

La prévision des incendies de forêt

Le déclenchement et l'intensité des incendies de forêts dépendent de la teneur en ozone de l'atmosphère.

Aux mois de juillet et d'août 2000, des incendies gigantesques ravagent les forêts de l'Ouest américain. Ces feux sont si puissants que, selon les pompiers américains, seules les premières neiges pourront en venir à bout. Cet été, un quart du parc naturel de Cap de Creus, en Catalogne, a été détruit par les flammes. Chaque été revient avec son cortège de sinistres, et chaque année se pose la question de leur inévitabilité. Peut-on en limiter les conséquences ? Peut-on les prévoir ?

Les incendies sont, en grande partie, allumés par la foudre dans les régions peu peuplées comme le Canada, et majoritairement par l'homme dans nos régions méditerranéennes. Quelles que soient leurs causes, leur fréquence et leur intensité dépendent de l'état du couvert végétal. Depuis quelques années, on connaît le rôle de la composition du feuillage, et celui du rayonnement ultraviolet dans leur sur-

nue. En modélisant les fréquences des incendies selon la qualité de la végétation, la météorologie et l'activité du Soleil, notre équipe a identifié pour la première fois un facteur météorologique déterminant dans la prévision à court terme des grands feux : la quantité d'ozone dans l'atmosphère.

Le rythme saisonnier des feux dépend de la composition du feuillage et de sa variation pendant la saison. Ainsi, les résineux ne perdent pas leurs aiguilles chaque année, et celles qui datent de l'année précédente, plus sèches et plus facilement inflammables, sont propices au déclenchement des incendies. En revanche, les feuilles des feuillus sont favorables simultanément au déclenchement et à la propagation du feu, car leur combustion produit plus de gaz. Des expériences récentes effectuées sur des rameaux de Pin d'Alep, très présents dans le bassin méditerranéen, ont montré qu'après une semaine d'exposition à un rayonnement ultraviolet, la sensibilité au feu des aiguilles augmente, tant au niveau de leur inflammation qu'à celui de la durée de la flamme.

Quand on élimine l'effet de ces paramètres saisonniers, deux facteurs environnementaux dominent : l'activité solaire et la quantité d'ozone atmosphérique. Notre modèle montre que les fréquences des feux et les superficies brûlées sont toutes deux fortement corrélées à l'ac-

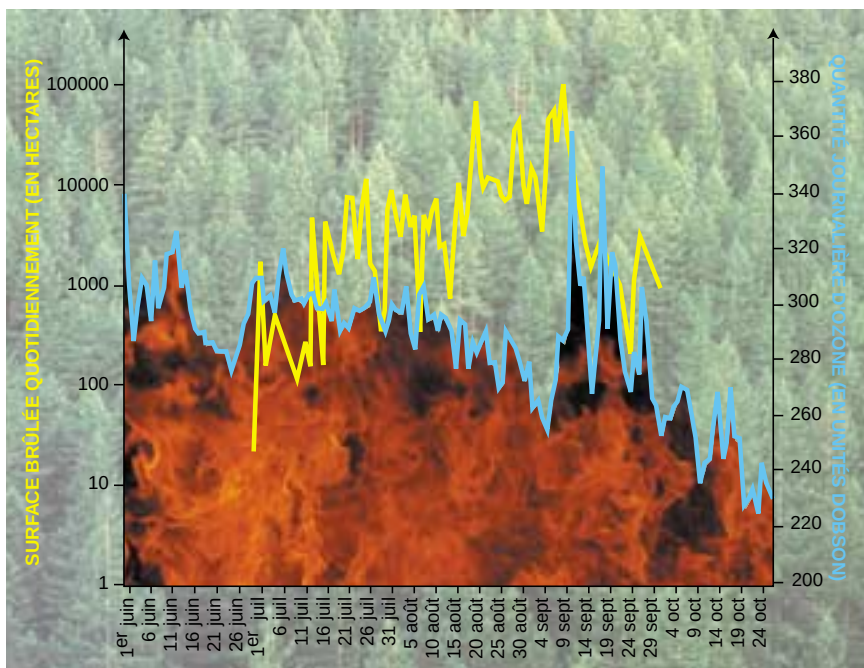
tivité solaire, cette activité déterminant l'intensité du rayonnement ultraviolet qui arrive au sol, elle-même liée à la quantité d'ozone dans l'atmosphère. La physique des interactions entre le rayonnement ultraviolet et l'ozone est compliquée parce que non linéaire : les ultraviolets participent à la production de l'ozone dans la haute atmosphère et sont absorbés dans l'atmosphère par l'ozone.

Ainsi, la quantité et la gravité des incendies dépendent de l'activité solaire et de la quantité d'ozone atmosphérique. Les données statistiques sont-elles en accord avec cette hypothèse ? Oui ! Nous l'avons vérifié, d'une part, à partir des chronologies de feux du parc américain Yellowstone, qui sont rigoureusement tenues depuis le début du ^{xx}e siècle, d'autre part, à partir des estimations de l'intensité des feux établies depuis 1700 par des analyses des cernes concentriques des arbres dans une partie du parc. Par exemple, on constate une absence de grands incendies entre 1647 et 1737, soit à la fin de la « petite période glaciaire » (les périodes glaciaires sont déterminées par les variations d'ensoleillement dues aux modifications de la trajectoire et de l'inclinaison de la Terre).

Notre modèle est aussi utile pour la prévision à court terme des grands incendies. Nous avons rapproché les statistiques journalières de l'ozone stratosphérique de celles des feux : ces derniers se produisent souvent après une chute importante de la quantité d'ozone en quelques jours. Par exemple, en 1988, à Yellowstone, 395 000 hectares ont brûlé entre le 30 juin et le 1^{er} octobre : la figure montre les variations d'aires brûlées quotidiennement en fonction des quantités d'ozone mesurées par le satellite TOMS. En outre, ces phénomènes ont été observés en région méditerranéenne française, lors des années de grands feux (1985, 1986 et 1990) et, plus récemment, lors des incendies américains et de l'Est méditerranéen pendant l'été 2000.

Bien entendu, ces « événements » climatologiques sont à replacer, en ce qui concerne leur gravité, selon leur position dans le cycle solaire où ils se produisent et également à plus long terme, en fonction de l'évolution du climat. Aujourd'hui, l'activité solaire est maximale et les variations de la quantité d'ozone dans l'atmosphère sont spectaculaires : les autorités concernées doivent rester vigilantes.

Michel BERNARD,
Université d'Aix-Marseille.



Les statistiques journalières des aires brûlées (en jaune, du 30 juin au 1^{er} octobre) et des quantités d'ozone atmosphériques (en bleu, du 1^{er} juin au 25 octobre) montrent la relation qui lie ces deux paramètres : lorsque la quantité d'ozone chute, la surface brûlée augmente.

Miroirs et ondes gravitationnelles

La détection des ondes gravitationnelles par le système Virgo nécessite des miroirs aux performances inégalées.

Avec le système *Virgo*, en construction près de Pise, le CNRS et l'Institut national de physique nucléaire italien (INFN) veulent détecter directement des ondes gravitationnelles sur la Terre, par une méthode d'interférométrie optique : la lumière d'un laser sera divisée en faisceaux, qui parcourront trois kilomètres avant d'interférer. Le passage d'une onde gravitationnelle conduira à une variation apparente de la longueur des bras de 10^{-18} mètre. Le système ne détectera les modifications résultantes des figures d'interférence que si ses performances optiques sont exceptionnelles.

Ainsi les miroirs de *Virgo* sont des blocs de silice polie, à faces parallèles, avec une couche antireflet sur une face et une couche réfléchissante sur l'autre face. Lorsqu'un faisceau lumineux rencontre un tel miroir, une partie de son énergie est perdue pour l'expérience : elle est soit absorbée, soit diffusée à de grands angles en raison de défauts présents dans la structure du miroir. Pour détecter les ondes gravitationnelles, les pertes totales devront être inférieures à quelques parties par million. Aussi a-t-on dû mettre au point de nouvelles méthodes de fabrication de composants, ainsi que des systèmes de mesure pour les caractériser.

L'idée constante des opticiens du Service des matériaux avancés (SMA) de l'Institut de physique nucléaire de Lyon a été : «Si on peut détecter un défaut, on peut l'éliminer». D'où la participation du Laboratoire de spectroscopie en lumière polarisée de l'École supérieure de physique

et de chimie de Paris, qui construit, depuis près de dix ans, des détecteurs de défauts dans les systèmes optiques. Les deux équipes ont utilisé une stratégie où la métrologie optique n'est plus le dernier maillon de la chaîne de fabrication, mais fait partie intégrante de la fabrication.

Ainsi l'absorption dans les blocs de silice et dans les revêtements a été détectée par effet mirage, le même qui fait apparaître des reflets sur les routes ensoleillées : la lumière chauffe le sol, et l'air qui s'échauffe alors par contact a un indice de réfraction diminué, de sorte que la lumière provenant des objets éloignés est déviée vers le haut quand elle traverse cette zone. Dans les blocs de silice que l'on teste, de même, on focalise un laser à l'intérieur du miroir, afin de chauffer le matériau, de sorte qu'un second faisceau laser qui traverse la région chauffée est dévié d'une quantité que l'on mesure avec une grande précision. On suit ainsi les variations de l'absorption dans le miroir.

En testant ainsi de petits blocs de silice produits par la Société allemande *Heradeus*, les physiiciens français ont participé à la détermination des méthodes de fabrication optimales. Puis le même travail a été fait pour les revêtements, déposés par le SMA (par pulvérisation, à l'aide de faisceaux d'ions, de pentoxyde de tantale). On a ainsi obtenu de la silice synthétique dont le coefficient d'absorption, à la longueur d'onde du laser de *Virgo*, est passé sous la barrière symbolique d'une partie par million par centimètre. Bientôt le SMA construira des miroirs de grandes dimensions dont les pertes totales seront inférieures à cinq parties par million et dont l'amplitude des défauts géométriques de surface sera contrôlée à mieux que deux nanomètres près (le miroir du télescope spatial *Hubble* a des défauts de surface 50 fois supérieurs). Le grand moment de la détection d'ondes gravitationnelles approche.

Vincent LORIETTE, ESPCI, Paris

BRÈVES

Le parachute de Léonard vole

Léonard de Vinci aurait pu sauter du haut de la tour de Pise. Le génie visionnaire de la Renaissance avait dessiné un parachute en forme de pyramide, mais les spécialistes croyaient ce système incapable d'un vol stable. Prenant un risque calculé, le champion de parachutisme Adrian Nicholas vient de démontrer le contraire : sautant d'une montgolfière, toile déployée, il a mis cinq minutes pour passer d'une altitude de 3500 mètres à une altitude de 500 mètres d'altitude, freiné uniquement par sa pyramide de toile. Craignant d'être assommé à l'atterrissage par les 85 kilogrammes de bois et de toile du système de Léonard, il l'a largué en vol et a terminé sa descente à l'aide d'un parachute moderne.



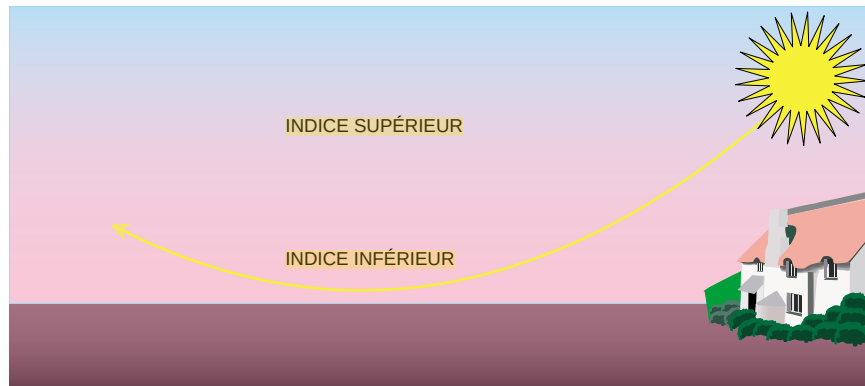
Heathcliff O'Malley

Toute une vie sans sexe

Scandale de l'évolution ! Depuis 35 millions d'années au moins, les organismes multicellulaires *Bdelloida* se passent de rapports sexuels. Manifestement, cette sous-espèce du groupe des rotifères a pourtant su maintenir sa diversité génétique. Comment ? À Harvard, David Mark Welch et Mathew Meselson ont étudié la question en comparant leurs gènes à ceux d'autres rotifères. Alors que, dans les espèces sexuées, les deux brins d'ADN sont parfaitement identiques, ils sont au contraire fortement différenciés chez les *Bdelloida*. Comment est-ce possible ? La question reste sans réponse à ce jour.

Les moines et la syphilis

On a longtemps prétendu que la syphilis était arrivée en Europe en 1492, rapportée du Nouveau Monde par l'équipage de Christophe Colomb. Des archéologues de l'Université de Bradford ont analysé les squelettes médiévaux enterrés au monastère de Hull : ils présentent des lésions caractéristiques de la syphilis. Le plus atteint appartenait à un homme qui semble être un moine, mort entre 1300 et 1450, d'après la datation au carbone 14. La découverte de ces squelettes enlève les derniers doutes quant à la présence de la maladie en Angleterre au Moyen Âge.



Un rayon lumineux est dévié par effet mirage quand il se propage dans des zones dont l'indice optique varie.

L'action échappe à l'intention

Nous ne contrôlons pas toujours les mouvements rapides de notre main. À l'INSERM, Yves Rosseti et ses collègues ont demandé à des sujets de pointer du doigt une cible sur un écran d'ordinateur, mais d'arrêter leur geste si la cible sautait avant qu'ils ne l'aient touchée : des mouvements irrépressibles de la main sont apparus, amenant les sujets à pointer vers la deuxième position de la cible. Les chercheurs ont localisé le réseau de neurones responsable de ces mouvements, grâce à une patiente dont la région pariétale du cerveau avait été endommagée lors d'un accident vasculaire : ses mouvements étaient toujours délibérés. Ainsi, en cas d'urgence, un réseau de neurone situé dans l'aire pariétale prend de vitesse les circuits de l'action volontaire.

Bouées climatiques

Comment évoluera le climat? Quelle est l'influence de l'océan sur celui-ci? Les océanologues de l'Ifremer étudient cette question à l'aide de flotteurs dérivants qu'ils libèrent aujourd'hui dans les divers océans du Globe ; ils en lâcheront 3000 d'ici 2003. Placés dans les courants principaux qui les répartissent, ces flotteurs mesurent la température et la salinité de l'eau, de la surface jusqu'à 2 000 mètres de profondeur, et envoient leur données via un satellite Argos : ils flottent pendant une heure, coulent à 2 000 mètres pendant 10 jours, puis remontent. On espère ainsi comprendre et anticiper le refroidissement qui guette l'Europe du Nord et l'assèchement qui menace l'Europe du Sud.

La couleur des toxiques

Comment détecter les produits chimiques toxiques? En «regardant» leur odeur : une équipe de chimistes américains a mis au point un indicateur composé de petites zones qui prennent une couleur vive quand elles sont exposées à des vapeurs organiques. Chaque zone comprend des molécules qui se colorent quand elles réagissent avec des composés spécifiques. De ce fait, les diverses vapeurs organiques «allument» des zones colorées spécifiques, et sont révélées par une empreinte particulière. Les couleurs s'intensifient avec la concentration. Résistants à l'eau, de lecture claire, ces indicateurs seront faciles à utiliser.

Vibrer d'amour

Les punaises vertes utilisent des signaux acoustiques et des signaux chimiques pour attirer leurs partenaires sexuels.

Perdu dans une immense forêt, vous cherchez votre guide, mais la densité des arbres vous empêche de voir à plus de quelques mètres. Que faire? Vous hurlez le nom du guide en espérant que celui-ci vous entende et vous localise. En collaboration avec l'équipe d'Andrej Cokl, de l'Institut slovène de biologie, nous avons démontré que la punaise verte *Nezara viridula* cherche ses partenaires sexuels de la même façon : à l'aide de signaux acoustiques.

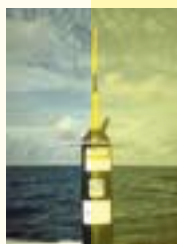
La punaise verte vit sur des plantes qui atteignent plus d'un mètre de haut, tels le maïs, le soja ou le coton. Dans cet environnement où la vue est limitée, l'insecte doit utiliser des moyens de communication plus adaptés.

Les insectes n'utilisent généralement qu'un seul système de communication : soit des signaux chimiques (les phéromones), tels ceux qui sont émis par les papillons de nuit ; soit des signaux acoustiques, dont le chant des cigales est un

bel exemple. Toutefois, la rencontre des punaises vertes met en jeu à la fois des signaux chimiques émis par les mâles, et des signaux acoustiques émis par les deux sexes et transmis par la plante.

Les phéromones émis par un mâle agissent à grande distance et attirent les femelles sur la plante sur laquelle le mâle est posé. La femelle signale alors sa présence en faisant vibrer le végétal. Ces vibrations résultent des contractions musculaires de l'abdomen à la fréquence de résonance de ce dernier (ce phénomène de résonance a causé l'effondrement de ponts : aussi les soldats rompent le pas quand ils franchissent les ponts) : ces vibrations font alors vibrer le thorax, puis les pattes et enfin la plante. Les signaux des femelles sont des pulsations durant 0,8 à 1 seconde, répétées à intervalles réguliers (environ toutes les cinq secondes). Ces signaux suscitent trois réactions simultanées des mâles. La première est locomotrice : le mâle recherche la femelle en s'orientant grâce aux vibrations transmises par la plante. À chaque embranchement, il pose ses pattes et ses antennes sur les tiges et détermine l'origine des vibrations (voir la figure).

La deuxième réaction est acoustique : le mâle émet des chants, dits de cour, en alternance avec les appels de la femelle. Ces chants entretiennent les vibrations de celle-ci et facilitent ainsi sa localisation. Enfin, la troi-



Le mâle de la punaise verte, sur une tige, a libéré des substances chimiques, nommées phéromones, qui ont attiré la femelle sur une feuille du même végétal (a). La femelle produit alors des vibrations d'appel qui se propagent dans la plante et orientent le mâle, notamment aux bifurcations (b et c). Il répond à la femelle par d'autres vibrations et par des phéromones qui stimulent la femelle. Enfin, la rencontre a lieu (d).