

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.

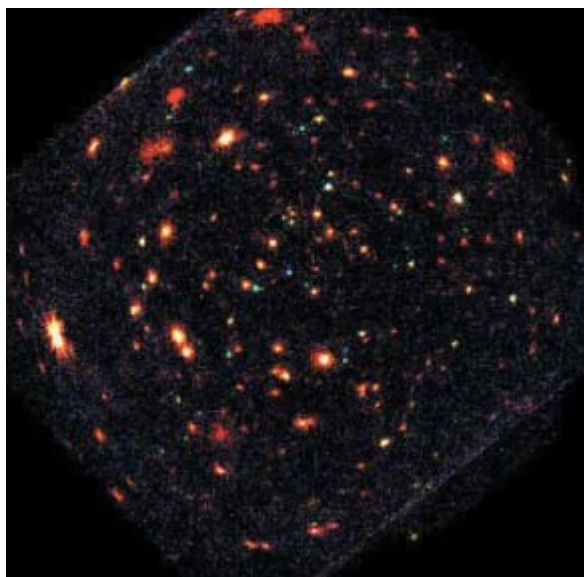
D'après l'analyse des données fournies par le satellite, ces sources

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 édre-dons ; 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 dépérissement 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

récupérés 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



Les termitières, engrais naturels

Les excréments des termites qui se nourrissent d'humus fertilisent les sols tropicaux.

Dans les milieux tempérés, on ne compte que cinq espèces de termites, considérés comme nuisibles, car ils rongent le cœur du bois et endommagent les charpentes des maisons. En revanche, dans les milieux tropicaux, on dénombre plus de 2 300 espèces de termites, dont plus de la moitié sont des termites humivores, c'est-à-dire vivant dans le sol et se nourrissant des matières organiques qu'il contient. Plus de 10 000 termites par mètre carré colonisent parfois le sol des forêts. Quel est l'impact de ces insectes sur les écosystèmes tropicaux ? À l'Institut de recherche pour le développement de Dakar, nous avons montré que les termites humivores participent au maintien de la fertilité des sols.

Nous avons mesuré les concentrations en carbone, en azote et en phosphore au voisinage des termitières d'une espèce qui vit dans les savanes arides tropicales du Sénégal (*Cubiterme niko-loensis*). Les concentrations en carbone et en azote sont cinq à sept fois supérieures à celles du sol environnant. Les termites mangent le sol, puis le broient dans leur gésier. Le broyat tra-

verse le tube digestif, où il subit une attaque basique (le pH est compris entre 10 et 12). La matière organique du sol est principalement constituée de macromolécules, qui sont dégradées. Les bactéries découpent les protéines dégradées en fragments encore plus petits qui, mélangés à des particules minérales dans les excréments, servent de matériau de construction pour les termitières. C'est là que se concentrent les matières organiques que les termites ont ingérées.

De plus, dans les termitières, les concentrations en bactéries sont dix fois supérieures à la normale, et ces communautés bactériennes sont plus variées que celles du sol des savanes qui les entoure. Ce sol est pauvre en matière organique laquelle est, de surcroît, sous forme de macromolécules que les bactéries ne peuvent pas directement utiliser. Afin de survivre dans ce type de sol, la plupart des bactéries adoptent une forme « dormante ». La seule présence de nourriture, apportée par les vers de terre, dans les milieux tempérés, et par les termites dans les milieux tropicaux, notamment dans les savanes arides, suffit à les « réveiller ».

Ainsi, les termites humivores participent à la fertilisation des sols pauvres et arides des savanes, favorisent le développement de la faune microscopique, piègent la matière organique dans les termitières, la rendant plus accessible aux plantes, et favorisent la résistance des sols à l'érosion et au lessivage : ces insectes ont un rôle bénéfique dans les écosystèmes tropicaux.

Alain BRAUMAN, IRD Sénégal

Quand les poissons avaient des dents...

Les conodontes, enfin classés dans la famille des poissons.

Les conodontes sont des petits fossiles phosphatés en forme de denticules âgés d'environ 206 à 500 millions d'années. Grâce à leur évolution rapide, on les utilise en biostatigraphie, c'est-à-dire qu'ils permettent de dater les roches qui les contiennent. Les conodontes ne sont que des constituants isolés d'organismes que mangeaient des animaux plus imposants. À qui appartenaient ces denticules ? Trois paléontologues britanniques, Peter Donoghue, Philip Forey et Richard Aldridge, ont déterminé les liens de parenté des conodontes en rassemblant toutes les connaissances déjà acquises.

Au fil du temps, on les a affiliés à toutes les branches de l'arbre de l'évolution. Puis, dans les années 1980, on a découvert que les conodontes formaient l'appareil masticateur d'un animal qui ressemblait à une petite anguille. Ainsi, les conodontes (le nom des fossiles est devenu celui des animaux) étaient des chordés, des animaux qui ont, à un moment de leur vie, une baguette squelettique axiale, au-dessus du tube digestif. Ils avaient deux gros yeux, des poches branchiales, une musculature du tronc développée, une notochorde, ancêtre de la colonne vertébrale ainsi qu'une nageoire caudale. Toutefois, les chordés représentent un vaste ensemble comprenant les tuniciers, les myxines et les lamproies (les seuls poissons actuels sans mâchoires), ainsi que tous les autres vertébrés ; la place des conodontes au sein de cet ensemble demeurait imprécise, malgré la découverte de nouveaux spécimens complets. Pourquoi la question préoccupe-t-elle les paléontologues ? Si les conodontes sont de vrais vertébrés, leur appareil masticateur pourvu de dents expliquerait l'origine de certains os et des dents.

Cette étude repose sur une analyse cladistique, une méthode qui regroupe



Dents de conodontes (1,2 millimètre de hauteur).



Une termitière de l'espèce *Cubiterme nikoloensis* dans la savane. Elle mesure environ 50 centimètres de diamètre.