

## Microlentille

**Une lentille gravitationnelle détectée dans la direction du Petit Nuage de Magellan.**

**D**epuis les années 1930, des mesures de la masse des galaxies et des amas de galaxies ont montré que la plus grande partie de cette masse n'émettait pas de lumière. Seuls ses effets gravitationnels sur des corps lumineux trahissent sa présence. Cette matière sombre, située dans le halo des galaxies, serait constituée de matière exotique, des particules dont la nature reste à découvrir, et de matière ordinaire, sous la forme de petites étoiles non lumineuses, de naines brunes, de petites étoiles à neutrons, de trous noirs ou encore de nuages de gaz et de poussières.

Comment détecter la matière sombre ordinaire, alors qu'elle n'émet pas de lumière ? Par un effet de lentille gravitationnelle : comme une lentille optique, un objet massif dévie la lumière. Ainsi, lorsqu'un tel objet traverse la ligne de visée entre un observateur et une étoile lointaine, les rayons lumineux de l'étoile sont temporairement focalisés : on détecte une amplification de la lumière reçue, dont la durée augmente avec la masse de l'objet sombre et décroît avec la vitesse de passage de l'objet dans la ligne de visée. Cette durée dépend aussi de la distance. Comme l'effet n'apparaît que si l'alignement entre l'étoile lointaine et l'objet massif est parfait, la probabilité d'observer une telle amplification est faible.

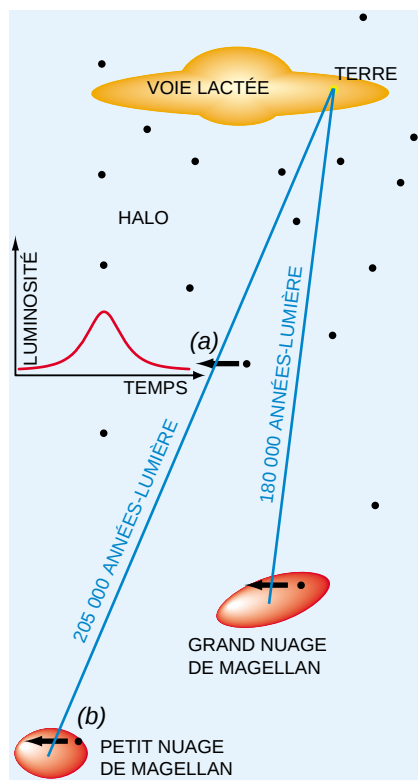
Depuis six ans, pour sonder le halo de notre Galaxie, la Voie lactée, plusieurs équipes surveillent quelques millions d'étoiles de deux galaxies voisines, le Grand Nuage de Magellan, situé à 180 000 années-lumière du Soleil, et le Petit Nuage de Magellan, situé à 205 000 années-lumière, en espérant que les objets massifs du halo passeront devant ces étoiles.

Deux expériences ont étudié le Grand Nuage de Magellan. La première, qui recherchait les objets de masse 1 000 à dix millions de fois inférieure à la masse du Soleil, n'a trouvé aucune lentille. La seconde, qui recherchait les objets plus massifs, détecta huit microlentilles, toutes avec des durées d'amplification inférieures à une semaine. En combinant ces résultats avec ceux d'autres équipes, on estima que moins de 20 pour cent de la matière du halo est sous la forme de naines brunes, des astres trop légers pour briller comme les étoiles. Les résultats sont éga-

lement compatibles avec un halo peuplé pour la moitié de sa masse d'objets sombres d'environ 0,5 masse solaire. Pour l'instant, on ignore la nature d'objets invisibles d'une telle masse.

En juin 1997, nous avons, en même temps que l'équipe MACHO, décelé la première lentille gravitationnelle dans la direction du Petit Nuage de Magellan. La durée d'amplification est plus de deux fois supérieure à celles qui étaient mesurées dans le Grand Nuage. De quel objet s'agit-il ? Si la lentille d'où résulte l'amplification de luminosité est située dans le halo de notre Galaxie, sa masse serait comprise entre deux et trois masses solaires. Un objet invisible d'une telle masse ne pourrait être qu'un trou noir ou une étoile à neutrons. En revanche, si la lentille qui a créé cette amplification appartient au Petit Nuage de Magellan. La longue durée de l'amplification résulterait de la faible vitesse relative de la lentille par rapport à l'étoile source. La lentille serait alors une étoile ordinaire d'environ un dixième de la masse du Soleil.

Seules des mesures supplémentaires et une comparaison statistique entre la direction du Grand et du Petit Nuage per-



**Notre Galaxie est baignée dans un halo de matière en mouvement. Lorsque des condensats sombres (points noirs) passent devant des étoiles lointaines, comme celles de galaxies voisines, leur lumière est concentrée et on mesure une amplification momentanée. Dans la direction du Petit Nuage de Magellan, on a détecté une telle amplification, mais on ignore encore l'emplacement de l'objet sombre : dans le halo (a) ou dans cette petite galaxie (b) ?**

## BRÈVES

**3,14159.....0123456789...**

Le mathématicien Luitzen Brouwer n'admettait pas les propositions qu'aucune méthode ne permet de prouver ou d'infirmer. Comme on ne pouvait alors déterminer la présence de la suite 0123456789 dans la suite des décimales de  $\pi$ , il excluait la proposition : « La suite 0123456789 est présente dans les décimales de  $\pi$ . » La question a été résolue par Y. Kanada et D. Takabashi : la suite 0123456789 arrive à la 17 387 594 880 ième décimale de  $\pi$ .

**L'eau sur la Lune rebondit**

Fin 1996, la sonde *Clementine* découvrait de la glace dans un cratère du pôle Sud lunaire. Quelques mois plus tard, des observations au radiotélescope d'Arecibo infirmaient ce résultat. Aujourd'hui, nouveau rebondissement : la sonde *Lunar Prospector*, en orbite autour de la Lune depuis janvier 1998, annonce la découverte de glace, non seulement dans des cratères du pôle Sud, mais aussi au pôle Nord. Les mesures du spectromètre à neutrons indiquent que sa quantité totale est comprise entre 10 et 300 millions de tonnes.



**De longues batteries**

Le succès des téléphones portables est limité par leur faible autonomie : quelques heures avec des batteries au cadmium-nickel. Dotés de piles à combustible (alimentées au méthanol, par exemple), ces appareils pourraient fonctionner pendant plus de quatre mois sans interruption.

**Planète rouge**

La dizaine de planètes extrasolaires que l'on a découvertes ces dernières années étaient toutes autour d'étoiles jeunes. Toutefois des astronomes hollandais ont observé un disque de poussières, analogue à celui que l'on observe autour de ces étoiles, autour d'une étoile riche en oxygène, et donc déjà évoluée. La composition du disque, riche en molécules qui contiennent de l'oxygène, dont du dioxyde de carbone et des silicates cristallins, suggère que des planètes s'y forment. Même les vieilles étoiles ont des enfants...

Suite page 22

### Des clones partout

Alors même que l'INRA annonce le clonage de bovins, des associations préconisent le clonage de personnages célèbres. Un groupe d'Américains voudrait cloner Elvis Presley, et des chrétiens préconisent le clonage de Jésus à partir de cellules prélevées sur le suaire de Turin.

### Palindrome

John Baxter, qui a étudié le cri de plus de 800 animaux, affirme que 12 pour cent de ces cris sont «palindromiques» : le son inversé temporellement est identique au son émis. Selon lui, il s'agirait d'un avantage adaptatif, car ces cris symétriques sont plus faciles à retenir. De même, a-t-il observé, le cri de Tarzan serait un palindrome.

### Plus frais au fond

Des météorologues de l'Université de Grenoble ont collaboré avec des océanographes du Havre afin d'explorer le gradient thermique de l'atmosphère.



L'équipe de Grenoble s'est placée en altitude et a utilisé des tuyaux de diverses longueurs (entre 100 mètres et deux kilomètres) pour aspirer des échantillons d'air qui étaient tous analysés en un même site. Le résultat est sans appel : au ras de l'océan comme au fond des vallées, les couches basses de l'atmosphère sont plus froides.

### Football sur l'Internet

Les lents débits de transmission sur le réseau Internet y empêchent les retransmissions dans de bonnes conditions. Aussi, une société israélienne a mis au point un système qui permettra aux fans de suivre les matchs de leur équipe de football préférée. Un radar suivra l'évolution des joueurs aux maillots desquels un transpondeur de la taille d'une carte de crédit sera cousu. Un ordinateur, qui sait ainsi où se trouve chaque joueur, crée une modélisation tridimensionnelle du jeu.

### Rideaux d'air

Un rideau d'air, mis au point par le Centre scientifique et technique du bâtiment, arrête les écoulements de fumée et de polluants. Pour ce faire, la vitesse du jet est ajustée en fonction de la différence de pression à contrer et de la hauteur du couloir. Ces rideaux serviraient également pour isoler les guichets de passage des autoroutes.

Suite page 24

mettront de trancher entre ces deux hypothèses. La détection d'amplifications de durées similaires en direction du Grand Nuage de Magellan montrera que les caractéristiques des lentilles sont indépendantes de la direction, et l'on pourra conclure que le halo contient des objets massifs, tels des étoiles à neutrons ou des trous noirs de quelques

masses solaires. En revanche, si les lentilles appartiennent aux Nuages de Magellan, les durées d'amplification mesurées devraient être inférieures dans la direction du Grand Nuage, puisque celui-ci étant le plus massif, les étoiles s'y déplacent plus rapidement.

E. AUBOURG, N. PALANQUE et M. SPIRO  
CEA-Saclay, collaboration EROS

## Les insectes, indicés d'un genre nouveau?

*Les insectes révéleraient l'état des milieux... s'ils étaient plus étudiés.*

**B**iodiversité est un maître mot : elle est menacée, à l'échelle mondiale, par la disparition des forêts tropicales, l'accroissement de la population et l'urbanisation, l'agriculture et l'élevage intensifs, la pollution, etc. La prise de conscience des enjeux liés à la biodiversité a conduit de nombreux pays à protéger certains territoires ou certaines espèces. Une telle protection présente de considérables difficultés politiques, économiques, juridiques, techniques ou scientifiques.

Certaines d'entre elles trouvent rarement écho dans les médias. Avant de protéger un territoire ou une espèce, il faut diagnostiquer son intérêt. Et là, les choses se corsent dès que l'on sort du cas des forêts tropicales – dont la richesse biologique est évidente – ou de celui d'espèces rares et spectaculaires (tigres,

pandas, baleines et autres gros mammifères ou oiseaux).

En particulier, la plupart des inventaires de flore et de faune que l'on a réalisés pour évaluer la biodiversité et la qualité biologique d'un milieu naturel font peu ou prou l'impasse sur les insectes (et les invertébrés en général). Pourtant avec quelque 900 000 espèces décrites – et sans doute des millions encore inconnues –, les insectes représentent de loin le groupe le plus important du vivant. Ce paradoxe était la toile de fond d'un colloque organisé par l'AIDEC (Association internationale des entretiens écologiques) et l'UEF (Union de l'entomologie française).

Comment expliquer la part aujourd'hui insuffisante des insectes dans la gestion de l'environnement? Une difficulté essentielle tient à l'énorme diversité de ce groupe. Pour la France seule, on connaît environ 36 000 espèces. Or, «à part quelques espèces facilement reconnaissables, l'identification précise d'un spécimen nécessite le recours à un spécialiste», rappelle l'entomologiste Lucien Leseigneur. Sachant que même un spécialiste ne peut connaître en détails plus de quelques centaines d'espèces, qu'il s'agit souvent des mêmes



M. Mashaal

Pour estimer la qualité écologique d'un milieu aquatique, on établit l'inventaire d'insectes exigeants vis-à-vis de leur habitat, notamment certaines libellules (ici une femelle de l'espèce *Cordulia aenea*).

groupes (coléoptères, papillons, insectes vecteurs de maladies, etc.), que l'entomologie est depuis longtemps délaissée par les organismes de recherche, on devine la pénurie d'experts auxquels les instances environnementales voudraient faire appel. «Les entomologistes professionnels sont peu nombreux et ne sont pas très disponibles, et les amateurs [quelques milliers en France] sont vite surchargés», résume L. Leseigneur.

S'ajoutent des problèmes d'ordre scientifique. Prendre en compte les insectes dans l'évaluation écologique d'un milieu, d'accord, mais lesquels ? Faut-il dénombrer uniquement les espèces rares ? Celles qui sont sensibles à la pollution ? Choisir des représentants de tous les groupes d'insectes ? Se limiter au genre ou à la famille, comme le préconise Philippe Richoux (Université de Lyon I), ce qui allégerait le travail d'identification ?

Malgré les nombreuses questions en suspens, des listes d'insectes bio-indicateurs existent, pour les zones humides et les forêts notamment ; d'autres types de milieux pourraient suivre. Par exemple, la présence de certaines guêpes parasites d'insectes nuisibles pourrait être mesurée pour jauger la santé des olive- raies du Midi, comme le montrent des travaux d'André Panis (INRA, Antibes). Toutefois, les connaissances – et donc les listes d'espèces indicatrices de la qualité d'un milieu – sont encore lacunaires. Pour améliorer la situation, il faut, selon Jean-Claude Lefeuvre, écologue au Muséum de Paris, que les entomologistes français «s'organisent et s'insèrent dans les programmes de recherche pluridisciplinaires sur les écosystèmes».

La balle n'est pas seulement dans le camp des entomologistes. Pour ces derniers, une gestion «écologiquement cor-

recte» des milieux (naturels ou non) demande que les acteurs de l'environnement – y compris les forestiers, les agriculteurs, les aménageurs en tous genres – soient conscients de l'importance du rôle des petites bêtes. Malgré quelques progrès, les entomologistes pensent qu'il y a encore fort à faire.

Les enjeux dépassent le cadre de la seule biodiversité. L'exemple de l'Australie est symptomatique : l'introduction, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, des vaches et des chevaux y a provoqué une catastrophe. Pourquoi ? Parce que les insectes bousiers autochtones sont adaptés aux bouses de kangourous, pas à celles de vaches... Résultat : les bouses, privées de recycleurs, ont recouvert les prairies. En 1978, on estimait la perte associée de pâturages à un million d'hectares par an !

Maurice MASHAAL

## Attracteurs d'onde

**Dans un milieu stratifié avec un fond incliné, les ondes s'organisent le long de trajectoires fermées.**

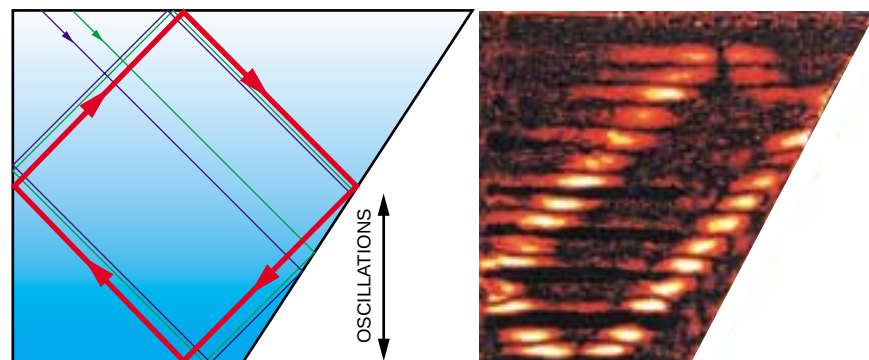
Si la houle agite la surface de l'océan, des ondes dites internes se propagent également sous la surface en raison des variations verticales de la densité de l'eau. Elles pourraient circuler en boucle : dans une cuve avec une paroi inclinée, où les ondes sont excitées par des vibrations, nous observons que les réflexions de ces ondes leur font suivre des trajectoires qui se rapprochent de circuits déterminés, nommés attracteurs.

Les ondes internes sont connues dans l'atmosphère, où elles sont engendrées par le passage des masses d'air sur les reliefs : parfois les nuages se condensent dans les zones d'ascendance et révèlent les crêtes de ces ondes. Ces ondes résultent des variations de densité : comme la densité diminue avec l'altitude, une petite quantité d'air poussée vers le haut a tendance à redescendre, car sa densité est supérieure à celle de la zone où elle arrive ; inversement, une petite quantité d'air poussée vers le bas subit une poussée d'Archimède qui la fait remonter. Toutefois ces rappels engendrent des oscillations, à une fréquence caractéristique de la variation de densité, de la même façon que l'oscillation d'une masse accrochée à un ressort est caractéristique de sa raideur.

Si la masse oscille sur un plan incliné, la fréquence d'oscillation est réduite ; de même, une onde interne a une fréquence réduite quand elle se propage obliquement. Pour une variation de densité donnée, l'angle de propagation dépend uniquement de la fréquence.

Si l'océan ou l'atmosphère semblent des espaces infinis, un bras de mer ou un lac sont des milieux de densité variable (en raison des variations de température ou de salinité), où les ondes sont confinées par réflexion entre la surface et le fond. Généralement, le confinement d'ondes engendre un système d'ondes stationnaires : une corde de violon vibre à une fréquence fondamentale et aux fréquences multiples de cette fréquence fondamentale. En effet, le milieu n'oscille efficacement qu'à des fréquences précises, parce que les ondes résultant des réflexions successives n'interfèrent de façon constructive qu'à ces modes propres d'oscillation.

Lorsque des ondes internes se propagent dans un milieu où la densité varie, à l'intérieur d'une cuve avec une paroi inclinée, cette organisation en modes propres disparaît au profit d'une organisation différente qui résulte des propriétés particulières de réflexion. En effet, la fréquence des ondes qui se réfléchissent sur une paroi fixe est inchangée au cours de la réflexion ; comme l'angle de propagation des ondes internes par rapport à la verticale dépend de la fréquence, cet angle reste donc inchangé ; l'angle de réflexion est alors différent de l'angle d'incidence, et les ondes forment des structures complexes, organisées autour d'un attracteur, un circuit géométrique sur lequel les ondes se focalisent par ré-



Des ondes internes se propagent dans de l'eau salée quand on fait osciller verticalement une cuve où la densité augmente avec la profondeur. La direction de propagation dépend de la fréquence des oscillations : dans le schéma (à gauche), les oscillations excitent uniquement les ondes qui se propagent avec un angle de 45 degrés par rapport à la verticale. Ainsi, deux ondes qui suivent des trajectoires différentes se rapprochent et parcourent l'attracteur (en rouge). Dans les expériences, la fluorescence d'un colorant excité par un laser (à droite) révèle l'attracteur.

**La préhistoire tirée par les cheveux**

Dans sa vie, un homme perd en moyenne 400 000 cheveux ; dans un milieu favorable, ils pourraient se conserver très longtemps. Jean Clottes, du Ministère de la Culture, et Robson Bonnichsen, de l'Université de Corvallis, ont prélevé des sédiments de 25 000 à 13 000 ans environ, dans les grottes d'Enlène, en Ariège, de Troubat, dans les Hautes-Pyrénées, de Brasse-

pouy, dans les Landes, et de Combe Saunière, en Dordogne, autrefois fréquentées par l'homme. Une douzaine de poils et de cheveux ont déjà été isolés, dont deux ou trois seraient humains. Est-ce la naissance de l'hirsutologie ?

**Dyslexie**

Depuis quelques années, on pensait que les dyslexiques avaient des difficultés à reconnaître les phonèmes, les briques constitutives du langage, ce qui les gênait pour lire. En utilisant la résonance magnétique fonctionnelle pour étudier des sujets qui effectuaient des analyses phonologiques, Sally Shaywitz et ses collègues de l'Université Yale ont observé que les régions postérieures du cerveau, où le langage est traité, sont moins actives chez les dyslexiques. La mise en évidence de cette signature pourrait favoriser le diagnostic de cette difficulté de lecture.

**Des vaisseaux qui repoussent**

Lorsque les artères coronaires se bouchent, le cœur est menacé. Le remède est la greffe d'un morceau de veine ou d'une prothèse artificielle, mais ces greffes sont souvent fragiles. Une équipe allemande vient de tester l'injection d'un facteur de croissance des vaisseaux sanguins dans le muscle cardiaque de 20 patients, près d'un obstacle dans une artère : après une douzaine de jours, un réseau de capillaires fonctionnels était apparu entre l'artère et le cœur.

**Partenaires variables**

Les hommes avouent en moyenne 12 partenaires sexuels au cours de leur vie, et les femmes seulement trois. Même en tenant compte du déséquilibre démographique entre les deux sexes et du recours à la prostitution féminine, le compte n'y est pas. Selon Michel Bozon, de l'INED, les femmes ne comptent pas les partenaires occasionnels. Lorsque l'on demande plus précisément aux hommes de combien de femmes ils ont été amoureux au cours de leur vie, ils annoncent aussi un chiffre proche de trois.

flexions multiples sur les parois. Cette propriété particulière conduit les ondes à s'approcher de l'attracteur, puis à le parcourir en circuit fermé.

Comment vérifier cette prédiction théorique ? Nous avons empli d'eau salée une cuve carrée que nous avons ensuite fait osciller verticalement à l'aide d'un système de bielles. Les ondes internes sont excitées pour des fréquences de résonance précises, comme les vibrations d'une corde de violon. Au contraire, quand on ajoute une cale inclinée dans la cuve et que l'on examine la propaga-

tion des ondes internes à l'aide d'un colorant fluorescent excité par un laser, on voit l'attracteur attendu.

Le même phénomène pourrait se manifester dans les bassins naturels. L'attracteur définirait alors des zones de mélange turbulent, favorisant la vie en soulevant les éléments nutritifs déposés au fond. Certaines oscillations du noyau terrestre, constitué de métal liquide, ou d'étoiles produisent-elles également des attracteurs d'ondes ?

Dominique BENIELLI et Joël SOMMERIA,  
École normale supérieure de Lyon

**Gravure préhistorique**

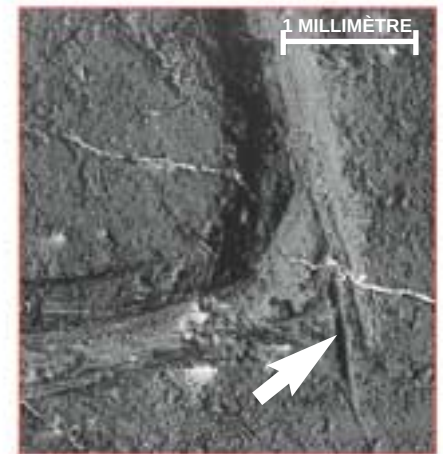
**Qualité technique et esthétique ne sont pas toujours associées.**

Comment évaluer la qualité des œuvres artistiques de la Préhistoire, apparues en Europe en même temps que l'homme moderne, il y a environ 40 000 ans ? L'étude de cet art paléolithique, dont les manifestations sur les parois des grottes ou sur les objets en pierre, os ou bois de cervidé, s'étendent sur 30 000 ans, repose souvent, sur des critères stylistiques : nous qualifions de « beau » un sujet bien proportionné et détaillé ; au contraire, le jugement est plus négatif lorsque le dessin est maladroit. Toutefois, ces œuvres que nous rangeons aujourd'hui avec admiration et respect dans le domaine de l'art résultent d'une suite de gestes techniques qui ont transformé un matériau naturel en objet décoré. L'examen des traces microscopiques laissées par les outils des artistes sur des objets en os permet de porter un jugement technique : la qualité du trait gravé ne reflète pas nécessairement la qualité esthétique du dessin.

Nous avons répété les gestes des graveurs préhistoriques à l'aide de supports en os et de silex contemporains. Nous avons ainsi répertorié les difficultés rencontrées et les erreurs techniques qui en résultent : résistance de la matière,

dérapages, accrochages d'outil... L'observation de ces gravures expérimentales au microscope électronique à balayage nous permet d'associer des traces microscopiques caractéristiques aux différents modes d'utilisation de l'outil en silex et aux accidents gestuels.

Puis nous avons recherché des traces microscopiques analogues sur 90 objets d'art mobilier de la période Magdalénienne du Sud-Ouest de la France (il y a 16 000 à 12 000 ans). Sur l'ensemble des pièces étudiées, il apparaît que la qualité de dessinateur n'est pas toujours associée à celle de parfait technicien. Des objets de bonne, voire de très bonne facture esthétique, comportent des indices microscopiques d'exécution maladroite. Au contraire, des objets au graphisme hésitant,



A. Roussel et C. Fritz

L'artiste qui a gravé ces deux rennes de façon très réaliste sur un fragment de côte ne maîtrisait pas complètement son outil : la photographie en microscopie électronique (en haut) indique que le trait est trop long (flèche) à la sortie de la croupe du premier renne.

tant ont été réalisés par des graveurs qui maîtrisaient bien le maniement de leurs outils. Un artiste expérimenté, maître du dessin, peut rencontrer des difficultés d'exécution, d'ordre purement technique ; en revanche, un médiocre dessinateur peut avoir maîtrisé le guidage de son outil à la surface de l'os.

Statistiquement, les dessins de figures dynamiques présentent plus de traces d'accidents (dérapages, accrochages d'outil). L'exécution d'animaux en mou-

vement est plus difficile pour le graveur, notamment la réalisation des courbes qui animent le sujet : l'artiste attaque les fibres osseuses perpendiculairement à leur orientation, ce qui accroît la résistance de la matière. Le graveur augmente donc la puissance de ses gestes et, dans ces moments critiques, l'outil peut échapper au contrôle de la main.

Ainsi, un fragment de côte, provenant du gisement de l'Abri Morin, en Gironde, conserve l'image soignée de deux rennes

courant en file, vers la droite. L'analyse microscopique confirme la première impression : les tracés sont fermes et bien appuyés, avec des bords réguliers. Néanmoins, on observe quelques accidents, conséquences d'accrochages d'outil et de dérapages. Les gravures sont le fait d'un graveur expérimenté, maîtrisant parfaitement le dessin, mais qui éprouve quelques faiblesses dans la réalisation des courbes.

Carole FRITZ, UMR 5608 du CNRS et Laboratoire des Musées de France

## Curiosités d'élevage

**C**onnus des éleveurs, les oiseaux «half-siders» ont des caractères appartenant à deux variétés différentes : on a vu des perruches ondulées qui étaient bleues d'un côté du corps, vertes de l'autre (voir la figure 1), des canaris mi-jaunes mi-blancs... Ce phénomène dont on explore aujourd'hui les causes génétiques n'est pas exceptionnel chez les oiseaux de cage, dont il existe des variétés de couleurs différentes. La séparation entre les deux moitiés est plus ou moins régulière, mais toujours nette. D'autres oiseaux ont des demi-livrées qui n'appartiennent pas à des variétés différentes, mais à des sexes opposés : le plumage est caractéristique du mâle, d'un côté, et de la femelle, de l'autre.

Ces oiseaux intéressent les généticiens, car on les a observés à la fois dans la nature (bouvreuil pivoine) et en laboratoire ; leur «gynandromorphisme réparti» a également été observé chez certains insectes, mais jamais chez les vertébrés. Quelle est sa cause génétique ? Le sexe est dû à des chromosomes sexuels, nommés aussi hétérochromosomes, parce qu'ils sont différents chez le mâle et chez la femelle. Dans l'espèce humaine, l'homme a ainsi les hétérochromosomes X et Y, tandis que la femme a X et X. Chez les oiseaux, c'est différent : le mâle a deux chromosomes X, et la femelle un seul. Lors du développement d'une femelle, une anomalie, au cours d'une division cellulaire embryonnaire peut engendrer une lignée de cellules ayant deux chromosomes X et une autre lignée ayant un seul chromosome X.

De même, des perruches ondulées mi-bleues mi-vertes se forment quand deux allèles (deux variantes d'un même gène, qui occupent la même place, sur un chromosome) qui gouvernent la couleur des plumes ont été séparés, et que l'allèle qui commande la couleur bleue, normalement dominé par l'allèle de la couleur verte, s'exprime parce qu'il se retrouve seul dans les cellules qui descendent d'une cellule qui avait ces deux allèles. Les croisements effectués montrent en effet que de telles perruches sont génétiquement vertes porteuses de bleu et qu'elles se reproduisent comme telles : par croisement avec une perruche bleue normale, on obtient autant de perruches vertes que de perruches bleues. L'anomalie n'est apparemment pas héréditaire.

Très exceptionnellement deux paires de chromosomes peuvent être modifiées lors du développement, ce qui donne un half-sider où des caractères liés au sexe, et d'autres non liés au sexe, sont juxtapo-

sés. C'est ce qui se passe chez le diamant de Gould de la figure 2, dont le masque est mi-rouge, mi-noir, et la poitrine mi-mauve mi-blanche. Cet oiseau est ainsi mi-mâle et mi-femelle (chez le mâle, le mauve est remplacé par du violet, et le masque est plus étendu).

Les oiseaux half-siders donnent également des indications sur l'action des hormones sexuelles, qui transmettent les commandes des gènes sexuels aux cellules de l'organisme. Chez les oiseaux, le sexe apparent femelle est dû à une inhibition par les estrogènes, ou hormones femelles : en l'absence de cette inhibition, l'animal a des caractères sexuels mâles. Les hormones étant distribuées par le sang dans tout l'organisme, comment expliquer le gynandromorphisme réparti ?

On avait pensé à une action différente, de part et d'autre du corps, en raison d'une sensibilité différente des cellules à l'hormone femelle, mais l'analyse d'un diamant de Gould half-sider a réfuté cette idée. Obtenu en 1986 par un éleveur provençal, cet animal avait, à sa gauche, un plumage de mâle et un masque orange ; à sa droite, un plumage de femelle et un masque rouge. Il ne s'était pas reproduit, mais, peu avant sa mort, il paraissait comme un mâle. J'ai eu la chance de récupérer le cadavre et d'en faire l'autopsie : paradoxalement, l'oiseau avait, à gauche, du côté du plumage mâle, un testicule atrophié, petit et mou ; à droite (côté du plumage femelle), un testicule normal, ferme, légèrement rosé et fonctionnel.

Pour interpréter cette observation, on doit savoir que, chez les oiseaux, la femelle n'a qu'un ovaire, à gauche, tandis qu'à droite un testicule embryonnaire peut devenir fonctionnel si l'ovaire cesse de fonctionner. C'est ce qui se produit chez des femelles âgées ou malades. À l'origine du testicule ou de l'ovaire, il y a la même gonade indifférenciée.

On doit donc admettre que l'œuf initial a donné une moitié droite avec un seul chromosome X (plumage femelle) et une moitié gauche avec deux chromosomes X (plumage mâle). Des estrogènes transportés par le sang irriguent les deux moitiés, mais ils n'ont pas d'action à gauche (côté mâle), car il n'y a pas sur la gonade de récepteurs aux estrogènes : un testicule est apparu. À droite, on aurait dû avoir un ovaire, mais, comme le testicule reste atrophié (état initial), cela montre que la gonade est insensible aux estrogènes. L'absence de l'ovaire droit chez les oiseaux femelles est donc innée.

Maurice POMARÈDE, Montpellier



**2. Diamant de Gould réunissant trois phénotypes masque et poitrine bicolores, côté droit femelle, côté gauche mâle.**



**1. Perruche ondulée half-sider.**

## Accent natif

**La perception des sons d'une langue étrangère est bloquée très tôt dans l'enfance.**

Quand un rescapé d'Éphraïm disait : «Laissez-moi passer», les gens de Galaad demandaient : «Es-tu Éphraïmite?». S'il répondait : «Non», alors ils lui disaient : «Eh bien, dis Shibbolet!». Il disait : «Sibbolet» car il n'arrivait pas à prononcer ainsi. Alors on le saisissait et on l'égorgeait près des gués du Jourdain.

**P**arler une langue étrangère sans accent est notoirement difficile. Heureusement, les conséquences sont rarement aussi dramatiques que dans cet extrait du Livre des Juges de l'Ancien Testament. Avec Laura Bosch et Nuria Sebastian, de l'Université de Barcelone, nous avons montré que la difficulté de percevoir les sons employés par une langue étrangère (donc aussi probablement de les produire) apparaît très tôt dans l'enfance.

Plus une seconde langue est apprise tôt, plus grandes sont les chances qu'elle soit prononcée sans accent. Une explication possible serait que les «programmes articulatoires», séries de commandes que le cerveau envoie aux muscles pour articuler les mots, se figent avec l'âge, et qu'il deviendrait de plus en plus difficile d'en apprendre de nouveaux. On observe de même que la difficulté d'apprentissage d'un instrument de musique, ou d'un sport qui requiert de la dextérité, augmente avec l'âge.

Toutefois, on a découvert au début du <sup>xx</sup>e siècle que l'accent ne concerne



pas seulement la prononciation, mais aussi la perception. Des sons clairement distingués par les locuteurs d'une langue peuvent être confondus par des locuteurs d'une autre langue. Ainsi, les Japonais ont de grandes difficultés à distinguer les sons [r] et [l], et cette incapacité de l'oreille se traduit dans leur accent lorsqu'ils parlent le français. À partir de quel âge cette difficulté à entendre de nouveaux sons apparaît-elle?

Pour répondre à cette question, nous avons rassemblé de jeunes adultes bilingues parlant couramment l'espagnol et le catalan. La moitié d'entre eux étaient nés dans des familles parlant le catalan, et l'autre moitié dans des familles parlant l'espagnol, mais ces derniers avaient été exposés au catalan de façon intensive dès l'âge de six ans au plus tard. Les deux groupes avaient suivi la même scolarité, bilingue, et atteint une très bonne aisance dans les deux langues. Or, il existe en catalan un contraste entre voyelles [é] et [è] qui n'existe pas

en espagnol, où le seul son [é] est employé. Les bilingues ont participé à des tests de reconnaissance et de discrimination de plusieurs sons intermédiaires entre [é] et [è], produits par un synthétiseur. Ces tests ont révélé de fortes différences entre les deux groupes : ceux dont le catalan est la langue maternelle percevaient clairement la distinction [é]-[è] ; au contraire, ceux nés dans des familles hispanophones et ayant appris le catalan comme seconde langue confondaient fréquemment les deux voyelles.

L'exposition très jeune à une seconde langue ne suffit donc pas pour acquérir une maîtrise parfaite. Les individus que nous avons testés en étaient-ils empêchés parce qu'ils continuaient à utiliser leur langue maternelle ? Nous comptons vérifier cette hypothèse avec des personnes adoptées dans leur enfance et ayant oublié leur langue maternelle.

Christophe PALLIER, Lab. des sciences cognitives et psycholinguistiques, Paris

## Retour à la nature

**Des chimpanzés captifs découvrent avec succès la vie sauvage.**

**A**utrefois capturés pour l'expérimentation médicale, les chimpanzés sont aujourd'hui menacés par la déforestation, par la chasse qui alimente le trafic de la «viande de brousse» et par la demande de particuliers en mal d'adoption. L'espèce étant protégée par la Convention de Washington, les autorités africaines confisquent de plus en plus de chimpanzés captifs,

souvent de jeunes orphelins : plus de 500 animaux sont aujourd'hui répartis dans une dizaine d'orphelinats sur le continent, et leur nombre ne cesse de croître. Qu'en faire ? L'association franco-congolaise *Habitat écologique et liberté des primates (HELP)* a réussi, pour la première fois, la réintroduction de jeunes chimpanzés en milieu naturel.

Les chimpanzés sont des animaux sociaux : ils vivent en «communautés» de 20 à 100 individus, le plus souvent répartis en sous-groupes dont la composition change jusqu'à plusieurs fois par jour. Les femelles changent de communauté à leur adolescence, tandis que les mâles passent toute leur vie dans leur commu-

nauté d'origine et sont très agressifs vis-à-vis des mâles d'autres communautés, allant jusqu'à les tuer. Par ailleurs, le développement des jeunes chimpanzés est lent. Ils ne sont sevrés qu'à partir de trois ans, ils ne se nourrissent pas seuls avant cinq ans, et la présence de leur mère leur est nécessaire plusieurs années encore avant qu'ils ne deviennent autonomes au sein de la communauté.

Ces caractéristiques expliquent les échecs qui ont sanctionné toutes les tentatives de réintroduction de chimpanzés captifs dans des communautés sauvages : soit les animaux n'étaient pas assez indépendants pour survivre, soit ils ont été attaqués et tués par des congé-

nères. L'association *HELP* a donc choisi de procéder à une réintroduction progressive : après une période de captivité où les jeunes chimpanzés orphelins, qui provenaient de saisies des Eaux et forêts congolaises, ont reçu des soins et une attention particulière, ils ont été répartis en groupes sociaux sur des îles de la lagune de la Conkouati, au Sud du Congo. Là, en semi-liberté, ils réapprennent la vie en conditions semi-naturelles et développent leur indépendance physique et mentale.

En novembre 1996, sept individus, un mâle et six femelles âgés de six à huit ans, ont été relâchés dans la forêt, équipés de colliers émetteurs. Six d'entre eux sont suivis quotidiennement (peu de temps après sa libération, une femelle a retiré son collier émetteur et a disparu). Ces animaux survivent, sur un territoire d'environ 12 kilomètres carrés, sans apport artificiel de nourriture. La fréquence des contacts avec les chimpanzés sauvages, plus d'une trentaine en un an, augmente au cours du temps. Trois rencontres ont donné lieu à des combats violents entre mâles, mais les contacts pacifiques sont de plus en plus fréquents et leur durée augmente continûment. L'une des femelles devrait même mettre bas un petit dont le père est un individu sauvage.

Ainsi, les chimpanzés relâchés s'intègrent progressivement dans la commu-



Willelm Bischoff/AFIP

**Ce chimpanzé mâle, élevé en semi-liberté, a été replacé en milieu sauvage depuis un an et demi avec cinq autres congénères. Les zoologues qui suivent ces animaux grâce à des colliers émetteurs ont observé qu'ils s'adaptent bien à la vie sauvage et qu'ils entrent régulièrement en contact avec des congénères.**

nauté sauvage. Comme on pouvait le prévoir, cette intégration semble plus facile pour les femelles que pour le mâle ; l'histoire et le profil psychologique des individus relâchés ont aussi un impact. Ces résultats positifs ont incité à la poursuite de

l'expérience : un second groupe de huit animaux (deux mâles et six femelles) a été libéré dans la forêt en novembre 1997. Les 25 chimpanzés qui vivent encore sur les îles du Sanctuaire devraient rejoindre leurs compagnons d'ici deux ans.

Pourrait-on généraliser cette méthode de réintroduction, vidant les orphelinats et repeuplant les forêts ? Nous devons suivre l'expérience pendant plusieurs années pour confirmer les premiers résultats. Jusqu'à présent, de telles expériences n'ont jamais permis de sauver une espèce de primates (excepté peut-être le tamarin-lion du Brésil). En outre, la réintroduction n'est pas possible partout (le relâcher d'animaux ne doit pas se faire au détriment des populations sauvages existantes), et un suivi vétérinaire est nécessaire pour s'assurer que l'on n'a pas introduit d'élément pathogène étranger au milieu.

Pour l'instant, la réintroduction des chimpanzés semble plus utile à la conservation des milieux menacés qu'à la protection directe de l'espèce : à Conkouati, la présence de scientifiques a stoppé les activités humaines destructrices dans la zone de relâcher (braconnage, déforestation). C'est aussi un outil de sensibilisation des populations locales et du grand public, dont la prise de conscience permettra seule de sauver l'espèce d'une disparition définitive des forêts africaines.

Marc ANCRENAZ, *HELP*

## La lutte contre les filarioses

**Un programme de lutte coordonné par l'Organisation mondiale de la santé se met en place.**

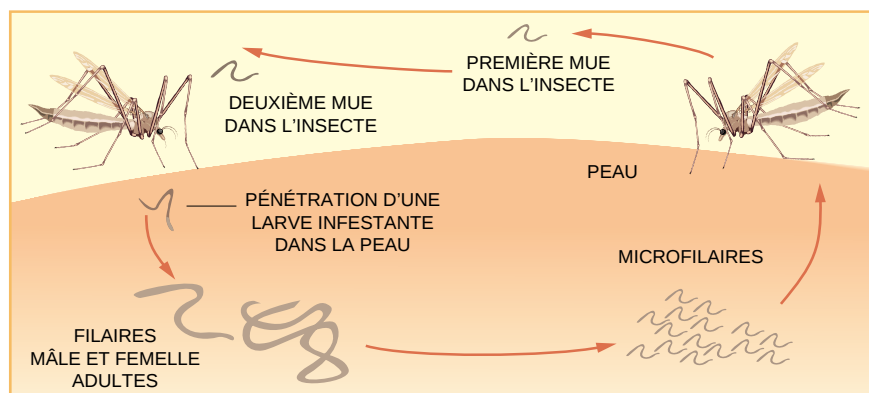
**P**lusieurs pays des zones tropicales et subtropicales de l'Afrique, de l'Asie et de l'Amérique sont écrasés par le fléau des maladies parasitaires, surtout des filarioses. Pour combattre ces maladies, on peut soit lutter contre les vecteurs, des insectes suceurs de sang, soit traiter les personnes infectées : si les parasites sont détruits chez les porteurs, les insectes ne pourront plus les transmettre aux personnes saines. C'est la tactique que l'Organisation mondiale de la santé, avec le concours des laboratoires pharmaceutiques *SmithKline Beecham*, va mettre en œuvre pour lutter contre la filaire de Bancroft.

Parmi les 120 millions de personnes souffrant de ce type de filariose, un tiers

environ ont des signes extérieurs, les autres sont infectées sans signes visibles, mais avec des lésions organiques souvent irréversibles. Les parasites sont des vers, nommés filaires (*Wuchereria bancrofti* et *Brugia malayi*), transmis par les moustiques. Des larves infestantes déposées sur la peau d'une personne piquée par un moustique pénètrent dans la peau,

peut-être par le trou laissé par la piqûre de l'insecte ; ensuite, elles gagnent la circulation lymphatique.

Les filaires colonisent les vaisseaux et les ganglions lymphatiques, et bloquent la circulation de la lymphe. Normalement, la lymphe, un liquide contenant des lymphocytes et assurant une fonction de défense, circule dans les vaisseaux



**Cycle de propagation des filaires : un insecte contaminé dépose des larves qui pénètrent par la peau. Elles se développent et se reproduisent chez l'homme. Un nouvel insecte, en prélevant des embryons filariens sanguins, les microfilaries, chez une personne contaminée, transporte le parasite vers d'autres porteurs potentiels.**

lymphatiques et est épurée dans les organes lymphatiques. Les filaires vivent de quatre à six ans, produisant des millions de microfilaries immatures, de minuscules larves qui circulent dans le sang. Les formes symptomatiques les plus graves de la filariose se manifestent chez l'adulte, apparemment plus souvent chez les hommes que chez les femmes. Dans les communautés endémiques, 10 à 50 pour cent des hommes souffrent d'éléphantiasis, une hypertrophie qui touche surtout les membres inférieurs et les organes génitaux. Les ganglions et les

organes qu'irrigue normalement le système lymphatique enflent ; les régions atteintes sont tuméfiées, distendues, et les tissus deviennent fibreux. Les filarioses ne sont pas des maladies mortelles, mais elles sont très handicapantes sur le plan personnel et socio-professionnel. En outre, en dehors de ces signes visibles, le parasite perturbe le système immunitaire et lèse les tissus profonds.

Jusqu'à présent, on disposait de deux médicaments. On a montré que l'association de l'albendazole et d'un des deux médicaments déjà prescrits (l'ivermectine)

est efficace, mais le traitement doit être poursuivi pendant quatre ou cinq ans. Toutefois, si le traitement détruit les filaires, les lésions ne sont pas totalement réversibles.

Les laboratoires *SmithKline Beecham* ont offert 4,5 milliards de doses d'albendazole à l'OMS et aux pays où sévit la maladie, avec un objectif : l'éradication de la maladie d'ici une vingtaine d'années. Simultanément, les Laboratoires *Merck* fournissent l'ivermectine dans le cadre de l'éradication d'une autre maladie parasitaire due à un autre filaire : l'onchocercose, ou cécité des rivières.

## L'énigme du second nombre de Plutarque

*On vérifie un résultat établi par l'astronome grec Hipparque.*

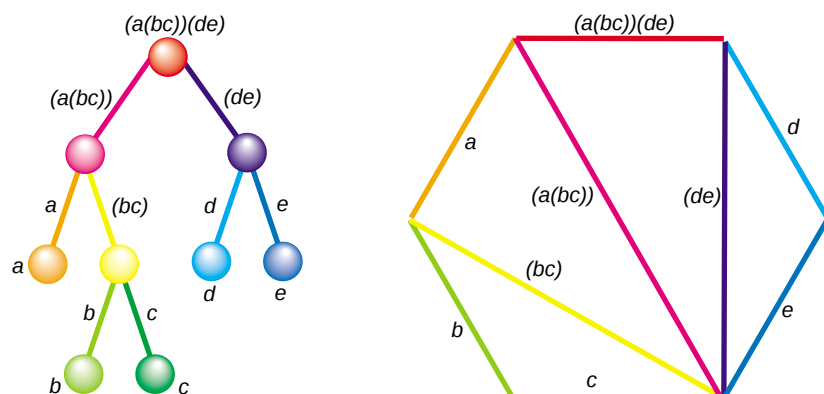
« **M**oi je dis qu'avec seulement dix propositions élémentaires, je peux composer plus d'un million de propositions complexes », affirme le stoïcien Chrysippe (c. 280 av. J. C. – 207 av. J.-C.) à l'astronome grec Hipparque. Celui-ci prend alors une tablette de cire, grave quelques calculs, puis déclare, péremptoire : « Les compositions affirmatives sont au nombre de 103 049, les négatives au nombre de 310 952. » La scène se passe autour d'une table, à la fin d'un repas, il y a plus de 22 siècles.

Reconstitué par Plutarque, ce dialogue est incomplet. Rien ne transparaît du raisonnement et des calculs effectués par Hipparque. Seulement deux nombres ! Comment Hipparque a-t-il obtenu ses résultats ? Depuis Plutarque, les mathématiciens sont perplexes. Par compo-

sition de propositions, il faut entendre l'utilisation de connecteurs logiques tels « et », « ou », « si... alors ». Par exemple, à partir de deux propositions simples  $a$  et  $b$ , telles que « J'ai faim » et « J'ai soif », on peut composer les propositions « J'ai faim et j'ai soif », ou « J'ai faim ou j'ai soif », ou encore « Si j'ai faim, alors j'ai soif ».

Avec quatre propositions élémentaires  $a, b, c, d$ , on pourrait former, par exemple, la proposition «  $a$  et  $b$  ou  $c$  et  $d$  et  $a$  ou  $b$  ». Cette composition n'a pas de sens, tant elle en possède : pour supprimer toute ambiguïté, on doit instaurer un ordre de procédure, utiliser des parenthèses. Ainsi «  $((a \text{ et } b) \text{ ou } (c \text{ et } d)) \text{ et } (a \text{ ou } b)$  » n'a qu'une interprétation. On peut ainsi reformuler l'énoncé du problème : de combien de façons peut-on introduire des parenthèses dans une chaîne d'éléments ?

À la fin du siècle dernier, le logicien allemand Friedrich Schröder a résolu ce problème de dénombrement en définissant le nombre de Schröder, noté  $s(n)$ , où  $n$  est le nombre d'éléments de la chaîne. Il calcule  $s(1)=1$ ,  $s(2)=2$ ,  $s(3)=3$ ,  $s(4)=11$ ,  $s(5)=45$ ,  $s(6)=197$ ... Un parenthésage donné peut se représenter par un arbre, ou un polygone fractionné, par exemple



Pour construire l'arbre de gauche à partir de la proposition composée  $(a(bc))(de)$ , on part d'un nœud et on crée une branche pour chaque sous-proposition définie par des parenthèses, puis on répète l'opération à partir de chaque nouveau nœud. Pour obtenir un polygone à partir de l'arbre, on part d'un segment à partir duquel on crée un polygone ayant un côté de plus que le nombre de branches partant du nœud correspondant dans l'arbre ; puis on répète l'opération.

(voir les figures). Ces modes de représentation sont utiles, car calculer  $s(n)$  est identique à calculer le nombre de polygones à  $n+1$  côtés sans croisement.

En 1994, l'étudiant américain David Hough remarque, presque par hasard, que le premier nombre de Plutarque, 103 049, coïncide exactement avec  $s(10)$ . Hasard ? Coïncidence ? D. Hough suppose qu'Hipparque a utilisé une relation de récurrence : il aurait calculé  $s(n)$  comme la somme de produits de la forme  $s(i_1) \dots s(i_k)$ , pour tous les ensembles de nombres  $i_1, \dots, i_k$  tels que  $i_1 + \dots + i_k$  soit égal à  $n$ . On ignore si cette hypothèse est la bonne, mais il est vrai que le nombre de propositions positives composées de  $n$  éléments est égal à  $s(n)$ .

Laurent Habsieger, à Bordeaux, et M. Kazarian et S. Lando, à Moscou, pourraient avoir identifié l'origine du second nombre, en utilisant encore les nombres de Schröder. Ils supposent que rechercher les compositions négatives de  $n$  propositions élémentaires revient à chercher le nombre de possibilités de parenthésage de l'expression  $Nx_1x_2\dots x_{10}$ , où l'opérateur  $N$  consiste à prendre la négation de toutes les propositions simples incluses dans les premières parenthèses qui incluent l'opérateur. Par exemple,  $((N(x_1(x_2x_3)x_4)x_5)x_6)x_7x_8)(x_9x_{10})$  est équivalent à  $(((((\text{non } x_1(\text{non } x_2 \text{ non } x_3) \text{ non } x_4) \text{ non } x_5) x_6) x_7x_8) (x_9x_{10}))$ . Les trois mathématiciens observent alors que certains parenthésages conduisent au même résultat et que le nombre de propositions composées négatives à  $n$  éléments se ramène au nombre de propositions positives à  $n+1$  éléments (l'opérateur  $N$  ajoute un terme), diminué des cas redondants. Au total, le nombre cherché est égal à  $(s(n)+s(n+1))/2$ . Pour  $n=10$ , on trouve... 310 954.

Hipparque, lui, obtenait 310 952 : erreur de calcul ? de transcription ? d'hypothèses logiques non prises en compte ? On l'ignore, mais l'énigme de Plutarque semble enfin résolue.

# L'origine des oiseaux et de leur vol

KEVIN PADIAN • LUIS CHIAPPE

*Les dinosaures n'ont pas tous disparu : les oiseaux sont les descendants directs de certains d'entre eux.*

*Sinornis*



Illustrations : Ed Heck

**L**es oiseaux sont bien différents de toutes les autres créatures vivantes : les plumes, le bec édenté, les os creux, le pied préhensile, la fourchette, le bréchet développé et le moignon de queue sont quelques-uns des caractères qu'ils ne partagent avec aucune autre famille animale. Comment leurs plumes et leur capacité à voler sont-elles apparues ? Qui sont leurs ancêtres ?

Cette question s'est posée juste après que Charles Darwin a présenté la théorie de l'évolution, en publiant *L'origine des espèces*, en 1859 : l'année suivante, une plume d'oiseau isolée est découverte dans des sédiments calcaires déposés il y a 150 millions d'années, en Bavière ; puis, en 1861, des paléontologues trouvent, à proximité, le squelette d'un animal gros comme un geai, aux ailes et aux plumes d'oiseau, mais avec une longue queue osseuse et des mâchoires pourvues de dents. Ce sont les deux premiers vestiges d'*Archaeopteryx lithographica*, le plus ancien oiseau connu.

Plus d'un siècle après, l'étude du squelette d'*Archaeopteryx* et des nombreux autres fossiles découverts depuis prouve que les oiseaux descendent de petits dinosaures carnivores et terrestres du groupe des théropodes. L'hypothèse remonte au fidèle défenseur de Darwin, Thomas Huxley : en comparant le membre postérieur de *Megalosaurus*, dinosaure théropode géant, à celui de l'autruche, il remarque que 35 caractères communs aux deux groupes ne sont associés chez aucun autre animal, et il en conclut que les oiseaux et les théropodes sont apparentés. Pense-t-il que les oiseaux sont les cousins des théropodes ou leurs descendants ? Nous l'ignorons.

Huxley présente ses conclusions à la Société géologique de Londres en

1870, mais le paléontologue Harry Govier Seeley les conteste. Selon lui, si les membres postérieurs de *Megalosaurus* et de l'autruche se ressemblent, c'est seulement parce que les deux animaux sont bipèdes, de grande taille et qu'ils marchent de la même manière. Comme les dinosaures sont encore plus grands que les autruches et qu'aucun d'eux ne vole, comment les oiseaux en descendraient-ils ?

## L'absence de clavicules disqualifie les théropodes

La question est reprise, un demi-siècle plus tard, par Gerhard Heilmann, médecin et paléontologue amateur, qui publie un ouvrage intitulé *L'origine des oiseaux* (en danois en 1916, puis en anglais en 1926). Il y expose que les oiseaux sont anatomiquement plus proches des dinosaures théropodes que

*Iberomesornis*



*Eoalulavis*



**1. LES PREMIERS OISEAUX**, qui vivaient il y a plus de 100 millions d'années, différaient des oiseaux actuels. Certains avaient des doigts griffus et des mâchoires garnies de dents, comme leurs ancêtres dinosauriens. Les fossiles de *Sinornis* (à gauche) ont été découverts en Chine, ceux d'*Iberomesornis* et d'*Eoalulavis* (à droite) en Espagne. Ces trois oiseaux avaient la taille d'un moineau. *Eoalulavis* possède la première alula connue (les plumes portées par le pouce), structure qui permet aujourd'hui aux oiseaux de voler lentement.