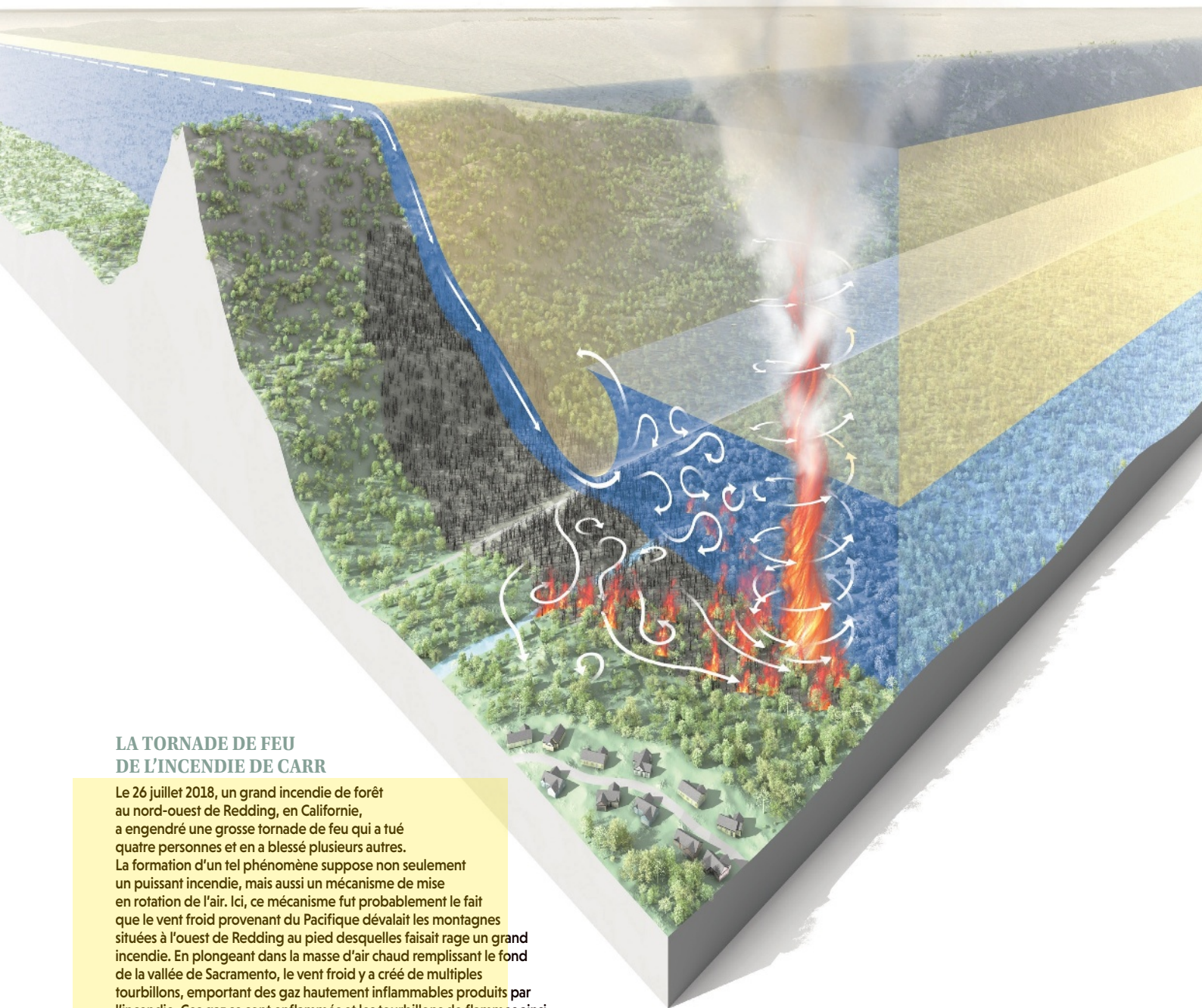
Quelque chose de semblable se produit dans les tourbillons de feu des incendies de forêt et dans les tornades de feu. Porté à haute température, un morceau de bois produit des centaines de gaz inflammables différents, dont la combustion produit des flammes. Les forts vents horizontaux et tournants de la tornade de feu rabattent les flammes vers la végétation, ce qui renforce sa combustion.

En 1967, Howard Emmons et Shuh-Jing Ying, de l'université Harvard, ont entouré un feu de laboratoire stationnaire d'un grillage cylindrique que l'on pouvait faire tourner à différentes vitesses, ce qui imprimait une rotation à l'air entrant dans les flammes. Les chercheurs

>

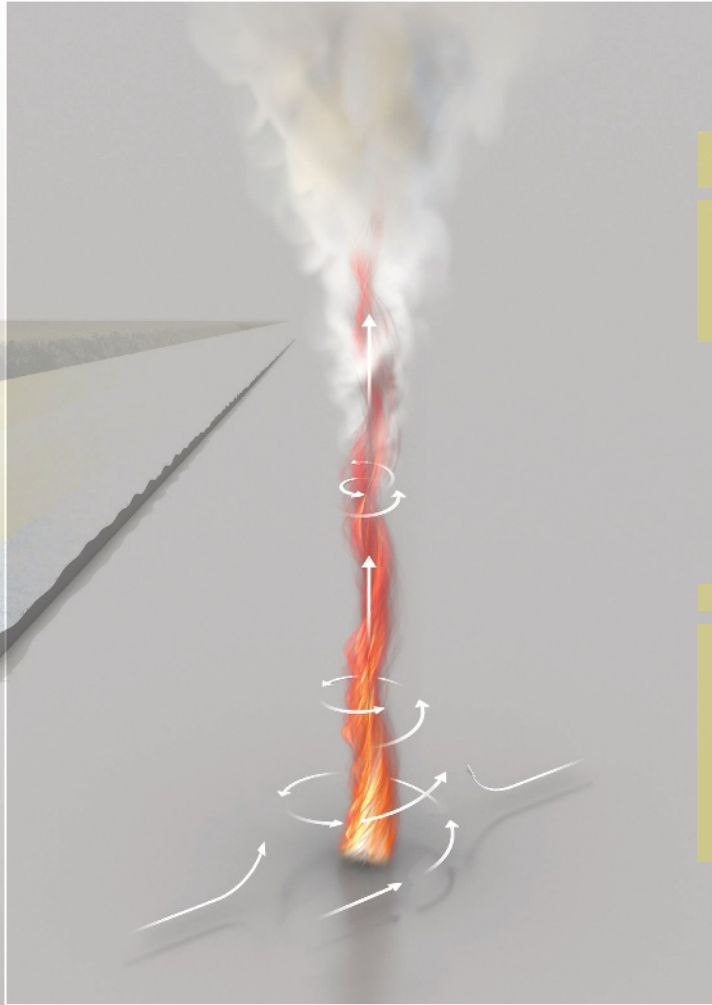
NAISSANCE D'UNE TORNADE DE FEU

Les tornades de feu sont des colonnes de feu et de fumée tournant à des vitesses comparables à celles des vents des tornades habituelles. Elles sont rares, mais extrêmement destructrices. Remarquablement durables, elles peuvent se détacher de l'incendie principal et surprendre des groupes entiers de pompiers. Elles aspirent en hauteur des brandons et les recrachent au loin, ce qui déclenche des incendies secondaires.



LA TORNADE DE FEU DE L'INCENDIE DE CARR

Le 26 juillet 2018, un grand incendie de forêt au nord-ouest de Redding, en Californie, a engendré une grosse tornade de feu qui a tué quatre personnes et en a blessé plusieurs autres. La formation d'un tel phénomène suppose non seulement un puissant incendie, mais aussi un mécanisme de mise en rotation de l'air. Ici, ce mécanisme fut probablement le fait que le vent froid provenant du Pacifique dévalait les montagnes situées à l'ouest de Redding au pied desquelles faisait rage un grand incendie. En plongeant dans la masse d'air chaud remplissant le fond de la vallée de Sacramento, le vent froid y a créé de multiples tourbillons, emportant des gaz hautement inflammables produits par l'incendie. Ces gaz se sont enflammés et les tourbillons de flammes ainsi formés se sont rassemblés, aboutissant à un gigantesque tourbillon de feu aspirant tout à sa base sur son passage : une énorme tornade de feu.

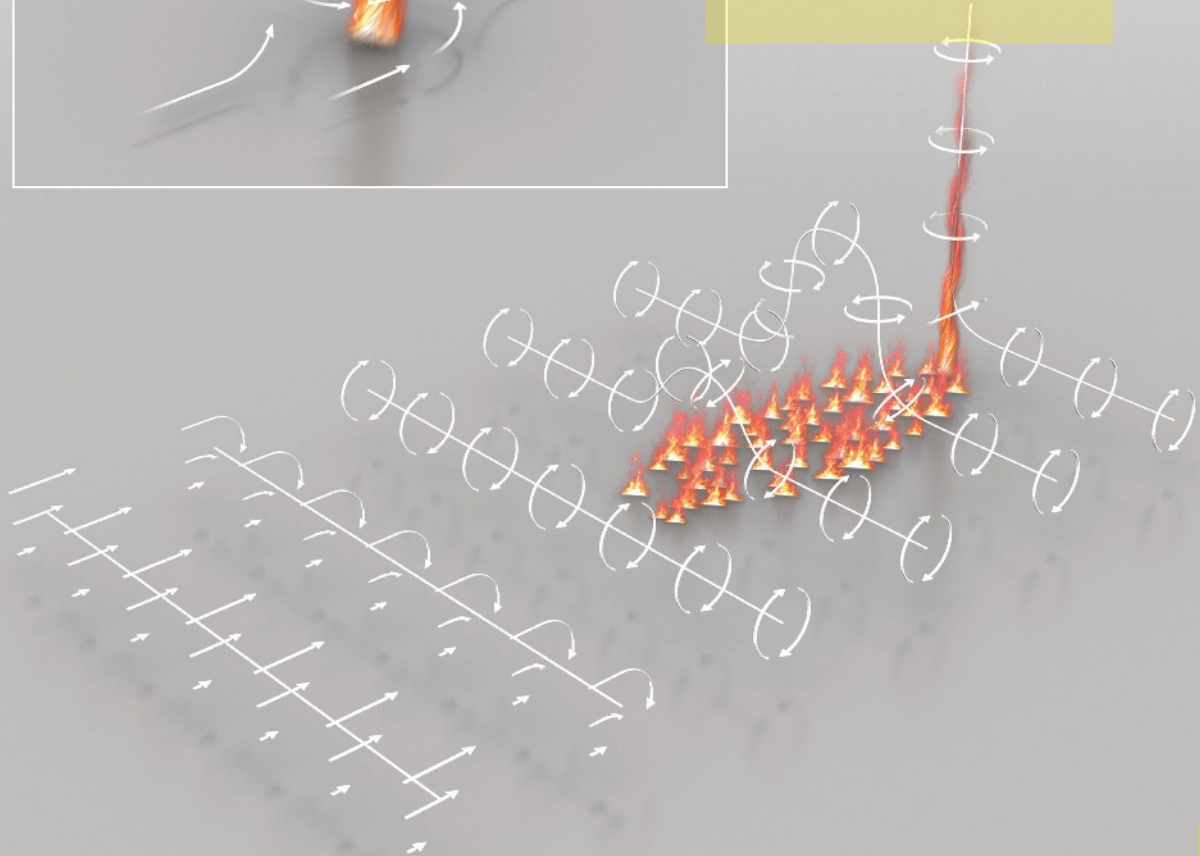


TOURBILLONS DE FEU DE LABORATOIRE

De petits tourbillons de feu créés en laboratoire ont aidé à comprendre la physique des tornades de feu. On constate que ce type de feu tournant consomme son combustible trois fois plus vite que les feux normaux, et conserve son énergie avec une grande efficacité, ce qui lui permet de durer.

MISE EN ROTATION

Plusieurs mécanismes peuvent mettre l'air en rotation et former un tourbillon, à commencer par le vent rasant le sol. Les tourbillons horizontaux nés du frottement entre ce vent et le sol s'élèvent et se redressent en raison de l'air chaud ascendant produit par l'incendie. La combustion des gaz inflammables contenus dans le panache de feu chauffe son contenu et accélère son ascension en étirant le tourbillon et en accélérant sa rotation.



- ont mesuré la vitesse du vent et la distribution de la température du tourbillon de feu ainsi créé. Ils ont donc mis en évidence que le feu ne suffit pas en lui-même à engendrer un tourbillon de flammes: il faut un mécanisme qui mette l'air en rotation et un autre qui amplifie celle-ci.

LE RÔLE DE L'AIR

Une tornade de feu a essentiellement la même aérodynamique. De nombreux tourbillons se forment naturellement dans l'atmosphère. Ils sont engendrés par les vents tournant autour des montagnes ou longeant le sol, voire par des différences de pression dans l'atmosphère. Le feu, lui, joue deux rôles: il concentre la rotation et la fait monter (les gaz chauds s'élevant vite), ce qui aboutit à un étroit tube d'air et de flammes tournant autour d'un axe plus ou moins vertical.

Dans les premiers instants d'une tornade de feu, l'air chaud surmontant le feu aspire vers le haut l'air venu le remplacer à la base. Ce faisant, il rassemble des tourbillons atmosphériques préexistants. Certains de ces tourbillons sont initialement horizontaux, mais l'aspiration vers le haut tend à les redresser vers la verticale. Ensuite, l'air ascendant s'échauffe à mesure que brûlent les gaz qu'il contient.

La pression exercée par l'air entourant le tourbillon force aussi l'air chaud et léger de l'intérieur du tube de feu à s'élever; le tourbillon ou la tornade de feu s'étire ainsi le long de son axe et son diamètre diminue. Comme le moment cinétique (la quantité de mouvement de rotation) de la masse tournante est une quantité conservée, l'étiement de cette dernière a pour conséquence de faire tourner plus vite le contenu du tourbillon, effet comparable à l'accélération de la rotation d'une patineuse qui rapproche les bras de son corps.

Un tourbillon de feu qui arrive sur une zone en feu tend à s'étirer jusqu'à une hauteur considérable et à tourner très vite; lorsqu'il parvient au-dessus d'une zone déjà brûlée, il s'élargit et ralentit en prenant l'aspect d'un cylindre diffus de fumée. Les mêmes comportements valent pour les tornades de feu. Parfois, la masse en rotation est si large et tourne si lentement que les pompiers ne s'aperçoivent pas qu'il s'agit d'un tourbillon. Quant aux déplacements d'un tourbillon de feu, ils dépendent des vents ambiants et des détails du relief, mais il reste à comprendre de quelle façon précisément.

Howard Emmons et Shuh-Jing Ying avaient aussi montré que les tourbillons de feu conservent avec une remarquable efficacité leur énergie cinétique de rotation, ce qui les rend malheureusement assez persistants. À mesure que la rotation dans une tornade de feu s'accélère, deux forces radiales opposées s'intensifient: d'une part la force centrifuge, qui tire chaque parcelle d'air vers l'extérieur, d'autre part celle due à la basse pression régnant au centre du tourbillon, qui l'aspire

au contraire vers l'intérieur. L'équilibre entre ces deux forces limite le mouvement radial de l'air et donc la perte d'énergie cinétique par le tourbillon. Les feux ne présentant pas de rotation échangée, eux, à peu près dix fois plus d'énergie avec l'atmosphère environnante.

Ce mécanisme contribue aussi à rendre les tourbillons de feu plus minces et plus hauts que les feux non tournants. La stabilisation, par les forces radiales, des parois tournantes du tube de feu implique que, sauf à la base, pratiquement aucun air n'est aspiré à l'intérieur. Peu d'oxygène est donc disponible pour la combustion. Une partie des gaz combustibles doit donc remonter haut à l'intérieur du tube avant qu'il y en ait assez pour brûler.

Tout aussi dangereux est le fait que l'ascension rapide de gaz chauds et peu denses crée une très basse pression à la base du tourbillon. Le frottement de l'air contre le sol ralentit la rotation, ce qui réduit la force centrifuge poussant l'air vers l'extérieur. Comme l'aspiration vers l'intérieur du tube engendrée par la pression reste la même, de l'air rasant le sol s'engouffre dans la tornade de feu. L'effet produit est le même que celui qu'aurait un aspirateur géant, avalant de l'air et des débris enflammés à sa base, les tirant vers le haut à des vitesses extrêmes avant de les éjecter de façon imprévisible depuis des hauteurs considérables, ce qui déclenche des incendies secondaires à distance.

Malgré toutes nos nouvelles connaissances sur la physique des tornades de feu, nous ne savons toujours pas prédire où et quand l'une d'elles se produira. Au moins une chose est sûre: l'ingrédient essentiel à leur formation est l'existence d'une source de rotation importante.

L'ENDROIT IDÉAL

À cet égard, des études de cas nous ont montré que l'un des endroits les plus propices à la formation de tornades de feu se trouve du côté sous le vent d'une montagne. En contournant la montagne, le flux d'air crée des mouvements tourbillonnants en arrière du mont, comme dans l'écoulement d'une rivière immédiatement en aval d'un rocher. Si à ces tourbillons s'ajoute un incendie, ce dernier pourra rassembler tous ces mouvements rotatifs et les transformer en une tornade de feu.

Toutefois, la pratique nous a appris que des tourbillons de feu peuvent aussi apparaître sur un terrain plat et en l'absence de vent. Ainsi, un

**LES TOURBILLONS
DE FEU CONSERVENT
ASSEZ BIEN LEUR
ÉNERGIE DE
ROTATION, D'OÙ
LEUR PERSISTANCE**