

De vrais dinosaures, avec de vraies plumes

De nouveaux fossiles chinois démontrent que les oiseaux descendent bien de petits dinosaures carnivores.

Les couches lacustres datant des environs de la limite Jurassique-Crétacé (il y a quelques 135 millions d'années) dans le Nord-Est de la Chine livrent aux paléontologues des fossiles qui éclairent les grandes énigmes de l'évolution, notamment l'origine des oiseaux. Ces sédiments au grain très fin ont conservé non seulement des squelettes remarquablement complets, mais aussi des restes de tissus qui sont rarement préservés. Après de nombreux oiseaux primitifs encore couverts de leur plumage, puis le petit dinosaure *Sinosauropteryx*, au corps revêtu de curieux filaments qui étaient peut-être des proto-plumes, les dépôts des anciens lacs de la province du Liaoning ont fourni ce que certains paléontologues attendaient depuis longtemps : de véritables dinosaures au corps couvert d'indubitables plumes.

Trois squelettes de tels animaux ont été décrits par Ji Qiang, Philip Currie, Mark Norrell et Ji Shu-an. L'un d'entre eux appartient à *Protarchaeopteryx robusta*, un animal qui avait déjà été signalé mais non encore décrit en détail, les deux autres à une espèce et un genre nouveaux, *Caudipteryx zoui*. Ces deux animaux offrent une combinaison originale de caractères : le squelette est celui d'un dinosaure (théropode) et ils possèdent des plumes qui ne sont guère diffé-

ports entre la longueur du bras et celle de la jambe nous éclairent sur les possibilités locomotrices de ces animaux et sur la phylogénie. Le bras de *Protarchaeopteryx* est plus long (relativement au fémur) que chez les dinosaures théropodes, mais plus court que chez les oiseaux. Chez *Caudipteryx*, le bras est plus court encore par rapport à la jambe. Grâce à l'analyse des caractères du squelette de ces deux étranges dinosaures, on les a replacés dans l'«arbre généalogique» des dinosaures et des oiseaux : *Caudipteryx* est le «groupe-frère» de l'ensemble des oiseaux, y compris *Archaeopteryx*. *Protarchaeopteryx* est plus primitif encore, très proche de petits dinosaures carnivores, tels que le célèbre *Velociraptor*.

Les restes d'un plumage clairement associés aux squelettes confèrent à ces petits dinosaures (dont le plus grand n'atteignait pas 90 centimètres de longueur) un intérêt particulier. Chez *Protarchaeopteryx*, de petites plumes sont présentes dans la région du thorax, à la partie antérieure de la queue et le long du fémur, et des plumes plus longues, des rectrices atteignant 13 centimètres de longueur, prolongent l'extrémité de la queue. Chez *Caudipteryx*, des rémiges sont attachées au membre antérieur, des rectrices au bout de la queue, et le corps est couvert de petites plumes formant une sorte de duvet. Les plumes de ces deux dinosaures sont construites comme celles des oiseaux, avec une tige centrale, le rachis, portant des barbes, elles-mêmes pourvues de barbules. Mais les rémiges (sur les bras) et les rectrices (sur la queue) de *Protarchaeopteryx* et de *Caudipteryx* sont symétriques de part et d'autre du rachis, alors que chez les oiseaux volants,

y compris *Caudipteryx*, les plumes sont asymétriques. Peut-on voler avec des plumes symétriques? C'est possible, mais pas certain. En tout état de cause, ces dinosaures, surtout *Caudipteryx*, avaient des bras et des rémiges trop courts pour voler ; leurs longues jambes suggèrent qu'ils étaient des coureurs terrestres.

Les conséquences de ces remarquables découvertes sont multiples. D'abord, une prédiction se vérifie : il y a déjà longtemps que certains paléontologues postulaient l'existence de plumes chez certains petits dinosaures carnivores, mais, faute de preuves tangibles, cette hypothèse restait une supputation. La magnifique conservation des fossiles chinois le démontre : certains théropodes étaient bel et bien couverts de plumes similaires à celles des oiseaux.

L'idée selon laquelle les oiseaux dérivent de petits dinosaures carnivores n'est pas nouvelle : elle fut émise dès le XIX^e siècle, mais c'est depuis 25 ans que les indices les plus convaincants se sont accumulés, sans pour autant vaincre toutes les réticences. La découverte, chez des animaux qui sont clairement des dinosaures, de plumes qui n'ont rien à envier à celles des oiseaux d'aujourd'hui, est une preuve qui devrait être décisive : les ancêtres des oiseaux étaient bien des théropodes. Ni *Protarchaeopteryx*, ni *Caudipteryx* ne pourront cependant figurer en droite ligne dans ce prestigieux pedigree : *Archaeopteryx*, aux bras plus longs et aux rémiges asymétriques, était déjà un vrai oiseau capable de voler, et pourtant il est très probablement plus ancien que les fossiles chinois, qui ne peuvent donc faire figure que de «cousins» un peu attardés, au moins en ce qui concerne le vol.

Il est désormais clair, en effet, que la présence de plumes bien développées (pas celles, fort transformées, des autruches ou des manchots) n'implique pas la possibilité de voler, puisque ni *Protarchaeopteryx*, ni *Caudipteryx*, à en juger par leur squelette, n'étaient des animaux volants. Les plumes sont donc apparues indépendamment du vol.

Dernière conséquence, et non des moindres : «plume» n'est plus synonyme d'«oiseau». Méfiance, donc : une plume isolée trouvée dans des terrains mésozoïques ne démontre plus la présence d'oiseaux, elle peut fort bien avoir appartenu à un dinosaure.

«Je suis oiseau, voyez mes ailes», disait la chauve-souris de La Fontaine. À cause de ces dinosaures chinois, les oiseaux ne peuvent plus dire «Je suis oiseau, voyez mes plumes»...

Eric BUFFETAUT



Reconstitution du dinosaure chinois présentant des plumes sur la queue et les bras (peinture de Michael Skrepnick). Les plumes sont indubitables, mais leur fonction reste énigmatique.

Extinction fulgurante

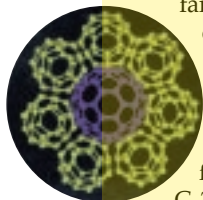
Il y a 252 millions d'années, à la fin du Permien, 85 pour cent des espèces océaniques et 70 pour cent des vertébrés terrestres ont disparu. L'extermination a été rapide : elle n'a duré qu'un million d'années. Pour établir cette durée, Douglas Erwin du Musée américain d'histoire naturelle, a daté le zircon créé dans les roches volcaniques appartenant aux niveaux de la fin du Permien où les espèces disparaissent. Le zircon incorpore de l'uranium lors de sa formation, et le dosage des produits de désintégration indique l'âge du minéral. Ces mesures intéressent les paléontologues qui s'interrogent sur les possibilités d'évolution des animaux lors de ces crises, possibilités réduites si la cause de l'extinction est brève (type chute de météorite), réelles si la cause est plus étalée dans le temps (type éruption volcanique).

Oasis des glaces

Des organismes vivants ont été découverts dans la couverture de trois à six mètres de glace de lacs de l'Antarctique, dans l'un des déserts les plus froids et les plus secs sur Terre. Du sable et des graviers, colonisés par des communautés microbiennes, sont apportés par le vent et piégés dans des fissures de la glace. Au plus chaud de l'été, la partie supérieure de la glace fond, et ces agrégats denses de sédiments et de bactéries s'enfoncent jusqu'à la couche solide. Quand la surface gèle à nouveau, ces agrégats sont pris dans la glace, mais les sédiments sombres absorbent l'énergie solaire et fondent la glace environnante, formant des poches d'eau où survivent les communautés microbiennes pendant plusieurs mois.

C 36, fullerène prometteur

La molécule C 36 (en vert) vient d'être synthétisée et isolée par des chercheurs américains : c'est la petite dernière de la famille des fullerènes, ces molécules en forme de cages composées uniquement d'atomes de carbone. Depuis sa découverte, en 1990, on a beaucoup étudié C 60 (en violet), en forme de ballon de football. C 36 est plus réactif que son grand frère, et s'associe plus facilement avec d'autres atomes. On pense ainsi que C 36, dopé par du rubidium, devient supraconducteur à température plus élevée que C 60 (-242 °C).



Le jeu des quatre coins

La solution existait ; elle est maintenant construite.

Aux yeux du public et de quelques scientifiques, les mathématiques sont dépréciées par l'artificialité des problèmes posés. Pourtant, il est à peu près certain que les problèmes d'apparence futile auront dans le futur des applications pratiques. Toujours est-il qu'aujourd'hui, les mathématiques ludiques sont une branche des mathématiques appliquées.

Le problème des quatre coins est de ce type : comment remplir un quadrillage 10×10 avec trois couleurs (rouge, blanc et vert), de manière qu'aucun rectangle (quelle que soit sa taille) n'ait quatre coins de la même couleur. Nous baptiserons RCP ces quadrillages. M. Beresin, E. Levine et J. Winn ont montré, en 1989, que de tels quadrillages existent, mais sans donner de méthode pour en construire. Jerome Lewis nous en propose une.

Tout d'abord, remarque-t-il, la probabilité d'avoir des rectangles aux coins de la même couleur augmente avec le nombre de cases de cette couleur, aussi pense-t-il raisonnable d'utiliser, autant que possible, le même nombre de cases de chaque couleur et postule aussi que les chances de réussite seront maximales avec au moins 3 cases de chaque couleur dans chaque rangée et colonne.

Le remplissage s'effectue colonne par colonne, chacune ayant ses cases numérotées de 1 à 10. La première étape consiste à mettre trois cases rouges dans la première colonne. Pour cela on établit la liste des 120 combinaisons de trois chiffres ordonnés parmi 10 : 1-2-3, 1-2-4, 1-2-5, 1-2-6, ..., 7-8-9, 7-8-10, 7-9-10 et 8-9-10 ; on choisit un de ces tri-

plets, qui détermine la place des cases rouges de la première colonne. Tous les triplets des autres colonnes qui donnent un rectangle avec deux coins rouges, c'est-à-dire qui ont au moins deux chiffres en commun avec un autre triplet, sont mis à l'écart. Pour la colonne suivante, un second triplet est choisi parmi les triplets autorisés, et ainsi de suite jusqu'à la colonne 10. Les 4 cases rouges manquantes sont ensuite placées par essais et erreurs.

La deuxième étape permet de placer les cases blanches et donc les cases vertes. Pour cela, J. Lewis construit une matrice à 120 lignes et 10 colonnes. Chaque ligne correspond à un des triplets possibles, chaque colonne de la matrice correspond à la colonne de même rang du quadrillage. On place un 0 dans les cases correspondant à un triplet de cases blanches compatible avec l'emplacement des cases rouges (c'est-à-dire sans chiffre commun). Le placement des cases blanches de la première colonne est donné par le premier zéro de cette colonne rencontré ; chaque triplet incompatible des 9 autres colonnes est alors écarté (deux chiffres en commun) et marqué par un «1». Passons à la colonne 2 et recherchons, dans la matrice, le premier zéro pour la place des cases blanches, mais n'oublions pas de vérifier qu'aucun rectangle aux coins verts n'a été créé ; en ce cas, il nous faut opter pour un autre zéro. Marquons maintenant dans les colonnes 3 à 10, les triplets incompatibles avec cette deuxième colonne par un «2» et réitérons la procédure pour les autres colonnes.

En cas d'impasse, c'est-à-dire plus aucun zéro dans une colonne matrice, il est nécessaire de remonter jusqu'au zéro pris en compte dans la colonne précédente, et tenter le suivant, jusqu'à pouvoir remplir la colonne 10. La démarche par essais et erreurs s'apparente à celle employée dans un labyrinthe : si vous débouchez dans un cul-de-sac, vous revenez à la dernière bifurcation et tentez une autre voie jusqu'à trouver la sortie.

Un ordinateur moyen mettra une dizaine de minutes pour produire cette figure. Contrairement à ce qui était attendu, on obtient un quadrillage à 34, 34 et 32 cases respectivement rouges, blanches et vertes et non un 34, 33 et 33. Ces derniers sont-ils inexistant, seulement rares, ou bien cette méthode ne permet-elle pas de les obtenir ? Il est impossible de répondre à l'heure actuelle.

Remarquons enfin qu'à partir d'un quadrillage-RCP, on peut, par permutation de colonnes, de rangées, par rotation et réflexion, en obtenir de multiples. L'ensemble de ces quadrillages obtenus à partir d'un peut constituer une classe. Combien existe-t-il de classes ? Mystère.

Loïc MANGIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Vert	Blanc	Vert	Vert	Rouge	Blanc	Blanc	Rouge	Blanc	Rouge
2	Blanc	Vert	Blanc	Blanc	Vert	Rouge	Rouge	Blanc	Blanc	Rouge
3	Blanc	Vert	Rouge	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Rouge	Rouge	Blanc
4	Blanc	Rouge	Blanc	Vert	Blanc	Blanc	Vert	Blanc	Rouge	Rouge
5	Vert	Blanc	Blanc	Rouge	Vert	Blanc	Rouge	Blanc	Rouge	Blanc
6	Rouge	Vert	Rouge	Blanc	Blanc	Blanc	Vert	Blanc	Vert	Rouge
7	Rouge	Blanc	Blanc	Blanc	Rouge	Rouge	Blanc	Blanc	Rouge	Vert
8	Rouge	Blanc	Vert	Blanc	Blanc	Vert	Blanc	Rouge	Blanc	Vert
9	Vert	Rouge	Rouge	Blanc	Rouge	Blanc	Blanc	Vert	Blanc	Blanc
10	Vert	Rouge	Blanc	Rouge	Blanc	Rouge	Vert	Rouge	Blanc	Vert

Quadrillage-RCP avec 34 cases rouges, 34 cases blanches, et 32 cases vertes.