

> essayer de mettre en évidence si la variation de ton qui produit ce camouflage est corrélée aux conditions de luminosité, lesquelles varient avec la latitude et la densité de végétation. Or ses résultats vont dans ce sens.

De façon générale, dans un milieu ouvert, la lumière solaire directe tend à créer une ombre qui monte haut sur le corps, avec une transition bien nette vers la zone du corps illuminée. Les animaux vivant dans un tel habitat présentent en général une contre-illumination adaptée: le dos est sombre et le cède brusquement à un ventre clair, donc sans zone de coloration intermédiaire. L'antilope d'Amérique (*Antilocapra americana*) est un cas typique de ce genre de contre-illumination. Dans les habitats fermés, en revanche, de la lumière diffuse à travers la végétation et se disperse dans toutes les directions, ce qui produit une ombre moins haute sur le corps, accompagnée d'une transition douce vers la zone éclairée. Les animaux de ce genre d'habitat tendent à présenter une contre-illumination où la transition du ventre clair au dos plus sombre est progressive, ce qui est le cas par exemple des cerfs à queue noire (*Odocoileus hemionus*) et à queue blanche (*O. virginianus*), communs dans les forêts nord-américaines.

CAMOUFLAGE PAR CONTRE-ILLUMINATION

Le simple examen visuel du spécimen de *Psittacosaurus* révélait un certain type de contre-illumination, mais lequel? Pour le déterminer avec plus de précision, nous avons cartographié la répartition de la mélanine conservée sur le fossile à l'aide d'une technique d'imagerie spéciale. Avec le concours du paléoartiste britannique Bob Nicholls, nous avons ensuite projeté la carte obtenue sur un modèle précis et en grandeur nature du dinosaure. Nous avons ainsi établi que la transition du foncé au clair se situait bas sur le ventre et la queue de *Psittacosaurus*.

Afin de préciser la fonction exacte de ce camouflage par contre-illumination, nous avons photographié les ombres formées sur une copie peinte en grise de notre modèle grandeur nature dans toute une série de conditions d'éclairage, du soleil le plus éclatant jusqu'au ciel plombé de nuages, et cela tant sous des conifères qu'en terrain dégagé. Nous avons ensuite inversé les nuances sombres et claires des photographies afin de définir les contre-illuminations adaptées à telle ou telle condition. De cette façon, nous sommes parvenus à la conclusion que le type de contre-illumination de *Psittacosaurus* était adapté à un milieu baigné par une lumière diffuse: une forêt à canopée par exemple.

Enfin, les pigments conservés dans les proies probables de certains dinosaures peuvent aussi nous renseigner sur eux. Chez les insectes, la plupart des motifs colorés sont en effet

apparus au cours de l'évolution afin de leur éviter d'être dévorés. Or les fossiles des névroptères, un grand groupe d'insectes prédateurs généralistes, en offrent un exemple fascinant. Il y a entre 170 et 150 millions d'années, les ailes de certains névroptères ont commencé à arborer des ocelles, c'est-à-dire des taches en forme d'yeux, susceptibles d'intimider un prédateur approchant très vite. Ces insectes ont été parmi les premiers à acquérir de tels caractères.

Contre quel type de prédateurs se défendaient-ils? La plupart des motifs colorés des insectes actuels sont destinés à tromper les oiseaux, leurs principaux prédateurs. Toutefois, les névroptères sont antérieurs aux oiseaux tels que nous les connaissons. On pense donc que leurs prédateurs étaient des paraviens, c'est-à-dire des membres du groupe (Paraves) de dinosaures théropodes contemporains des névroptères, qui allait donner les oiseaux (entre autres). Le registre fossile des paraviens n'indique pas clairement à quel moment la capacité de voler est apparue, mais l'apparition d'ocelles chez les névroptères constitue un indice qu'une intense pression de prédation s'est exercée sur eux, celle-ci étant probablement due à des animaux volants. Les ocelles des insectes nous renseignent donc sur la date d'apparition du vol chez les dinosaures.

La recherche sur les paléocouleurs est loin d'être close. Il reste des pigments à rechercher et à identifier dans les fossiles, notamment les caroténoïdes qui produisent les rouges et des jaunes vifs et les porphyrines qui donnent des tons verts, rouges et bleus. Occasionnellement, de tels pigments ont été découverts dans certains fossiles – notamment des caroténoïdes dans des bactéries fossiles vieilles de plusieurs milliards d'années et des porphyrines dans un moustique gorgé de sang vieux de 46 millions d'années, ou encore dans les œufs d'un oviraptorosaure datant de 66 millions d'années. Des pigments inconnus chez les organismes actuels ont aussi été découverts au sein d'organismes bien plus anciens.

Il est clair que nous finirons par nous heurter à des limites, puisque après des millions d'années de fossilisation, une partie de l'information est irrémédiablement perdue. Nous avons aussi une forte contrainte: les fossiles exceptionnels, dans lesquels le matériau organique est conservé, sont si rares et si précieux qu'il est hors de question de les détruire en y prélevant trop d'échantillons. Cependant, comme les techniques progressent, les découvertes qu'elles rendent possibles vont sans aucun doute changer notre vision du passé de plus en plus vite. Chacune de ces découvertes nous rapprochera du moment où nous verrons les dinosaures ou d'autres animaux éteints tels qu'ils étaient réellement: en couleurs! ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Vinther et al., **3D camouflage in an Ornithischian dinosaur**, *Current Biology*, vol. 26(18), pp. 2456-2462, 2016.

J. Vinther et al., **The colour of fossil feathers**, *Biology Letters*, vol. 4(5), pp. 522-525, 2008.

EXPO



VALERIAN ET LAURELINE

en mission pour la Cité

13 JUIN 2017
14 JANVIER 2018

M PORTE DE LA VILLETTE

#ExpoValerian



ICI L'AFFICHE
AUGMENTÉE



AVEC LE SOUTIEN DE



BNP PARIBAS

EN COLLABORATION AVEC

DARGAUD

EN PARTENARIAT AVEC

MY TFI

Syfy

CNEWS Matin

SCIENCE



Le drone, sur le point de décoller, est piloté à distance par les chercheurs. Il recueillera des microorganismes en suspension dans l'air afin d'en comprendre la propagation.



L'ESSENTIEL

> De nombreux microorganismes se dispersent dans l'air, notamment des pathogènes qui affectent les cultures de céréales.

> Grâce à des drones et des modélisations complexes reproduisant les mouvements changeants des masses d'air, les auteurs déterminent comment se dispersent certaines maladies. Des pathogènes, tels ceux de la fusariose

des épis, se sont propagés dans de nombreuses régions du globe.

> À terme, les chercheurs pourront aider les agriculteurs à mieux protéger leurs champs en surveillant la dissémination des agents pathogènes.

> Des microorganismes influeraient aussi sur la météo, en favorisant, par exemple, les précipitations.

LES AUTEURS



DAVID SCHMALE
professeur
à l'université
Virginia Tech,
aux États-Unis



SHANE ROSS
maître
de conférences
à l'université
Virginia Tech

Des drones pour traquer les microbes

FUSARIOSE DES ÉPIS, ROUILLE NOIRE DU BLÉ ET AUTRES MALADIES DES CÉRÉALES RAVAGENT LES CULTURES DE CÉRÉALES DANS LE MONDE ENTIER. LA CAUSE : DES MICROORGANISMES QUI, TRANSPORTÉS PAR LES VENTS, PARCOURENT DES MILLIERS DE KILOMÈTRES. POUR LES SUIVRE, LES CHERCHEURS SORTENT LES DRONES...

L'air qui nous entoure grouille de bactéries, de virus et de champignons. À chaque inspiration, nous inhalons des milliers de ces microorganismes. Depuis plus de 150 ans, nous savons que certains d'entre eux provoquent des maladies chez les végétaux, les animaux et les humains.

Plus récemment, on a découvert que les microorganismes influent aussi sur la météo : ils facilitent par exemple la naissance de gouttes d'eau dans les nuages et provoquent des précipitations ou favorisent la formation de gel. Et ces microorganismes sont de grands voyageurs. Ils empruntent les grands flux d'air pour voler sur plusieurs centaines de kilomètres et traverser océans ou continents. Grâce à de nouveaux outils et de nouvelles techniques, les chercheurs sont capables de déterminer le lieu d'origine de ces organismes et la façon dont ils se dispersent.

Outre l'intérêt biologique de comprendre les interactions des microorganismes avec l'atmosphère, les enjeux économiques sont de taille. En effet, les agents pathogènes, vecteurs de maladies et de contaminations pour les cultures, provoquent des dégâts considérables. À l'échelle mondiale, les pertes se chiffrent en milliards d'euros chaque année.

Depuis une dizaine d'années, par une approche pluridisciplinaire, nous étudions les pathogènes les plus nocifs pour les céréales. L'un de nous (David Schmale) étudie l'aérobiologie, partie de la biologie qui s'intéresse à ce microcosme en suspension dans l'air, et en particulier aux microorganismes qui provoquent des maladies chez les végétaux ; l'autre (Shane Ross) développe des modèles mathématiques qui décrivent et prévoient comment les masses d'air se déplacent sur de courtes ou sur de longues distances. Nous nous sommes associés en 2006 pour retracer les chemins par lesquels



Toutes les photographies sont d'Adam Ewing

> les agents pathogènes des végétaux, ou phytopathogènes, se disséminent d'un champ, d'une région ou d'un continent à l'autre.

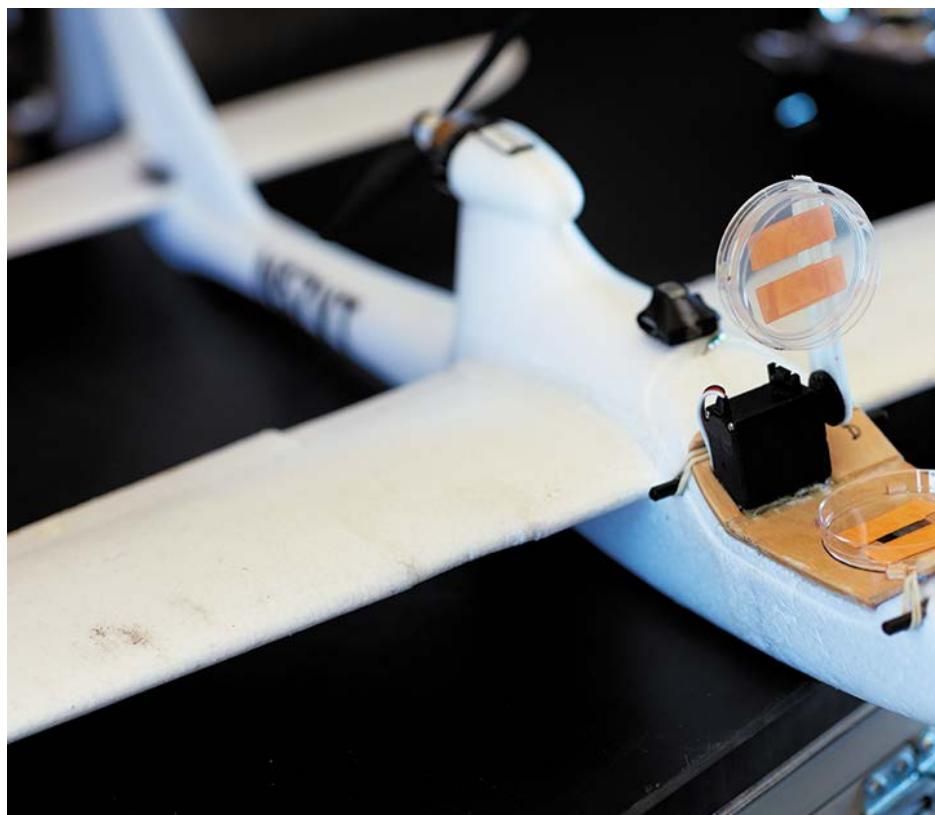
Pour y parvenir, nous avons d'abord eu l'idée de déployer une petite flotte aérienne constituée de drones. Ces aéronefs pilotés à distance sont équipés de dispositifs d'échantillonnage, afin de collecter et d'analyser les microorganismes de la basse atmosphère. Lors de chaque vol, nous récoltons une grande diversité d'organismes – dont beaucoup n'étaient pas bien étudiés ou étaient même inconnus. Grâce à ces prélèvements et à la mise au point de nouveaux outils informatiques, nous espérons reconstituer le processus de dispersion à grande échelle de ces microorganismes.

L'un des objectifs de ces travaux est de fournir aux acteurs du monde agricole des moyens de surveiller les microorganismes phytopathogènes dans l'air, de prévoir où ils pourraient se répandre, et donc d'identifier les champs à traiter ou à «mettre en quarantaine». Grâce ce type d'information, les agriculteurs pourront décider, en fonction des risques de contamination, quelles variétés de céréales planter ou quand pulvériser des produits phytosanitaires pour protéger leurs récoltes.

Nous avons concentré une grande partie de nos recherches sur un agent phytopathogène en particulier, *Fusarium graminearum*. Au cours des dernières décennies, ce champignon s'est dispersé plus loin et plus rapidement que jamais auparavant, en partie à cause du changement climatique et de certaines pratiques agricoles de conservation des sols, qui consistent à garder des résidus de culture dans les champs, ce qui permet à l'infection d'y prospérer d'une année à l'autre. Si le réchauffement climatique global se poursuit, de tels pathogènes étendront certainement leur zone d'influence au point de menacer l'approvisionnement alimentaire mondial en rendant impropres à la consommation de très grandes quantités de céréales.

DES TOXINES DANS VOTRE ALIMENTATION

Beaucoup de personnes ignorent à quel point les microorganismes phytopathogènes sont dévastateurs pour l'agriculture. L'une des maladies végétales, la fusariose des épis, décolore les épis de blé, d'avoine, d'orge, et d'autres céréales à petits grains. Plus grave, elle contamine les grains avec des composés toxiques, des mycotoxines. Lorsqu'elles sont ingérées en quantités suffisantes, ces mycotoxines provoquent notamment des vomissements chez les humains et le bétail. Or dans un champ contaminé, il n'est généralement pas possible de séparer les grains contenant ces toxines des grains sains. Il faut alors tester les récoltes moissonnées et les détruire si



elles contiennent des traces de toxines dépassant un certain seuil.

Dans le monde, différentes espèces de champignons du genre *Fusarium* provoquent une fusariose des épis. *Fusarium asiaticum* est depuis longtemps un problème en Chine centrale, d'où il a récemment commencé à se déplacer vers le nord. *Fusarium graminearum* est prédominant aux États-Unis, où il survit à l'hiver dans les résidus végétaux laissés au sol après la récolte de l'année précédente. Au printemps et à l'été, des structures fongiques, les périthèces, se développent sur ces résidus et libèrent des spores de *Fusarium* dans l'air. Ces spores se posent ensuite sur les anthères de blé et les soies de maïs. Elles germent et le champignon se développe dans la plante, ce qui conduit finalement à l'accumulation de mycotoxines dans les grains.

Ainsi, dans les années 1970, *Fusarium* a fait des ravages dans les cultures américaines de maïs, ce qui a provoqué une maladie chez de nombreux porcs (ces cas ont conduit à la découverte du désoxynivalénol, une mycotoxine qui entraîne chez les cochons des vomissements et les conduit à refuser de s'alimenter).

À cause du risque de contamination d'une variété de céréale à une autre, on déconseille souvent aux agriculteurs de planter du blé dans des champs immédiatement après que ces derniers ont été utilisés pour faire pousser du maïs ou d'autres céréales sensibles à la fusariose. De façon générale, la lutte contre la fusariose des