

La fièvre de la vallée du Rift

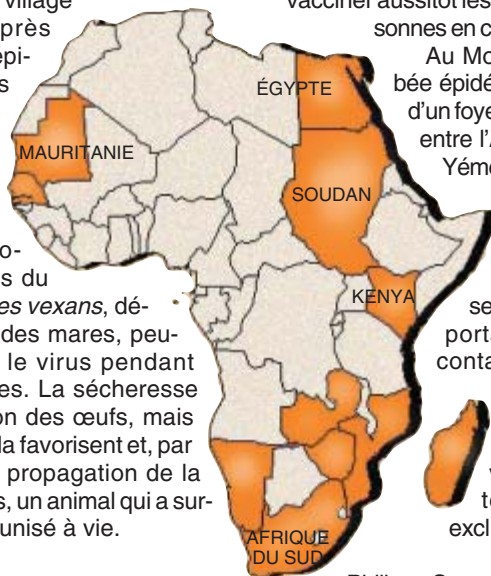
La modélisation, associée à la télésurveillance, améliore la détection des foyers à risques.

Une maladie émergente vient de toucher le Moyen-Orient et a fait plus de 200 victimes en Arabie saoudite et au Yémen depuis quelques mois. Le responsable, l'agent de la «fièvre de la vallée du Rift», ne sévissait, jusqu'à présent, qu'en Afrique, où il continue ses ravages. Comme on ne peut vacciner tous les habitants des zones à risques, ni, *a fortiori*, ceux des régions qui étaient jusqu'alors épargnées, on essaie de prévoir les prochaines zones touchées en modélisant les épidémies. Ainsi, les autorités sanitaires pourraient prendre à temps les mesures de protection des populations menacées.

L'agent pathogène, un arbovirus (un virus transmis par plusieurs espèces de moustiques) atteint d'abord les ruminants : il tue la quasi-totalité des embryons en cours de gestation et les jeunes. Les hommes sont contaminés à leur tour, soit par contact avec le sang d'un animal malade sur une plaie, soit par inhalation d'aérosol contenant le virus, ou encore par piqûre de moustique. La maladie se manifeste par des symptômes fiévreux, parfois suivis d'hémorragies mortelles.

En Afrique, l'émergence et la propagation des épidémies semblent aléatoires. La transhumance et le commerce du bétail facilitent l'apparition de nouveaux foyers ; parfois, la fièvre réapparaît dans un même village des années après une première épidémie, tandis qu'elle semble définitivement éradiquée dans d'autres zones. Selon les épidémiologistes, les œufs du moustique *Aedes vexans*, déposés au bord des mares, peuvent héberger le virus pendant plusieurs années. La sécheresse bloque l'éclosion des œufs, mais de fortes pluies la favorisent et, par conséquent, la propagation de la maladie. De plus, un animal qui a survécu reste immunisé à vie.

Principales zones africaines d'endémie.



Nous avons considéré que les œufs des moustiques *Aedes vexans* sont les uniques réservoirs du virus, et que l'immunité acquise par un troupeau décroît à mesure que les bêtes meurent. Nous avons ensuite élaboré un modèle qui prévoit l'évolution d'un foyer épidémique en fonction de l'alternance des périodes pluvieuses et sèches. Nos résultats semblent concorder avec les cycles épidémiques observés dans les villages de la région de Saint-Louis, au Sénégal, au cours des 20 dernières années.

Nous nous sommes également intéressés à la propagation des épidémies en considérant que chaque village est couplé aux autres par des liens qui représentent la transhumance et le commerce du bétail. Plus les échanges entre deux villages sont denses, plus le risque de propagation du virus est important. Nous attribuons à chaque connexion entre villages un coefficient proportionnel au risque de propagation. Aujourd'hui, nous évaluons ces interactions entre villages, au Sénégal.

Une fois ce modèle au point, il sera couplé à une télésurveillance par satellite, destinée à suivre l'évolution de la maladie, dans le cadre du projet Emercase. Comme les systèmes de télésurveillance des satellites visualisent le niveau des mares, on pourrait prévoir l'émergence d'une épidémie plus ou moins grave selon la date du dernier épisode de la fièvre. Si la précédente épidémie est récente, les bêtes sont encore immunisées et le nouvel épisode de fièvre ne sera pas grave. Inversement, si le bétail n'est plus immunisé, l'épidémie fera des ravages. Puis l'épidémie touche les villages limitrophes, et ceux avec lesquels les échanges sont fréquents. Le modèle évaluera les villages à risques et on pourra lancer des «alertes précoces» afin d'y vacciner aussitôt les troupeaux et les personnes en contact avec les bêtes.

Au Moyen-Orient, la flambée épidémique semble issue d'un foyer unique à la frontière entre l'Arabie saoudite et le Yémen. Elle résulterait non pas de fortes pluies, puisqu'il n'y avait pas de moustiques infectés jusqu'à présent, mais plutôt de l'importation de bétail contaminé. Cette émergence de la fièvre au Moyen-Orient indique que la propagation du virus au bassin méditerranéen n'est pas exclue.

Marc DUBOIS (CEA)
Philippe SABATIER (INRA, ENV-Lyon)

BRÈVES

Un hominidé de six millions d'années

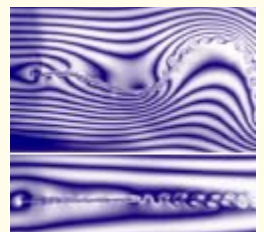
Des ossements d'hominidés vieux de six millions d'années ont été mis au jour dans le Nord-Ouest du Kenya. Jusqu'à cette découverte, les fossiles humains les plus anciens dataient de 4,5 millions d'années et avaient été découverts en Éthiopie. Les paléontologues français et kenyans ont trouvé des morceaux de mâchoire, des dents, des os de bras et de jambe, ainsi qu'un doigt, dispersés sur trois sites. Ces restes appartenaient à au moins cinq individus, dont un jeune âgé de six ans. Ces hominidés grimpaient aux arbres avec agilité, mais se déplaçaient déjà en position debout lorsqu'ils étaient au sol. L'un des fémurs porte des traces de morsures : l'hominidé a dû être tué et dévoré par un grand carnassier.

L'Univers se rafraîchit

Lorsque l'Univers n'avait que trois milliards d'années, sa température était comprise entre 6 et 14 kelvins (-267 et -259 °C), d'après les astrophysiciens du Centre de Pune en Inde. Ils ont déduit ce résultat de leur observation de la lumière, absorbée par un nuage de gaz très éloigné de la Terre, venant d'un quasar. Cette absorption dépend de la température du nuage, qui reflète la température à laquelle se trouvait l'Univers quand la lumière en est partie (il y a 12 milliards d'années). Aujourd'hui, l'Univers a 15 milliards d'années et sa température est de 2,73 kelvins. Ces résultats confortent la théorie du Big Bang, selon laquelle l'Univers s'est refroidi depuis sa formation.

La taille critique du drapeau

Les mouvements d'un drapeau dans le vent et ceux d'un poisson dans le courant se ressemblent, mais on les comprend mal. Pour les étudier, des physiciens de l'Université de New York ont accroché un filament souple dans un flux laminaire (sans turbulence) de savon liquide. Ils ont observé que des filaments courts (dont la longueur est inférieure à une valeur critique) restent droits dans le courant. Quand la longueur dépasse la valeur critique, le filament se met à ondoyer comme un drapeau. Ce résultat contredit l'opinion selon laquelle les drapeaux sont toujours instables. Gageons que les poissons sont tous au-dessus de leur taille critique!



Caméra cachée

Le tube digestif est en contact avec l'extérieur, mais son examen n'est ni aisé, ni agréable. L'endoscopie, qui consiste à introduire une mini caméra placée à l'extrémité d'un dispositif qui, d'une part, éclaire la zone observée et, d'autre part, enregistre les images, est souvent mal tolérée. Fondée sur le même principe, mais d'un usage notablement plus aisé, des «pilules» de un centimètre sur trois contiennent une caméra, des piles et un dispositif de repérage. La caméra ultra sensible fonctionne même dans des conditions de faible luminosité. Les patients avalent une caméra le matin, laquelle est récupérée quelques heures plus tard «naturellement». Pour le moment la méthode est validée par des coloscopies. Le dispositif en cours d'évaluation a révélé des lésions intestinales que les méthodes classiques n'avaient pas repérées.

Gaz de billes

Mêmes les «gaz de billes» ressemblent aux gaz parfaits. On obtient de tels «gaz» en faisant vibrer une boîte transparente remplie de billes d'acier ; l'épaisseur de la boîte photographiée par la caméra



D. Peebles, Corbis

excède de peu le diamètre des billes (un millimètre). Les physiciens de l'Université du Massachusetts ont mesuré à l'aide d'une caméra rapide la distribution des vitesses de ces billes. Elle ressemble à celle que vérifient les gaz parfaits, la loi de Maxwell. Maxwell avait précisément fait l'hypothèse que les molécules d'un gaz parfait se comportent comme des billes. Des gaz de billes aux gaz parfaits, une seule différence, un exposant dans la loi de Maxwell!

Singes dactylographes

Pour illustrer l'impossible «retour en arrière» des phénomènes physiques, Émile Borel évoque une armée de singes dactylographes qui, tapant au hasard sur leur machine à écrire, reconstruiraient une œuvre littéraire, voire «la copie exacte des livres de toute nature et de toutes langues conservés dans les plus riches bibliothèques du monde». Cette comparaison a été décrite par d'autres. Joseph de Maistre, en 1814, dans son *Essai sur les principes générateurs de la révolution française*, mentionne des lettres lancées en l'air qui reconstitueraient Athalie, la pièce de Racine et cite Cicéron dont, semble-t-il, l'idée proviendrait.

Premières orbites autour d'un trou noir

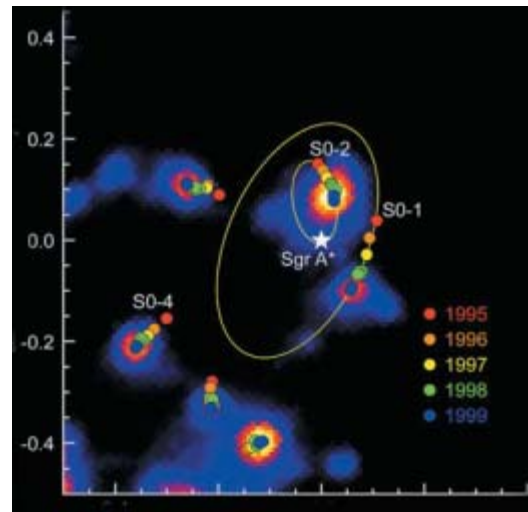
Les astrophysiciens précisent la position et la valeur de l'énorme masse qui se trouve au centre de la Voie lactée.

La présence d'un trou noir au centre de notre Galaxie est de plus en plus probable. Située dans la constellation du Sagittaire, cette région intrigue depuis longtemps les astrophysiciens de par son exceptionnelle concentration stellaire, laquelle indique la présence d'un puissant centre d'attraction. Pour connaître sa nature, plusieurs équipes internationales scrutent la région depuis dix ans, et mesurent les vitesses apparentes des astres qui y gravitent. Pour la toute première fois, les astrophysiciens ont réussi à mesurer l'accélération exercée par le trou noir sur certaines étoiles.

La première vitesse apparente d'une étoile, la vitesse radiale, est sa vitesse d'éloignement ou de rapprochement. Les astrophysiciens la déduisent des déformations du spectre de l'astre, dont ils choisissent l'une des raies d'émission pour en mesurer le décalage en fréquence. Nommé «décalage Doppler», ce dernier est proportionnel à la vitesse de l'émetteur de la raie. La mesure est difficile, car les poussières interstellaires obscurcissent le centre de la Galaxie dans le visible comme dans l'infrarouge proche. Seuls les spectres de quelques dizaines d'étoiles, particulièrement brillantes, sont utilisables.

Le second type de vitesse apparente est la composante perpendiculaire à la vitesse radiale. Nommée «vitesse sur le plan du ciel», elle est aussi difficile à mesurer tant le champ observé est encombré. Seules 190 étoiles très brillantes se distinguent assez pour pouvoir être suivies dans le temps. Deux techniques donnent aux astrophysiciens la résolution spatiale nécessaire : le «recentrage à pose courte» et l'optique adaptative. La première consiste à enregistrer très vite des images, sans laisser le temps à la turbulence atmosphérique de les brouiller puis à les additionner ; dans la seconde technique, des miroirs sont déformés pour compenser l'effet de cette turbulence.

L'ensemble de ces mesures révèle l'extrême agitation stellaire du centre galactique. Mesurées par rapport au centre d'attraction, les vitesses des étoiles rapides qui y gravitent dépassent



On déduit des trajectoires ellipsoïdales des étoiles du centre de la Galaxie que ces dernières gravitent autour d'une masse de quelque trois millions de fois celle du Soleil. Un trou noir?

sent le millier de kilomètres par seconde. Pour comparaison, le Soleil et son cortège de planètes orbitent dans la Galaxie à quelque 220 kilomètres par seconde. Pour les astrophysiciens, seule la présence d'une petite zone extrêmement dense peut être à l'origine d'une agitation pareille. Les trajectoires stellaires observées sont explicables si l'on suppose que cette zone est quasi ponctuelle et que sa masse est d'environ trois millions de masses solaires. Si c'est vraiment le cas, il s'agit probablement d'un trou noir. Quelle serait sa position? Les analyses les plus récentes livrent une distance du centre galactique au Soleil de l'ordre de 25 000 années-lumière.

L'hypothèse de la présence d'un trou noir au centre galactique a été encore confortée par l'équipe d'Andrea Ghez, de l'Université de Californie, qui, grâce au puissant télescope Keck d'Hawaii, a mesuré l'accélération de certaines étoiles brillantes proches. A. Ghez et ses collègues ont ainsi montré que les vecteurs de plusieurs accélérations stellaires pointent dans la direction du trou noir présumé! La méthode de l'équipe livre des résultats sur la position du trou noir quatre fois plus précis que les estimations antérieures. De plus, chance supplémentaire, l'ellipse que décrit l'une des étoiles étudiées, S0-1, indique une période orbitale de 15 ans. Pour la première fois, les astrophysiciens vont assister au cours de leur vie à plusieurs révolutions d'une étoile gravitant autour d'un trou noir de trois millions de fois la masse solaire!

Christophe PICHON
Observatoire de Strasbourg

Colle de verre

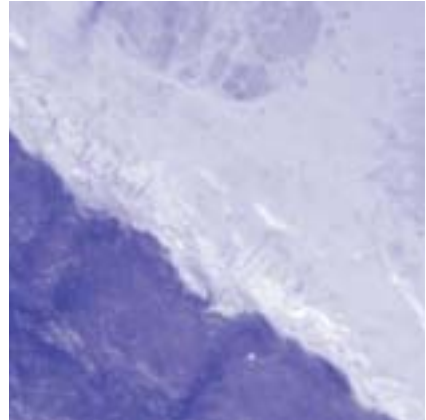
Les verres bioactifs soudent les prothèses orthopédiques à l'os.

Aujourd'hui, la population vieillit, et l'«épidémie» de fractures du col du fémur est devenue un problème de santé publique. Une intervention chirurgicale sur une personne âgée, notamment la pose d'une prothèse de titane, est souvent accompagnée d'un cortège de complications. Toute amélioration des prothèses renforce le confort des personnes ayant une fracture : les bioverres accéléreraient la soudure de la prothèse à l'os.

Aujourd'hui, la majorité des prothèses orthopédiques sont composées d'alliages de titane. Ils sont biocompatibles, c'est-à-dire qu'ils sont bien tolérés par l'organisme et déclenchent peu de mécanismes de rejet. En revanche, comme ils adhèrent souvent mal à l'os, on les recouvre d'apatite, le constituant principal des os. Toutefois, ces revêtements se fixent mal aux prothèses et la soudure avec l'os s'établit lentement. La prothèse risque de se déplacer au cours des premières semaines après son implantation dans l'os, ce qui engendre parfois des frottements, à l'origine d'inflammations.

Les verres bioactifs (à base de silice et d'oxydes de sodium, de calcium, de potassium et de phosphore) pourraient remplacer les revêtements d'apatite, car ils s'intègrent vite à l'os, comme le montrent les expériences menées par Édouard Jallot et son équipe du Laboratoire de microscopie électronique à l'Université de Reims. Souvent perçus comme des matériaux inertes, les verres bioactifs établissent des liaisons chimiques, notamment avec les os.

Le verre bioactif, réduit en poudre, est projeté à haute température sur de petits cylindres de titane. La couche déposée ne dépasse pas 80 micromètres d'épaisseur. Ces cylindres ont été implantés dans des fémurs de mouton. Dès la mise en contact avec l'os, les éléments du bioverre commencent à migrer. L'os est en perpétuel remaniement, c'est-à-dire qu'une fraction est en résorption pendant que de l'os neuf se construit. Il est poreux pour laisser circuler les fluides biologiques, notamment le sang, qui alimentent l'os. On constate que, peu à peu, la matrice du bioverre se délite et se transforme en un gel. À sa périphérie, se forme une couche de silicium qui entraîne l'apparition de gradients de concentration dans le verre. Ils favorisent la diffusion du calcium et du phosphore du verre vers l'os. L'interface entre le bioverre et l'os finit par être saturée en calcium et en phosphore, de sorte que le produit de solubilité de ces ions étant



Le bioverre (en haut) favorise la formation d'une couche d'apatite (plus claire, au centre), ciment provisoire avec l'os (en foncé).

atteint, des réactions de précipitation se produisent : des grains sphériques riches en calcium et en phosphore apparaissent, et le rapport de leurs concentrations est proche de celui de l'apatite naturelle. Les grains grossissent, fusionnent et finissent par former une couche d'apatite, ciment entre l'os et le verre. Ensuite, l'os produit suffisamment d'apatite pour se souder à l'implant métallique. Six mois plus tard, la couche-ciment disparaît, laissant l'implant bien en place.

Ainsi, un revêtement en verre bioactif sert de soudure entre les prothèses et l'os, grâce à la formation spontanée à l'interface d'une couche d'apatite. Les premiers essais sur le mouton sont concluants. Reste à tester la méthode sur l'homme, où plutôt sur la femme, la principale victime des fractures du col du fémur.

Michel-Ange, maître d'anatomie

Une femme sculptée par l'artiste de la renaissance avait un cancer du sein.

Un visiteur de la chapelle des Médicis, dans l'église San Lorenzo, à Florence, admirera sans doute la beauté de *La nuit*, une sculpture allégorique en marbre de Michel-Ange (1475–1564) qui a son pendant dans la même chapelle, *L'aube*, mais il négligera un détail que seul un médecin remarquera. À l'instar de James Stark, du Centre de cancérologie de Portsmouth et Jonathan Katz Nelson, de l'Université de New York, ce médecin ne manquerait pas de noter une étrange anomalie sur le sein gauche de la femme sculptée, indiquant qu'elle souffrait d'un cancer du sein.

Plus précisément, le sein sculpté a trois anomalies. La plus évidente est une proéminence à droite du mamelon. Par

ailleurs, l'aréole (la zone pigmentée qui entoure le mamelon) est légèrement enflée, ce qui traduit une inflammation. Cependant, ces deux symptômes pourraient être le signe d'une tumeur bénigne ou d'un abcès d'une femme qui allaite son enfant.

En revanche, à côté du mamelon, la peau s'est rétractée. Cette rétraction cutanée atteste plus sûrement d'un cancer : elle est due à une désorganisation de l'architecture du sein composé de cellules glandulaires et graisseuses que les cellules tumorales attirent. Ces trois symptômes caractérisent une tumeur située au niveau du mamelon. Les cellules devenues cancéreuses étaient soit celles du mamelon lui-même, soit celles de ganglions lymphatiques sous-jacents.

Aujourd'hui, les cancérologues confirment les présomptions par un examen mammographique et par l'observation au microscope de quelques cellules prélevées au cours d'une biopsie.

Ces anomalies sont-elles des erreurs du sculpteur ? Traduisent-elles une œuvre inachevée ? Selon les deux médecins qui les ont remarquées, Michel-Ange a sans doute fidèlement

reproduit un modèle qui avait un cancer du sein. Au XVI^e siècle, les médecins connaissaient ce type de pathologie, précisément décrit dans les ouvrages des médecins de l'Antiquité, tels Hippocrate et Galien, et du Moyen Âge, tel Avicenne.



La nuit, œuvre allégorique de Michel-Ange, est représentée par une femme dont le modèle avait un cancer du sein gauche: en témoignent une grosseur du sein, une aréole déformée et la peau rétractée à proximité.

Détection des amibes pathogènes

Les amibes pathogènes provoquent des intoxications alimentaires graves chez les amateurs de coquillage. Elles seront bientôt détectées en quelques heures, grâce à une technique mise au point par les chercheurs de l'observatoire océanographique de Banuyls-sur-Mer et de la Société Chemunex. D'abord marquée avec un anticorps fluorescent, spécifique des amibes, la solution à analyser est filtrée sur une membrane. Le faisceau d'un laser à argon déclenche la fluorescence de la solution, lorsque des amibes sont présentes. La méthode révèle la présence ou l'absence d'amibes en quatre heures, tandis que les méthodes classiques de cultures des micro-organismes nécessitent plusieurs jours.

Albatros instrumentés

Un albatros en vol dépense si peu d'énergie, qu'il parvient, en une saison, à parcourir jusqu'à 150 000 kilomètres. Ces résultats ont été obtenus au centre d'études du CNRS de Chizé. Grâce à des mesures en laboratoire, les biologistes ont montré que la fréquence cardiaque de l'oiseau est directement liée à sa dépense énergétique. Puis, ils ont «équipé» plusieurs oiseaux partant en mer d'un enregistreur de fréquence cardiaque, d'une balise Argos et d'un enregistreur d'activité (l'ensemble du dispositif n'excédait pas 80 grammes). Ils ont ainsi relié la dépense énergétique instantanée des oiseaux à leur activité et aux paramètres météorologiques (la vitesse du vent et la température de l'eau). Le rapport de la dépense énergétique de l'oiseau en activité et de son activité au repos est le plus faible connu.



fréquence cardiaque, d'une balise Argos et d'un enregistreur d'activité (l'ensemble du dispositif n'excédait pas 80 grammes). Ils ont ainsi relié la dépense énergétique instantanée des oiseaux à leur activité et aux paramètres météorologiques (la vitesse du vent et la température de l'eau). Le rapport de la dépense énergétique de l'oiseau en activité et de son activité au repos est le plus faible connu.

Plaidoyer pour les avocats

Des biologistes japonais ont découvert que l'avocat contient des substances qui minimisent certaines lésions du foie. On a déclenché des lésions chez le rat au moyen d'une toxine hépatique. Ces lésions ressemblent à celles dues à une hépatite virale. Afin d'évaluer l'activité de divers aliments sur ces lésions, on a nourri les rats avec 22 types de fruits différents et l'on a constaté que l'activité de l'avocat l'emporte. L'avocat contient des acides gras monoinsaturés qui abaissent la concentration en cholestérol ; il est riche en vitamines, en fibres, en potassium... Une nouvelle vertu s'ajoutera-t-elle à la liste?

Les tiques du python

Des parasites, indicateurs de la maturité sexuelle.

Le succès reproducteur d'un animal se mesure à l'aune de l'efficacité avec laquelle il transmet ses gènes aux générations futures ; il est généralement interprété comme le nombre total de descendants qu'il aura tout au long de sa vie sexuelle, lesquels se reproduiront à leur tour. Selon la théorie de la sélection naturelle, chacun tente d'optimiser son succès reproducteur et adopte, pour ce faire, une grande variété de stratégies reproductrices. Pour certaines espèces, il est plus efficace en termes de succès reproducteur de produire peu de jeunes de «très bonne qualité», tandis que pour d'autres, le salut passe par un nombre important de descendants (jusqu'à plusieurs millions) de petite taille. Quantité et qualité des nouveau-nés constituent deux déterminants du succès reproducteur, dont nous avons percé quelques secrets chez le python royal.

Les déterminants du succès reproducteur ont été étudiés pour plusieurs espèces de serpents. On sait que les mâles doivent, à la saison des accouplements, parcourir la plus grande surface possible de leur habitat à la recherche de femelles, afin d'en féconder le maximum. Toutefois, pour évaluer le succès reproducteur, on doit connaître la période d'activité sexuelle d'un animal et, notamment, sa taille qui détermine souvent la maturité sexuelle et qui, par conséquent, est en partie liée à l'âge des animaux. Nous voulions faire cette étude sur le python royal (*Python regius*), au Togo. Toutefois, la biologie de cette espèce étant mal connue, nous ne savions comment déterminer l'âge de la maturité sexuelle chez les mâles. Pour les femelles ovipares de ces serpents, on estime qu'elle atteigne leur maturité sexuelle lors de la première ponte, c'est-à-dire en moyenne



La quantité de tiques (ci-dessus) présentes sur la peau des pythons royaux mâles (en haut à droite) est un marqueur de leur maturité sexuelle.



lorsqu'elles mesurent 102 centimètres. Quand on ne peut pas observer directement une parade amoureuse ou un accouplement, on ne peut déterminer la taille des mâles qui ont atteint leur maturité sexuelle et chez qui les caractères sexuels secondaires sont très discrets, voire absents.

La solution était dans les tiques... Les serpents ne sont pas épargnés par les parasites, et il n'est pas rare de trouver quantité de tiques dans les replis de leur peau. Nous avons découvert que si tous les pythons, quels que soient leur âge et leur sexe, sont parasités par des tiques, les mâles le sont davantage que les femelles. Nous pensions que plus un python est long, plus il devrait être parasité, la surface offerte étant supérieure. Or chez les femelles, il n'en est rien : la taille n'influe pas sur le nombre de tiques qu'elles portent. Inversement, chez les mâles, le nombre de tiques accrochées est directement proportionnel à la taille. Pourquoi cette différence ? Les pythons mâles utilisent les mêmes niches écologiques et les mêmes terriers que les femelles et consomment les mêmes proies. Nous avons alors émis l'hypothèse que cette différence était fondée sur... le succès reproducteur.

C'est vraisemblablement au cours de leurs voyages à travers la savane africaine, à la recherche de femelles à féconder, que les pythons mâles, davantage exposés, sont parasités. Au contraire, comme chez de nombreux serpents, les femelles de pythons se contentent d'attendre les mâles, lors de la saison des accouplements, à l'abri dans un terrier ; elles y pondront leurs œufs et les couvriront durant plusieurs mois. Le nombre de tiques est proportionnel à la taille des mâles, car les plus grands se déplacent vite et parcourent de grandes distances, dépistant davantage de femelles, mais aussi s'exposant à plus de parasites.

Une fois que nous avons compris que le nombre de tiques révèle la maturité sexuelle des mâles, nous avons dénombré les tiques en fonction de la taille des pythons et découvert que leur nombre augmente notablement à partir de 80 centimètres. Une précision sur la biologie de cette espèce encore mal décrite.

Fabien AUBRET et Xavier BONNET
CECB - CNRS

Une banque de café arabica

Une nouvelle méthode de conservation des grains de café.

Parmi les 80 espèces de caféiers répertoriées dans le monde, seules deux d'entre elles sont cultivées : *Coffea arabica* et *Coffea canephora*, alias Robusta. L'arabica est moins amer, plus aromatique et contient deux fois moins de caféine que le Robusta, mais résiste moins bien aux parasites. Comment améliorer les variétés cultivées pour qu'elles allient qualités gustatives et résistance aux parasites ? Les biologistes de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) étudient le génome des différentes espèces de café, afin de repérer les caractères qui les intéressent et les possibilités de les introduire par hybridation dans les variétés cultivées. Pour étudier toutes les ressources génétiques de café, ils doivent le conserver longtemps : Stéphane Dussert et ses collègues, de l'IRD de Montpellier, ont mis au point une technique de conservation des graines d'Arabica dans l'azote liquide.

Contrairement aux graines des espèces cultivées sous les latitudes tempérées, les graines du café ne supportent pas la déshydratation ni les basses températures. Aujourd'hui, les collections de café sont conservées « au champ », c'est-à-dire sous forme de plantations qui doivent être cultivées et entretenues (la plus importante se trouve au Costa Rica). Elles sont coûteuses et exposées aux aléas climatiques, aux maladies et aux attaques des ravageurs. Comment pourrait-on conserver des graines « hors champ » ?

Elles ne survivent pas à une immersion directe dans l'azote liquide, car l'eau qu'elles contiennent déchire les mem-

branes cellulaires lorsqu'elle se transforme en glace. Les graines sont placées dans des enceintes dont le taux d'humidité est abaissé, afin que la déshydratation ait lieu. Au cours de la phase suivante de congélation, l'eau résiduelle forme une phase qui n'endommage pas l'intégrité des cellules. Cette phase commence par un refroidissement lent jusqu'à -50°C , où les lipides cristallisent sous une forme qui ne met pas la survie des cellules en danger. Alors seulement, les graines sont plongées dans l'azote liquide.

Pour que les graines retrouvent leur pouvoir germinatif, les biologistes de l'IRD les réchauffent, puis les réhydratent en les plaçant dans une solution dont le potentiel osmotique (les concentrations en électrolytes non diffusibles) est adapté pour que l'eau pénètre lentement dans les graines. Adaptée aux graines de café, cette méthode semble, de surcroît, réparer certains dommages dus au procédé de cryoconservation. Elle inhiberait notamment les radicaux libres nuisibles, responsables des réactions d'oxydation qui accélèrent le vieillissement des cellules. Les grains de café pourraient ainsi être conservés de façon quasi illimitée. Grâce à ce procédé, on dispose aujourd'hui de la première cryobanque de *Coffea arabica*, version moderne de la collection au champ.



Graines de *Coffea arabica*.

Claude Dejoux, IRD

220 millions d'années, 23 mètres de long...

Comment se nourrissait le plus grand reptile marin ?

En 1994, la paléontologue canadienne Elisabeth Nicholls a découvert un ichtyosaure, reptile marin géant, vieux de 220 millions d'années, dans le lit d'une rivière de Colombie britannique. Depuis, les paléontologues travaillent à la récupération de ce fossile. Le travail est titanesque : le fossile est sur un terrain accidenté et boisé, la rivière recouvre les roches contenant le fossile une partie de l'année, et le climat est si rigoureux que l'on ne peut creuser que pendant quelques semaines en été. Encore faut-il lutter contre les moustiques qui infestent la région, et se garder des grizzlis et ours noirs qui rôdent aux alentours.

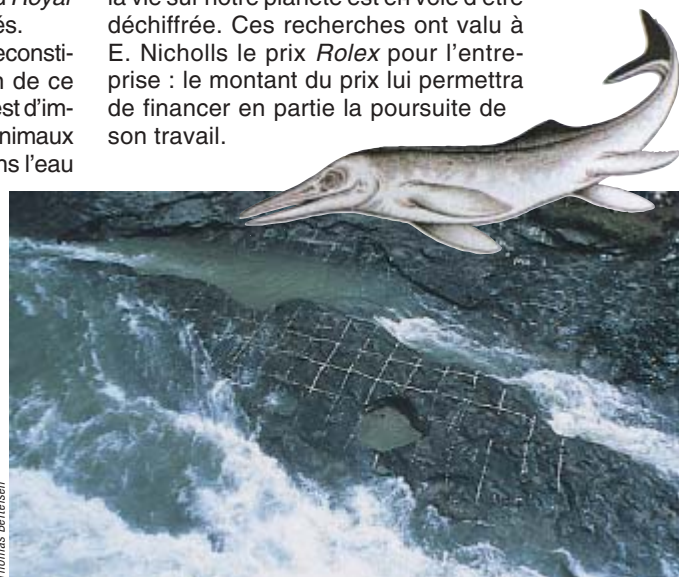
Après plusieurs années de travail, E. Nicholls et son équipe de 17 paléontologues ont dégagé, en 1999, le crâne et des éléments de nageoires enfouis dans le calcaire pour en étudier les caractéristiques au laboratoire. Le crâne comporte

un museau allongé qui ressemble à celui du grand dauphin moderne, mais en beaucoup plus volumineux. Les cinq blocs de calcaire contenant le crâne ont été enlevés par hélicoptère et convoyés au *Royal Tyrrell Museum* pour être analysés.

Quand la mâchoire aura été reconstituée, l'énigme de l'alimentation de ce reptile sera élucidée. La question est d'importance : la plupart des grands animaux marins trouvent leur nourriture dans l'eau de mer en filtrant celle-ci à travers une série de fanons fixés à leurs mâchoires. Le cachalot est la seule exception parmi les grosses baleines : il a des dents pour saisir et mastiquer ses proies, par exemple le calmar géant. Quel était le mode d'alimentation de notre ichtyosaure ? L'étude de sa dentition constituera un jalon décisif dans notre connaissance des reptiles marins préhistoriques. Le crâne est en cours d'examen à l'aide de marteaux-piqueurs miniatures... Le grand espoir est que l'estomac de l'animal contiendra des restes de nourriture. La taille de ce nouveau spécimen retient l'attention, mais quand les caractéristiques des os seront décrites, peut-être retrouvera-t-on dans

les tiroirs des musées d'autres ossements semblables, ce qui permettrait de préciser son implantation géographique.

Une nouvelle page de l'histoire de la vie sur notre planète est en voie d'être déchiffrée. Ces recherches ont valu à E. Nicholls le prix *Rolex* pour l'entreprise : le montant du prix lui permettra de financer en partie la poursuite de son travail.



Thomas Bertelsen

Site du fossile de l'ichtyosaure, la rivière Sikanni Chief : le quadrillage repère les différentes parties de l'animal et correspond au découpage de la roche avant son enlèvement par hélicoptère pour étude au laboratoire. En haut, reconstitution d'un ichtyosaure.

Prairies sous dioxyde de carbone

Les prairies pourraient jouer le rôle de réserve de carbone, limitant ainsi l'effet de serre.

La concentration du gaz carbonique augmente. Elle est aujourd'hui supérieure d'un tiers à la valeur qu'elle avait avant l'ère industrielle, il y a quelque 100 ans, et d'après les prévisions, elle devrait doubler d'ici 50 ans, ce qui devrait se traduire par une hausse de la température moyenne de près de 3 °C. Jean-François Soussana et Pierre Loiseau du Centre de recherche de l'INRA de Clermont-Ferrand ont étudié les répercussions de ces changements climatiques sur la croissance de l'herbe dans les prairies. Ils en concluent que la production des prairies augmentera, de sorte que les éleveurs pourraient nourrir davantage d'animaux.

Les agronomes voulaient étudier les conséquences d'un doublement de la concentration en dioxyde de carbone et d'une augmentation de la température de 3 °C, les autres conditions climatiques restant inchangées. Pour ce faire, ils ont planté une espèce de graminée très commune dans les prairies françaises sur un sol limoneux initialement pauvre en matière organique. Ils ont protégé les plantations par trois «tunnels» de polyéthylène. Ils ont fait circuler dans deux des tunnels une concentration en dioxyde de carbone deux fois supérieure à la normale, et la température de l'un des tunnels était maintenue à 3 °C au-dessus de la température ambiante. Un des tunnels laissés dans les conditions ambiantes servait de référence.



Une parcelle de prairie a été exposée durant plusieurs mois à une concentration élevée en dioxyde de carbone ; le gaz était diffusé par des anneaux sur le couvert végétal. Le rendement a été amélioré, mais les caractéristiques biologiques des plantes ont été modifiées.

Afin d'évaluer comment les graminées absorbent l'azote sous concentration élevée en dioxyde de carbone, les agronomes ont stimulé la croissance de l'herbe à l'aide d'un engrais azoté. Puis, ils ont arrosé les prairies et imité la fauche et le pâturage en tondant à intervalles réguliers.

Que peut-on conclure de cette étude ? Pour les plantes, le dioxyde de carbone est une ressource puisqu'elles fabriquent leurs tissus grâce à la photosynthèse. Afin d'apprécier l'effet de l'accroissement de cette ressource, les agronomes ont étudié le cycle du carbone dans leurs prairies modèles. Pendant les deux ans et demi qu'a duré l'expérience, ils ont fait le bilan des échanges gazeux aériens et souterrains. Ils ont aussi suivi le trajet souterrain du dioxyde de carbone qui avait été marqué au carbone 13. Ces mesures montrent que la photosynthèse augmente et que les échanges entre le compartiment souterrain et l'atmosphère sont de plus en plus rapides et intenses. En réaction à l'augmentation du dioxyde de carbone atmosphérique, le sol stocke notablement plus de carbone. On en déduit que les prairies pourraient jouer un rôle de «puits de carbone».

Ces modifications du cycle du carbone s'accompagnent aussi d'un changement du cycle de l'azote dans le sol : la disponibilité de l'azote minéral pour les végétaux diminue et le développement de l'herbe et autres légumineuses est favorisé. Si le comportement des plantes évolue, leur valeur nutritive aussi. D'après diverses mesures, l'herbe qui pousse en présence d'une concentration supérieure en dioxyde de carbone contient plus de sucres solubles : elle a, par conséquent, une plus grande valeur énergétique, mais contient moins de protéines. Ces résultats ont été confirmés au cours d'une seconde expérience : des blocs de prairie semi-naturelle ont été exposés durant deux ans à une atmosphère contrôlée de dioxyde de carbone émis par des anneaux diffusant le gaz sur le couvert végétal (voir l'illustration).

Ainsi, l'effet de serre et le changement climatique qu'il provoque devraient augmenter le rendement d'une prairie du Massif central de quelque 20 pour cent, à condition que la pluviométrie ne change pas. Toutefois, ces résultats sont fondés sur des données expérimentales obtenues grâce à une augmentation brutale de la concentration en dioxyde de carbone. Or, loin d'être brusque, l'augmentation de cette concentration dans l'atmosphère s'étalera sur plusieurs dizaines d'années. Sur une telle période, les plantes évolueront, de même que les pratiques agricoles et celles des éleveurs. Quoi qu'il en soit, l'effet de serre aura sans doute des effets inattendus.

Le mystère du fond diffus

Les rayons X qui baignent le cosmos viendraient du cœur brillant des galaxies.

Dans les années 1960, dès les premières observations du rayonnement X interstellaire, avec des instruments embarqués dans des fusées, les astrophysiciens ont mis en évidence la présence d'un fond diffus : une émission continue de rayons X qui baigne tout le cosmos. Quelle en est l'origine ? Les rayons X sont libérés lors de phénomènes qui mettent en jeu des énergies énormes, où les températures sont comprises entre un million et 100 millions de degrés. Le rayonnement du fond diffus est-il émis par une multitude de sources ponctuelles que l'on n'a pas encore repérées ou est-il émis par le gaz chaud qui est présent entre les amas de galaxies ? Les données transmises par le satellite XMM-Newton et qui ont été étudiées par Philippe Ferrando et ses collègues, du Service d'astrophysique du Commissariat à l'énergie atomique de Saclay, confirment la première hypothèse et nous éclairent sur la nature des sources ponctuelles.

Depuis 30 ans, les astrophysiciens ont essayé de détecter des sources ponctuelles de rayons X dont la sommation des émissions reconstituerait le fond diffus. Toutefois, dans notre Galaxie, des nuages de gaz absorbent les rayons X de faible énergie (inférieures à un kiloélectronvolt). Les observations se sont donc portées sur une région du ciel, où le gaz interstellaire est moins dense : le «pointé de Lockman», dans la constellation de la Grande Ourse, qui, en absorbant peu de rayons X de faible énergie, autorise une analyse sur une large gamme d'énergie.

Les satellites qui ont précédé XMM-Newton ont détecté des sources ponctuelles responsables de 80 à 90 pour cent du fond diffus dans la gamme des faibles énergies (de 0,5 à 2 kiloélectronvolts) et de 30 pour cent, des énergies moyennes et hautes (entre 2 et 5 kiloélectronvolts pour les énergies moyennes et entre 5 et 10 pour les énergies élevées). Avant XMM-Newton, on ignorait l'origine des 10 pour cent de faibles énergies et des 70 pour cent des énergies moyennes et élevées restants.

Les rayons X sont très pénétrants et traversent les miroirs de détection des télescopes, sauf pour des incidences

rasantes : plus les rayons X sont énergétiques, plus leur incidence doit être rasante sur les miroirs pour qu'ils soient réfléchis et détectés au lieu d'être absorbés. Pour les rayons X de haute énergie, la surface efficace des miroirs de détection des télescopes est petite, de sorte qu'on les détecte moins bien que les rayons X de faible énergie. Grâce à sa grande surface de détection – qui lui confère une sensibilité exceptionnelle – le satellite XMM-Newton est capable de détecter des sources ponctuelles d'intensité 20 fois plus faibles que ses prédécesseurs. On a ainsi dénombré et identifié plusieurs nouvelles sources ponctuelles de rayons X, de faible, mais aussi de haute énergie. Aujourd'hui, grâce aux données acquises par XMM-Newton, on a détecté les sources qui produisent 60 pour cent du fond diffus de haute énergie : à lui seul, ce satellite a repéré autant de sources de rayons X de hautes énergies que tous les satellites qui l'avaient précédé.

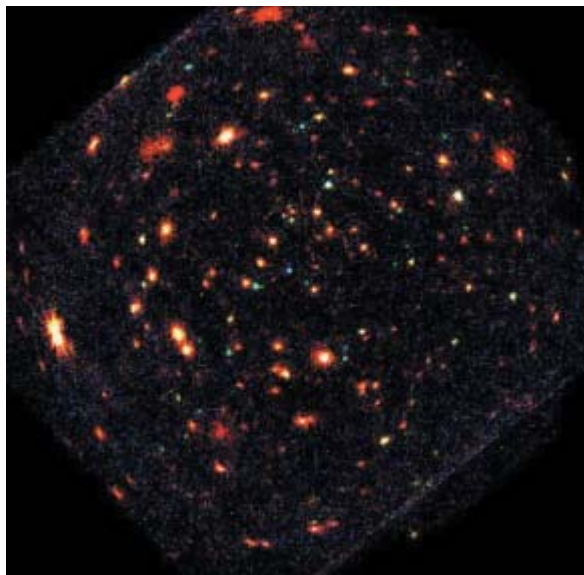
D'après l'analyse des données fournies par le satellite, ces sources

seraient des trous noirs situés au centre de certaines galaxies, dont la masse correspondrait à plusieurs centaines de millions de fois la masse du Soleil. Ces trous noirs attireraient de la matière, qui

s'échaufferait à mesure qu'elle serait attirée et émettrait des rayons X de haute énergie. De fait, ils apparaissent comme des cœurs « brillants » (dans le domaine X) au centre des galaxies.

Les astrophysiciens pensent que les sources de rayons X de haute énergie au centre des galaxies sont les mêmes que les sources de rayons X de basse énergie, mais observées sous des angles différents. La matière qui entoure les trous noirs est répartie sur un anneau et absorbe les rayons X de basse énergie : vus à travers cet anneau, les cœurs brillants seraient des sources de rayons X de haute énergie, mais observés « de dessus », ils constitueraient des sources de faible énergie.

L'origine d'une fraction du rayonnement diffus reste mystérieuse. Il provient sans doute de sources ponctuelles de faible intensité dont XMM-Newton révélera peut-être la présence, lorsqu'il fera des observations plus longues, dans la direction du pointé de Lockman.



Le satellite XMM-Newton, qui détecte les rayons X (en rouge pour les basses énergies et en vert et bleu pour les hautes énergies) a révélé que 60 pour cent du fond diffus de haute énergie provient du cœur actif des galaxies.

Hasinger et al. Astronomy and Astrophysics

Le puffin cendré

L'analyse de la disparition annoncée, mais évitée, d'une population d'oiseaux.

Pour respecter la tradition, une vingtaine d'habitants des îles Madère s'embarquent, chaque automne, pour les îles Salvages, situées à 300 kilomètres au Sud de Madère. Ils y prélèvent environ 25 000 poussins de puffins cendrés dont ils apprécient la chair, et dont ils utilisent les plumes pour fabriquer des fleurs artificielles et des édredons ; le contenu stomacal gras des oisillons est, en outre, réputé excellent pour le nettoyage des cuivres.

Jusque dans les années 1960, la population de puffins restait stable : elle était estimée à quelque 200 000 oiseaux. Puis, la population a commencé à s'effondrer. À partir de 1968, Christian Jouanin, Francis Roux et Jean-Louis Mougin, du Muséum national d'histoire naturelle, ont entrepris d'étudier la démographie et les mœurs de ces oiseaux (un mètre d'envergure pour un poids d'environ un kilogramme), afin d'expliquer le dépeuplement de cette population. Simultanément, des mesures de protection étaient prises pour la sauvegarde des derniers individus.

Pendant plus de 20 ans, les trois ornithologistes ont bagué des milliers de poussins et d'adultes, et marqué environ 500 nids dont tous les occupants étaient identifiés. Grâce aux milliers de données recueillies, on connaît aujourd'hui la plupart des aspects de la biologie de ces oiseaux. Ils commencent à se reproduire vers neuf ans. Les adultes passent la quasi-totalité de leur vie au-dessus des flots et ne reviennent à terre que pour se reproduire : chaque année, ils retrouvent le même partenaire et le même nid.

En fin de croissance, les poussins s'envolent en quête de nourriture. Beaucoup ne survivent pas à ce brusque passage du confort à l'autonomie : moins de deux pour cent des œufs donneront un adulte reproducteur, bien que ces oiseaux n'aient guère de prédateurs.

Aujourd'hui que l'on connaît mieux la vie de ces puffins, peut-on expliquer la chute de population observée dans les années 1960 ? L'étude a révélé qu'elle avait été la conséquence d'un prélèvement abusif d'adultes qui s'était ajouté à la récolte habituelle des poussins. Le prélèvement de poussins, parce qu'il diminue la concurrence alimentaire, favorise la survie des pous-

sins épargnés par l'homme. Ainsi la tradition ne menaçait pas l'écosystème, jusqu'au jour où l'homme a commencé à chasser aussi les adultes. Les adultes se reproduisent peu, le début de la période de reproduction est tardif, peu de poussins survivent : l'élimination des adultes reproducteurs a failli faire disparaître l'espèce. Depuis 1975, les îles sont protégées et la population de puffins cendrés est remontée à 30 000 individus, mais, aujourd'hui, ils sont menacés par la pêche palangrière : ils se blessent sur les longues lignes munies de nombreux hameçons tirées par les bateaux de pêche.



La mer en éprouvette

On optimise les conditions de «culture» du plancton.

Avoir la main verte dans la culture du plancton ne relève plus de la chance. La croissance du phytoplancton semble dépendre d'une alchimie complexe, mais, en réalité, elle est surtout fonction de l'éclairement, de la température et des ressources nutritives. Les conditions optimales de la croissance du phytoplancton sont étudiées par Antoine Sciandra et son équipe de la Station zoologique de Villefranche-sur-Mer.

En mer, les courants, le vent et les variations d'ensoleillement, difficiles à mesurer, rendent l'étude de la croissance du phytoplancton quasi impossible. Les biologistes ont donc mis au point un dispositif, une sorte de bioréacteur, où la température, le débit des éléments nutritifs (sels minéraux, nitrates et phosphates) et la luminosité sont précisément contrôlés. Ce «chémostat» automatisé n'est pas une simple marmite, où le plancton se développe jusqu'à épuisement des ressources. Dans ce montage, le chémostat fonctionne en circuit ouvert : il est renouvelé en continu par une eau riche en sels nutritifs qui alimente les organismes phytoplanctoniques

recupérés dans le trop plein, et il est purgé automatiquement de quelques millilitres toutes les 15 minutes. Un compteur laser dénombre les cellules, et mesure leur taille (comprise entre cinq et dix micromètres) ; on en déduit à quelle biomasse cela correspond. Un colorimètre évalue aussi régulièrement la quantité résiduelle d'éléments nutritifs. D'autres paramètres, telle la teneur en azote, sont déterminés d'après les mesures réalisées sur le chémostat et d'après des modèles de croissance du plancton. Ces «capteurs logiciels» ont été mis au point avec l'équipe de Jean-Luc Gouzé de l'INRIA, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique. Au bout de quelques heures, la biomasse et le surplus nutritif ne varient plus, car le milieu a atteint un état d'équilibre. On modifie alors l'un des paramètres, la température par exemple, pour perturber l'équilibre et suivre son évolution. Cette transition correspond à l'adaptation du plancton aux conditions variables qu'il subit en mer.

Les biologistes ont ainsi établi les conditions optimales de croissance de cinq espèces de plancton parmi les quelque 3 000 répertoriées. Ces informations seront utiles pour l'optimisation de la production du phytoplancton dans les bassins d'aquaculture : il est si difficile à récolter en mer qu'il est plus rentable de le «cultiver». Il sert à l'alimentation des poissons d'aquaculture et on en extrait des produits utili-



La membrane d'*Emiliania huxleyi* (cinq micromètres de diamètre) est couverte de petites structures en carbonate de calcium qui sédimentent au fond de l'océan après la mort du micro-organisme.

sés dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique.

Enfin, les biologistes cherchent à estimer l'impact de l'augmentation dans l'atmosphère du dioxyde de carbone sur la biomasse marine : les océans absorbent de grandes quantités de dioxyde de carbone, qui est assimilé et transformé par le plancton. Ainsi, *Emiliania huxleyi* fabrique, en métabolisant le dioxyde de carbone atmosphérique, des minuscules «carapaces» de carbonate de calcium qui s'accumulent au fond des océans. Pourrait-on envisager d'utiliser le phytoplancton pour piéger davantage de dioxyde de carbone et lutter ainsi contre l'effet de serre ?

La vigne du Collège

La vigne du Collège de France sauva-t-elle le vignoble français du phylloxéra?

L'histoire de la vigne qui continue de prospérer sur la façade d'une cour intérieure du Collège de France appartient au folklore du célèbre établissement. Question : cette vigne est-elle historique ? Est-elle, comme l'affirme une rumeur persistante, le premier plan américain, résistant au phylloxéra, qui sauva le vignoble français, au XIX^e siècle ?

Le fléau du phylloxera apparut pour la première fois en France en 1864. Les vignes dépérissaient inexorablement, mais on en ignorait la cause. L'insecte reconnu coupable de cette catastrophe ne fut identifié qu'en 1868. Avant d'atteindre sa forme ailée, le phylloxéra, un minuscule puceron, se développe sur les racines de la vigne et s'en nourrit jusqu'à la mort de la plante. En 1874, le tiers du vignoble français avait disparu. Grâce à l'utilisation, comme porte-greffe, de plans

américains qui résistaient aux attaques de l'insecte, la reconstitution du vignoble commença en 1880. Elle ne fut complète qu'après la Première Guerre mondiale.

Quel rôle jouèrent les professeurs du Collège de France dans ce long combat ? Il existe, aux archives de l'institution, trois photographies anciennes de la vigne historique. Une légende collée sous les deux premières est sans équivoque : «Cep de vigne américain, le premier qui ait été planté en France lors de l'invasion du phylloxéra. Planté en 1874 par Balbiani, il a servi aux expériences de ce savant et de son collaborateur Hennequy, dont les travaux ont grandement contribué à sauver le vignoble français.» Édouard Balbiani (1825-1899) et Félix Hennequy (1850-1928) ont tous les deux été professeurs d'«embryogénie» comparée au Collège de France, le premier de 1874 à 1899, et le second de 1900 à 1928.

La troisième photographie porte une annotation un peu différente : «Vigne américaine (côté Ouest de la cour) *Vitis lambrusca* plantée par Hennequy.» Ainsi, il y eut au moins deux vignes «historiques» du Collège de France, et la vigne Est, à l'emplacement de la seule qui subsiste,

était d'origine française. La vigne américaine qui était plantée dans la partie Ouest de la cour, c'est-à-dire du côté de la rue Saint-Jacques, a disparu depuis longtemps. Enfin, on sait que les premiers plants de vigne américains furent introduits dans le Bordelais dès 1840, bien avant Hennequy et Balbiani. Ce sont même ces plans qui apportèrent en France le diabolique puceron. Bien plus tard, on s'aperçut que ces vignes infectantes résistaient elles-mêmes au parasite et pouvaient fournir des porte-greffe salvateurs.

Ainsi, il y a de fortes chances pour que la vigne de l'Académie ne soit pas celle qui sauva le vignoble français.

Jean JACQUES

