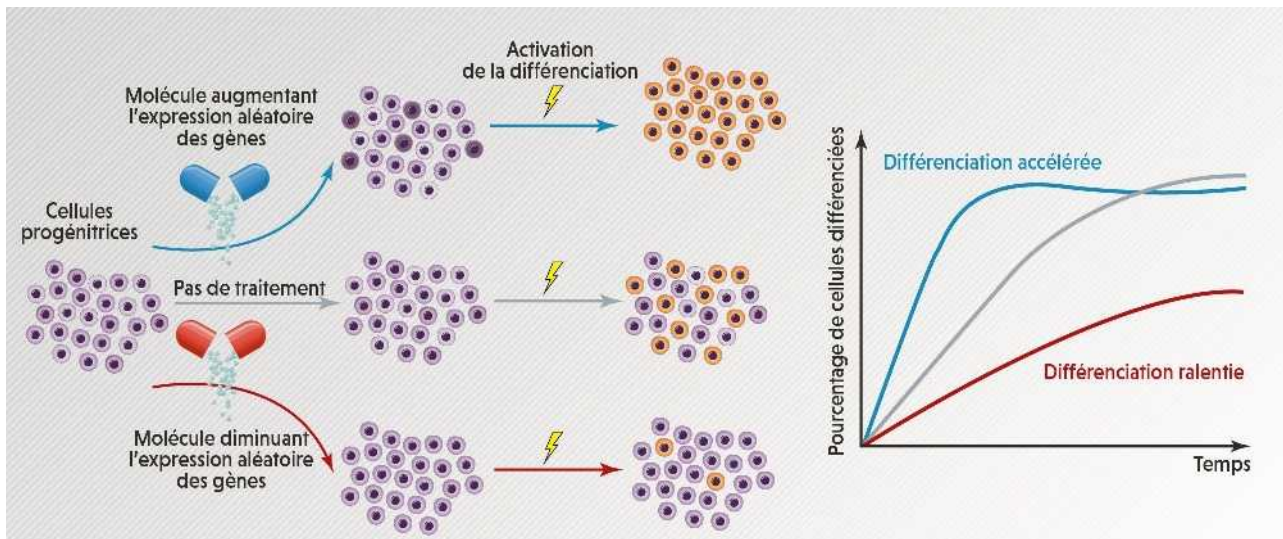


PLUS DE HASARD, PLUS DE DIFFÉRENCIATION

Dans une population cellulaire, l'expression des gènes est variable d'une cellule à l'autre. Mais lors de la différenciation, un pic de variabilité se produit au début du processus. L'équipe d'Olivier Gandrillon, à l'École normale supérieure de Lyon, avait montré ce phénomène en 2016 en suivant la transformation en globules rouges de cellules primaires (progénitrices) de sang de poulet. Cela suggérait que la variabilité augmentait la capacité des cellules à explorer l'espace constitué de l'ensemble des combinaisons d'expression de gènes et à y trouver une combinaison plus favorable et stable que les autres, qui correspondrait à l'état différencié. Encore fallait-il le prouver. C'est ce que l'équipe vient de faire : à l'aide de substances qui augmentent ou diminuent la variabilité de l'expression des gènes dans ces mêmes cellules, Olivier Gandrillon et ses collègues ont montré qu'augmenter cette variabilité accélère la différenciation, et que la diminuer ralentit la différenciation. Un modèle mathématique du processus a fini de les convaincre que la modulation de la différenciation était bien consécutive à celle de la variabilité d'expression induite par les substances.



Mon interprétation est différente, car je pense qu'il faut utiliser les principes darwiniens de la variation aléatoire et de la sélection pour comprendre l'embryogenèse et le fonctionnement cellulaire.

Dans mon dernier livre, je vais beaucoup plus loin dans la critique de la génétique en m'appuyant sur l'histoire et l'épistémologie de cette discipline. Je ne sais pas si cela me sert ou me dessert, mais je pense que le travail de réflexion théorique et épistémologique est indispensable au progrès de la biologie. Il va de pair avec la recherche expérimentale, même si aujourd'hui la majorité des biologistes sont uniquement des expérimentateurs.

En faisant référence à une théorie anarchiste, ne craignez-vous pas d'être accusé de diffuser des théories pseudoscientifiques ?

Cette référence était déjà présente dans mon premier livre, *Ni Dieu ni gène*. Les allers-retours entre la biologie et les sciences sociales avec utilisation croisée de métaphores ont toujours existé. Au XIX^e siècle, Rudolph Virchow, l'un des fondateurs de la théorie cellulaire, parlait du « comportement social » des cellules au sein de « sociétés cellulaires » et Claude Bernard n'hésitait pas à comparer ces dernières à des systèmes économiques. Dans l'autre sens, les sociologues parlent de « corps social ». Puis

au XX^e siècle, les biologistes moléculaires ont massivement utilisé des métaphores autoritaires et hiérarchiques.

Évidemment, le mot anarchie est souvent compris de façon très négative, il est assimilé à un chaos d'où rien de positif ne peut sortir. Pris dans ce sens, je comprends que le titre de mon livre puisse choquer. Pour ma part, je me réfère à l'étymologie du terme qui vient du préfixe privatif *an*, lequel signifie « sans » en grec, et de *arké*, lequel peut être à la fois traduit par « origine », « pouvoir » et « commandement ». Or le rôle dévolu par la biologie moderne à l'information contenue dans le génome correspond bien à celui d'une *arké* : antérieure à l'être vivant, elle dirige sa genèse et son fonctionnement.

Dans la théorie que je développe, les cellules individuelles n'ont pas besoin des instructions contenues dans le génome pour changer d'état, elles le font grâce à l'expression stochastique des gènes. Mais dans le même temps, elles se trouvent dans un milieu intérieur qui résulte, pour une cellule donnée, de l'activité des autres cellules. Chacune agit donc pour elle-même, mais l'enchevêtrement des contraintes (milieux intérieurs différenciés) les relie au sein d'une société cellulaire qui oriente leurs comportements dans l'intérêt collectif. ■

Propos recueillis
par Gérard Lambert

BIBLIOGRAPHIE

J.-J. Kupiec, **Et si le vivant était anarchique**, Les Liens qui Libèrent, 2019.

A. Guillemin et al., **Drugs modulating stochastic gene expression affect the erythroid differentiation process**, *Plos One*, vol. 14(11), article e0225166, 2019.

A. Richard et al., **Single-cell-based analysis highlights a surge in cell-to-cell molecular variability preceding irreversible commitment in a differentiation process**, *Plos Biology*, vol. 14, article e1002585, 2016.

J.-J. Kupiec, **A probabilistic theory for cell differentiation, embryonic mortality and DNA c-value paradox**, *Speculation in Science and Technology*, vol. 6(5), pp. 471-478, 1983.

L'ESSENTIEL

> Les tornades de feu, combinaisons de tornade et d'incendie, sont extrêmement rares mais très dangereuses.

> Leur formation nécessite à la fois un grand incendie et un mouvement de rotation atmosphérique, que le feu va concentrer sous la forme d'un tube d'air tourbillonnant vertical.

> Les chercheurs commencent à bien comprendre la physique du phénomène, mais restent incapables de prévoir son apparition.

L'AUTEUR



JASON FORTHOFFER
pompiier et ingénieur, chercheur
au laboratoire des sciences du feu
de Missoula (Montana, États-Unis),
au Service forestier des États-Unis

Comment naissent les tornades de feu

Lorsque des vents tournoyants se combinent à un incendie, ils forment une tornade de feu. Un phénomène très dangereux et imprévisible, mais dont on comprend mieux aujourd'hui la physique.

Notre avion entamait sa descente sur Medford, dans l'Oregon, quand il s'est mis à traverser une épaisse couche de fumée. Nous étions fin juillet 2018 et de grands incendies dévastaient le sud-ouest de l'Oregon et le nord de la Californie – l'incendie dit de Carr. Je venais à la rencontre d'une unité de pompiers endeuillée: «L'un de mes pompiers est mort dans une tornade qui a projeté son véhicule à des dizaines de mètres d'altitude», m'avait expliqué son chef au téléphone. Une tornade? Oui, mais une tornade de feu!

Dix ans auparavant, j'avais été le témoin pour la première fois des conséquences d'une tornade de feu. Celle-ci s'était produite au cours d'un monstrueux incendie – l'incendie des Indiens – qui avait fait rage entre le 8 juin et le 10 juillet 2008 dans la forêt domaniale de Los Padres, en Californie centrale, réduisant en

cendres 329 kilomètres carrés de la région sauvage de Ventana. Un tourbillon de vent et de feu de plus de 300 mètres de diamètre s'était formé et s'était abattu sur une équipe de pompiers. Par chance, ils se trouvaient à ce moment-là sur une autoroute à deux voies, ce qui leur avait sauvé la vie. Quelques mètres plus loin, ils auraient été tués par les débris d'arbres et de végétaux arrachés partout par la tornade.

À mon arrivée sur le site, j'avais vu d'énormes branches de chêne gisant partout, sur un sol décapé au point que plus un seul caillou n'y était visible. La scène m'avait impressionné et inquiété. Il était évident qu'une telle tornade risque d'atteindre et de blesser des pompiers même dans un abri considéré comme sûr. On n'était pas passé loin de la catastrophe...

Afin de mieux comprendre ce qu'est exactement une tornade de feu, il faut se remémorer ce qu'est un feu de forêt ordinaire. Un tel >



Au laboratoire des sciences du feu de Missoula, dans le Montana, on crée des tornades de feu miniatures en mettant en rotation l'air aspiré au-dessus d'une cuvette d'alcool en feu.

> phénomène naît de la rencontre entre une source de chaleur de température supérieure à 600 °C et une végétation inflammable. Une fois allumé, le feu prend la forme d'un front de flammes dépassant en hauteur la végétation qui se consume et poussant devant lui un mélange de gaz et d'air brûlant. Cette « vague de chaleur » de plusieurs centaines de degrés s'étend vers l'avant jusqu'à une distance qui peut excéder trois fois la hauteur des flammes. Prise dans la chaleur, la végétation subit une pyrolyse, c'est-à-dire une très rapide décomposition chimique due à l'effet thermique. Cela dégage un volume important de vapeur d'eau et de gaz inflammables, lesquels s'embrasent d'un seul coup, ce qui déplace le front vers l'avant, tandis qu'une colonne de convection plus ou moins verticale, selon le vent, surmonte l'incendie et emporte la fumée.

En fonction des écoulements d'air au voisinage de l'incendie, il peut alors se produire – et beaucoup d'entre nous l'ont déjà observé sur le terrain – que des « tourbillons de feu » se forment. Ces colonnes de feu tournantes ont la taille de l'un de ces éphémères tourbillons de poussière que nous apercevons parfois. Une tornade de feu, en revanche, combine le feu et des vents tournoyants aussi violents que ceux d'une véritable tornade. Un tel phénomène est rare au point d'en être devenu quasi mythique. Je n'en avais entendu parler qu'une seule fois, par un pompier chevronné.

En 2008, de retour à mon laboratoire de Missoula, au Montana, je m'étais lancé dans une recherche bibliographique. Plusieurs tornades de feu avaient bien été signalées dans un passé proche ou lointain, mais les informations disponibles à leur propos étaient si rares que les chercheurs ne s'accordaient même pas sur la définition du phénomène. Certains l'associaient exclusivement à la formation d'un pyrocumulonimbus (étymologiquement un « nuage de pluie cumulé dû au feu »), c'est-à-dire l'un de ces nuages d'orage se formant à partir de la vapeur d'eau que libèrent les incendies en dévorant la végétation. Pour les tenants du lien entre tornade de feu et pyrocumulonimbus, il ne peut y avoir de véritable tornade de feu qu'en relation avec un pyrocumulonimbus.

Si l'on applique cette définition, la seule tornade de feu jamais documentée est celle qui s'est formée en 2003 lors d'un grand incendie près de Canberra, en Australie, et qui a dévasté une bande longue de quelque 25 kilomètres... Cette définition semblait toutefois trop restrictive pour être utile aux pompiers. En adoptant la définition plus pragmatique de « tourbillon de feu accompagné de vents analogues à ceux d'une tornade », mon collègue Bret Butler et moi avons rassemblé toutes les informations disponibles et les avons intégrées à un manuel et des formations destinées aux pompiers.

Puis l'incendie Carr, le grand incendie évoqué au tout début de cet article, qui a ravagé pendant l'été 2018 les comtés de Shasta et de Trinity, en Californie, a produit une tornade de feu. Et c'est ainsi que je me suis retrouvé sur place afin d'enquêter sur la mort d'un pompier, tragédie que je redoutais depuis longtemps.

COMME UN CHAMP DE BATAILLE

Le site ressemblait à un champ de bataille. Pour m'aider, j'avais recruté Josh Wurman, un météorologue célèbre aux États-Unis pour ses recherches sur les tornades et les ouragans. Comme moi, il n'avait jamais rien vu de tel. Des îlots entiers de maisons avaient été rasés. Les toitures et toutes sortes de débris jonchaient le sol. Plusieurs voitures avaient enchaîné des tonnes. Déracinés ou cassés, les arbres avaient aussi été écorcés par un vent transportant grains de sable et cailloux. Trois pylônes métalliques de 30 mètres de haut s'étaient écroulés; arraché à sa base, l'un d'eux avait été transporté sur 300 mètres...

Nous avons estimé que des vents avaient soufflé en cet endroit à 265 kilomètres par heure. Sur l'échelle de Fujita (qui classe les tornades selon la vitesse des vents sur une échelle allant de 0 à 5), cette vitesse signifie une tornade de 3, impliquant des dégâts considérables (murs et toits arrachés et emportés). En Californie, seulement deux tornades normales de cette force sont documentées... Or la tornade de l'incendie de Carr n'était pas « normale »: il s'agissait d'une tornade de feu à l'intérieur de

La tornade de feu faisait plus de 300 mètres de diamètre et s'élevait jusqu'à 4800 mètres

laquelle brûlaient des gaz dont la température a pu atteindre les 1500 °C, tandis que sa base faisait plus de 300 mètres de diamètre et que, d'après les images radar, sa hauteur a atteint 4800 mètres. Durant au moins 40 minutes, elle s'est déplacée lentement, laissant une traînée de destructions d'environ 1,5 kilomètre de long.

Afin de tirer des leçons de cet extraordinaire événement, notre équipe a interrogé les témoins et recueilli des vidéos. La tornade de feu s'est produite le soir du 26 juillet 2018, au cours d'un



TRIANGLE DE FEU

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.

incendie de forêt couvrant des milliers d'hectares au nord-ouest de Redding. Ce feu était si étendu et si intense qu'il avait créé des pyrocumulonimbus atteignant plus de 5 kilomètres d'altitude. Vers 17h30, les flammes ont soudainement foncé vers l'est, tuant un pompier qui conduisait un bulldozer, Don Smith, ainsi qu'un habitant resté prisonnier de son domicile. Alors que l'incendie s'approchait de la périphérie de Redding, il a donné naissance à plusieurs tourbillons de feu et a projeté des brandons à plus de 1,5 kilomètre en avant à travers la rivière Sacramento. Cela a déclenché plusieurs incendies secondaires isolés à proximité de deux îlots de maisons situés au bout d'une impasse. La situation est devenue très chaotique: les pompiers tentaient d'évacuer les habitants et de sauver leurs biens, les gens couraient pour échapper au feu alors que toute retraite était coupée...

Jeremy Stoke, pompier de Redding, arriva sur les lieux vers 19h30, alors que la tornade de feu se formait au-dessus de la route menant au lotissement, piégeant habitants et pompiers. Il eut juste le temps de lancer un appel de détresse par radio avant que des vents tournants extrêmement violents ne fassent rouler son camion sur plusieurs dizaines de mètres avant de buter contre un arbre. Plusieurs heures ont passé avant qu'on ne le retrouve, mort des suites de ses blessures.

Les débris emportés par le vent ont aussi endommagé deux camions de pompier. Curieusement, alors que ces deux lourds véhicules roulaient dans la même direction à 50 mètres de distance, l'un fut abîmé surtout du côté du conducteur, et l'autre surtout du côté passager, ce qui témoigne du mouvement rotatif de l'air. Les pare-brise de trois bulldozers qui se trouvaient à proximité ont aussi volé en éclats, blessant l'un des conducteurs à l'œil; un autre s'est gravement brûlé les mains. Un policier à la retraite s'est arrêté de rouler quand il s'est rendu compte que la caisse de son pick-up brûlait; il a survécu, mais avec des brûlures des voies respiratoires. Plus tragique encore, à la périphérie de la tornade, deux enfants et leur arrière-grand-mère ont péri dans l'incendie de leur maison.

Quelles sont les causes des tornades de feu? Pouvons-nous en prédire la formation afin de pouvoir évacuer les gens à temps? Pour répondre à ces questions, 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.

>