

avec efficacité! Mais changer de méthode permettrait d'assurer à tout candidat qu'exprimer ses préférences franchement, sans ambages, est sa stratégie optimale. Aujourd'hui, les candidats agissent autrement – leurs stratégies sont fondées sur les oui-dire des années passées –, entraînant ainsi des effets non désirés (y compris un comportement d'autocensure néfaste).

Il semblerait que remplacer $\mu(U)$ serait aussi facile en France : il n'en est rien! De plus, la réalité est déconcertante : des facteurs autres que des mathématiques pures sont mêlés. Trop souvent, les préférences émises par les universités ne sont pas fondées sur les mérites des divers postulants, mais sont plutôt le résultat de discussions avec d'autres universités préparant leurs propres classements, et de négociations «confidentielles» avec des candidats – par exemple, du genre : «Si l'on vous classe premier, allez-vous nous classer premier?» Cela est évidemment très regrettable. Néanmoins, une fois les classements des universités soumis, les dés sont jetés : le problème mathématique est posé. Bien sûr, parmi les candidats, certains peuvent se sentir tenus d'obéir aux pressions des universités, mais pas tous : d'où l'invitation à la tricherie. La méthode importe.

Aussi ai-je essayé de faire état, dans une lettre adressée au Directeur de la Direction des personnels enseignants (DPE) du ministère il y a plus d'un an, des perversités de la procédure actuelle. Réponse de la DPE :

«J'ai l'impression que vous n'avez pas pris connaissance de l'intégralité de la procédure... La dernière opération est l'application d'un algorithme qui optimise la distribution des affectations selon les vœux des candidats tout en préservant les droits que leur confère leur rang de classement. Cette procédure a été voulue par le ministre et largement concertée à très haut niveau avec les partenaires, dont notamment le Conseil national des Universités...»

J'ai alors demandé «optimise quoi précisément?» (ajoutant, comme encouragement, «j'aurais pensé que l'objectif du ministère serait de trouver la meilleure procédure possible dans l'état des connaissances scientifiques actuelles»). Nouvelle réponse :

«... Cet algorithme est appliqué depuis 1992 sous le regard extrêmement attentif, vigilant et critique de la communauté universitaire et des 50 000 (environ) qualifiés, candidats poten-

tiels, dont de nombreux scientifiques. S'il était contestable ou s'il n'était pas optimal par rapport à l'objectif, cela se saurait, sans aucun doute...»

Dans un dernier échange, le Directeur lui-même m'a assuré par téléphone que la procédure n'était pas exclusivement de nature mathématique. Mais la promesse de m'envoyer les documents pertinents semble avoir été oubliée... *Sic transit gloria mundi.*

L'algorithme utilisé est contestable. Certes, tout est optimal par rapport à un objectif non dit, mais le calcul actuel donne une affectation qui n'est certainement pas optimale pour les candidats : au contraire, elle est la pire possible pour les candidats!

En fin de compte, si le ministère refuse tout changement, le remède n'est pas compliqué. Chaque candidat connaît ses classements individuels et, bien sûr, ses préférences, donc les candidats peuvent établir ensemble un fichier de toutes les informations pertinentes. Il suffit alors que quelques jeunes mathématiciens organisent la collecte des listes préférentielles des universités et des candidats, qu'ils calculent l'affectation méritoire favorite des candidats $\mu(C)$ et qu'ils disent à chaque candidat comment il doit exprimer ses préférences – le plus facile pour le candidat étant d'inscrire seulement l'université à laquelle il est affecté par $\mu(C)$. Un tel système hors-concours assurerait à chaque candidat son meilleur choix possible des affectations méritoires.

Une réforme de la procédure ministérielle ne serait-elle pas préférable à l'établissement d'un système hors-concours pour garantir aux postulants l'optimalité tant vantée de l'affectation?

Michel BALINSKI est chercheur au laboratoire d'économétrie de l'École polytechnique.

M. BALINSKI et G. RATIER, *Graphs and marriages*, in *American Mathematical Monthly*, vol. 105, pp. 430-445, 1998.

M. BALINSKI et T. SÖNMEZ, *A tale of two mechanisms : student placement*, in *Journal of Economic Theory*, vol. 84, pp. 73-93, 1999.

M. BAÏOU et M. BALINSKI, *Many-to-many matching : stable polyandrous polygamy (or polygamous polyandry)*, in *Discrete Applied Mathematics*, vol. 101, pp. 1-12, 2000.

M. BAÏOU et M. BALINSKI, *Fair university admissions*, Laboratoire d'économétrie, École polytechnique, janvier 2001.

Des livres à offrir ou à s'offrir



À contre-idées • Didier Nordon

Trouver du comique dans une idée sérieuse (et inversement), du local dans une idée générale (et inversement), de l'absurde dans une idée sensée (et inversement), de l'esprit littéraire au sein des sciences (et inversement). Au fil de ses billets d'humeur, Didier Nordon s'ingénie à bousculer les idées reçues et tout ce qui semble évident et... qui ne l'est pas. Un livre décapant, pour jouer avec les mots... et les idées.

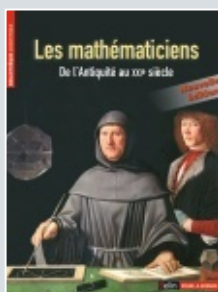
224 pages • 19 euros • 075110



Au nom de l'infini • Jean-Michel Kantor, Loren Graham

Peut-on parler de mathématiques, de religion, de politique dans un même ouvrage ? Oui, et c'est le défi qu'ont relevé le mathématicien Jean-Michel Kantor et l'historien des sciences Loren Graham, du MIT. Ce livre touchera même ceux que les mathématiques laissent indifférents, voire effraient. Les auteurs éclairent les liens étroits entre la vie – avec ses plaisirs et ses drames – et l'œuvre de ces hommes et ces femmes qui ont marqué le XX^e siècle par leur créativité en mathématiques.

288 pages • 24 euros • 075107



Les mathématiciens • Collectif

Autant artistes que scientifiques, les mathématiciens sont en proie à leurs passions, leurs interrogations, leurs doutes, leurs tourments, leurs angoisses, et la hantise de la beauté. « Nul ne peut être mathématicien s'il n'a une âme de poète », disait Sophie Kowalevskaja. Les mathématiciens doivent faire preuve de rigueur et de ténacité, mais surtout d'inventivité. Maudissant chaque jour leur impuissance à faire reculer les frontières du savoir, ils s'émerveillent pourtant, regardant derrière eux, de l'ampleur du chemin parcouru.

280 pages • 24 euros • 075109



La physique buissonnière • Jean-Michel Courty, Édouard Kierlik

La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus. Passionnés de physique et curieux de sciences, les auteurs vous invitent à une promenade sur ces chemins de traverse. Avec eux, laissez-vous surprendre par un phénomène que vous avez déjà côtoyé sans même le remarquer. Suivez-les pour découvrir et comprendre cette physique du quotidien.

160 pages • 22 euros • 075105

Les orangs-outans d'hier et d'aujourd'hui

ANNE-MARIE BACON

Dans les jungles de Bornéo et de Sumatra, les derniers orangs-outans subsistent difficilement. Pourtant, les fossiles de cette espèce montrent qu'il y a plus de 10 000 ans, ils peuplaient la plupart des forêts tropicales de l'Asie du Sud-Est.

Dans les jungles brumeuses de Sumatra et de Bornéo, deux îles de l'archipel indonésien, les «hommes des bois» errent en quête de nourriture. Ces orangs-outans, car il s'agit bien d'eux (en malais, orang-outan signifie «homme des bois»), sont les derniers des grands singes d'Asie. Il ne resterait aujourd'hui que 25 000 individus, pour la plupart protégés dans les parcs nationaux.

La classification usuelle répartit les orangs-outans actuels en deux sous-espèces : *Pongo pygmaeus abelii* est la sous-espèce de Sumatra et *Pongo pygmaeus pygmaeus* celle de Bornéo. Cependant, cette classification est remise en question. En étudiant la morphologie du crâne et des dents d'orangs-outans,

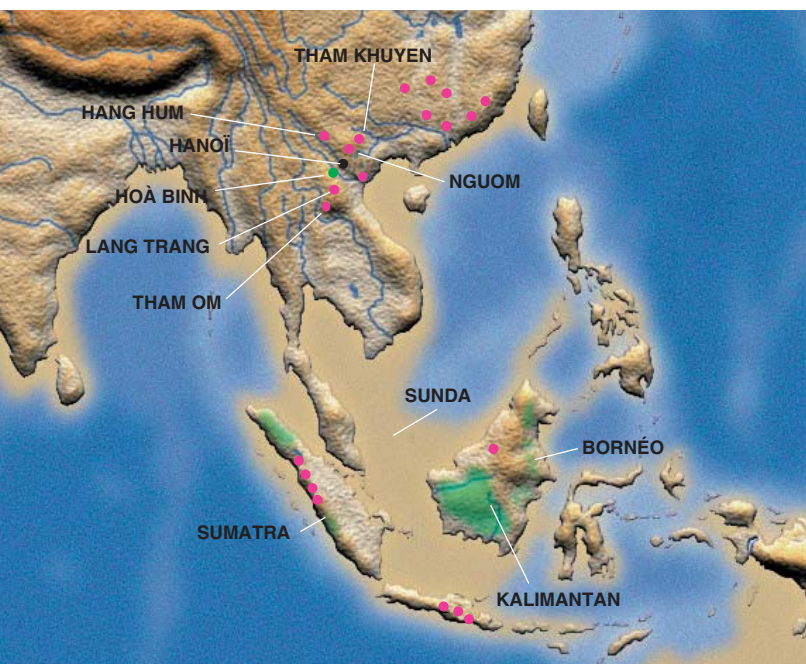
des primatologues ont montré que la variabilité des populations de Bornéo est plus grande que celle qui sépare les populations de Bornéo et de Sumatra. Il y aurait donc deux sous-espèces à Bornéo, peut-être plus ; une au Nord-Ouest du Kalimantan, la partie indonésienne de l'île de Bornéo, et une au Sud-Ouest du Kalimantan (ces régions étant séparées par la rivière Kapuas). En comparant les séquences de l'ADN mitochondrial des orangs-outans avec celles d'autres primates des primatologues proposent de les séparer en espèces plutôt qu'en sous-espèces, car les différences relevées entre les populations de Bornéo et de Sumatra sont supérieures à celles qui séparent, par exemple, les deux espèces de chimpanzés (le chimpanzé commun et le bonobo). Toutefois, une objection à la distinction de deux espèces demeure : les orangs-outans de Bornéo et de Sumatra sont interféconds et, en captivité, donnent des jeunes eux-mêmes féconds. Cette interfécondité plaide en faveur d'une espèce unique, selon les concepts admis en biologie.

La difficulté à définir avec précision la parenté entre les populations d'orangs-outans de Bornéo et de Sumatra s'explique par le fait que ces deux populations ne sont isolées sur leur île respective que depuis environ 10 000 ans. Aujourd'hui, ni l'anatomie ni la génétique ne nous renseignent de façon cohérente sur la divergence génétique entre les deux populations.

En revanche, l'analyse des fossiles découverts – le plus souvent des dents – nous renseigne sur l'histoire de ces grands singes. Mise en parallèle avec l'histoire paléogéographique de la région, la découverte récente, au Vietnam, d'un fossile entier, le premier à ce jour, donne un éclairage nouveau sur ce qu'étaient les orangs-outans il y a plusieurs milliers d'années, et sur leur évolution.

Le plus grand des singes arboricoles

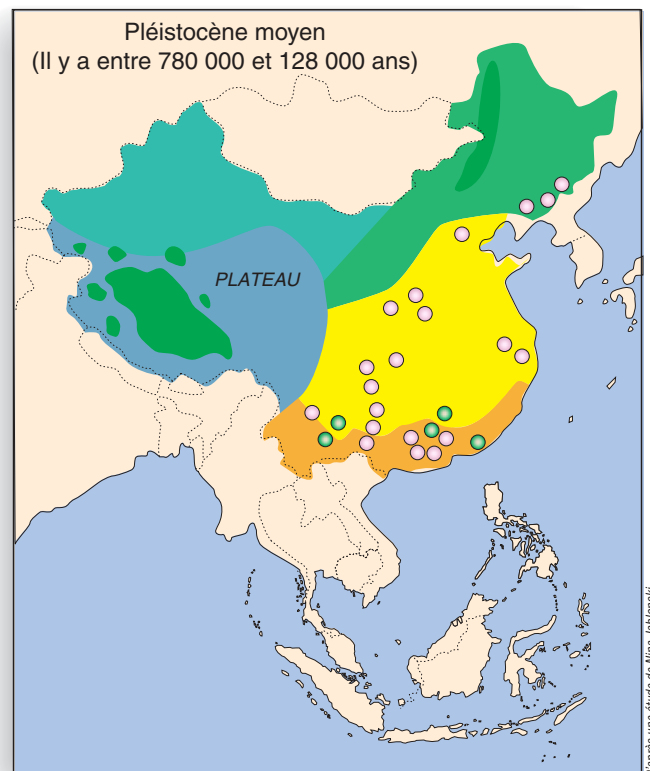
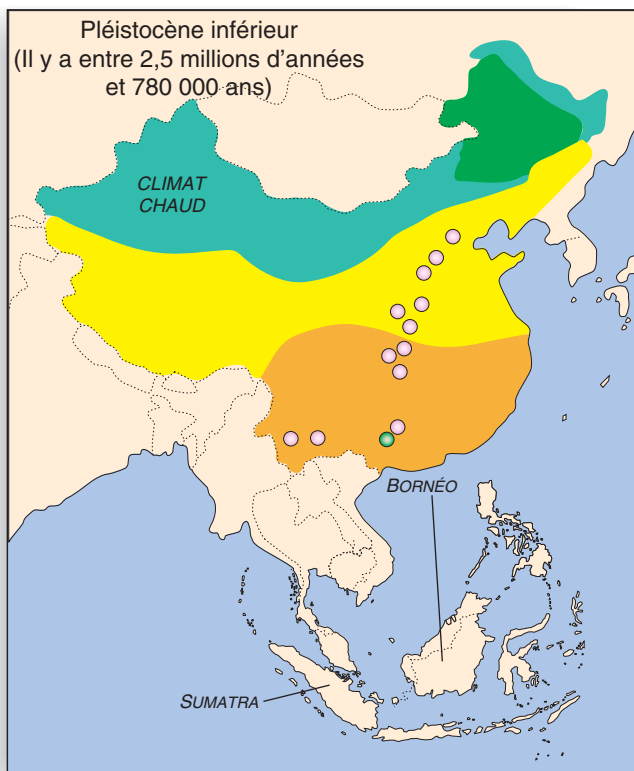
À Bornéo et à Sumatra, les orangs-outans occupent la forêt tropicale, une forêt dense et luxuriante soumise à de fortes précipitations. Certains vivent dans les régions montagneuses, jusqu'à 2 000 mètres d'altitude, au Nord de Sumatra, les autres sont répartis dans les plaines et dans les marais du Kalimantan, la partie indonésienne de l'île. Les populations sont séparées par des rivières et des chaînes de



1. LES ORANGS-OUTANS ACTUELS (voir page ci-contre) vivent dans les jungles des îles de Bornéo et de Sumatra (en vert). Les orangs-outans fossiles (les sites où l'on a découvert des fossiles sont indiqués par un rond rouge) montrent qu'ils étaient aussi présents sur le continent au Pléistocène, à l'époque où émergeait le plateau de Sunda (le plateau était constitué des zones émergées actuelles et des zones couleur sable). Le premier squelette complet d'un orang-outan a été découvert à Hoà Binh, au Vietnam.



Tom Brainerd/CORBIS



D'après une étude de Nina Jablonski

2. AU COURS DES ÂGES, le climat a évolué sur le continent asiatique. Des études effectuées en Chine montrent comment, du Pléistocène inférieur à l'Holocène, soit pendant une période comprise entre

2,5 millions d'années et notre ère, les régions tropicales (en jaune) et subtropicales (en orange) ont progressé vers le Sud, contraignant les orangs-outans, peu aptes à s'adapter aux changements, et quasi

montagnes qui constituent des barrières naturelles d'isolement.

Les orangs-outans vivent la plupart du temps à la cime des arbres, dans la canopée. Ils sont les plus grands singes arboricoles. Les mâles et les femelles diffèrent par la taille et par le poids. Les femelles ont un poids moyen de 35 kilogrammes, tandis que les mâles atteignent le double, voire beaucoup plus. Certains mâles, en raison de leur grande taille, descendent des frondaisons et passent du temps au sol. Dans les arbres, les orangs-outans progressent avec lenteur, mais en acrobates : ils grimpent en s'accrochant aux branches par trois ou quatre membres, ou encore se balancent par un bras, puis par l'autre. Les mains et les pieds des orangs-outans ont une forme de crochet. Grâce à des pouces courts, opposables aux autres doigts et à des phalanges incurvées, ils s'agrippent facilement aux branches. De plus, avec des membres supérieurs bien plus longs que les membres inférieurs et des articulations très mobiles, ils se meuvent avec une étonnante agilité.

Le territoire d'une femelle s'étend de 900 à 1 500 hectares, alors que celui d'un mâle atteint parfois 10 000 hectares. À l'inverse des chimpanzés et des

gorilles, les orangs-outans aiment la solitude, mais ils peuvent être momentanément grégaires là où les fruits abondent, ou quand ils parcourent de longues distances à la recherche d'arbres porteurs de fruits.

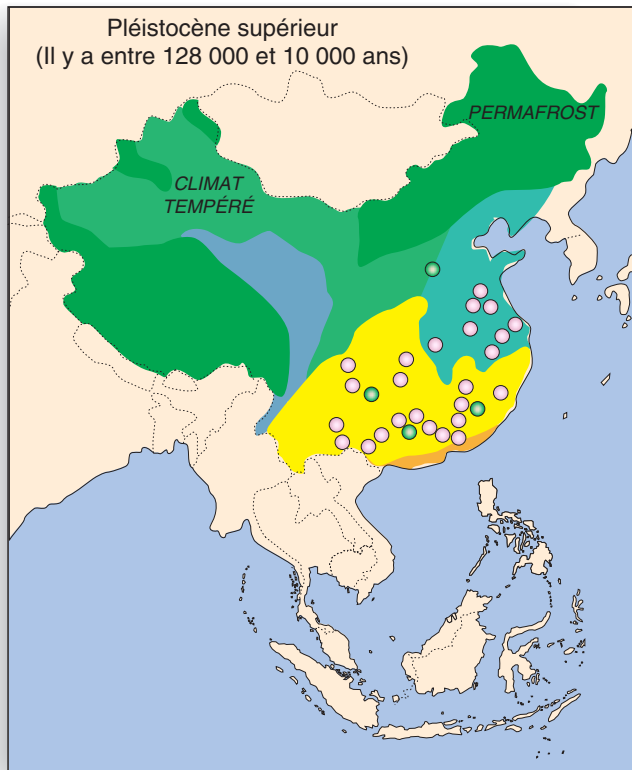
Les orangs-outans passent 60 pour cent de leur temps à manger, notamment des fruits mûrs, tels des durians, des ramboutans, des mangues, des litchis, des mangoustans et des figues. Quand les fruits manquent, ils mangent des feuilles tendres, des graines et des fruits à l'enveloppe parfois très dure, des fleurs, le cambium (le tissu sous l'écorce des arbres) et l'écorce des arbres, des lianes et même des insectes.

Les femelles sont sexuellement matures entre 11 et 15 ans, mais elles n'ont leur premier petit que quelques années plus tard. L'intervalle de temps entre deux gestations, un des plus longs parmi les mammifères, varie entre cinq et huit ans. De par ce rythme de reproduction, une femelle n'a que deux ou trois petits.

Les mâles orangs-outans se répartissent en deux types, les adultes et les subadultes (voir la figure 3). Les adultes pèsent en moyenne 75 kilogrammes et se distinguent par des

poches sous le menton, nommées sacs laryngés, qui font résonner leurs longs cris, par de larges bajoues qui sont des renflements en forme de demi-lune à la hauteur des joues et par une fourrure dense. Les subadultes ne dépassent guère la taille des femelles et ne développent ces attributs qu'au bout d'une vingtaine d'années. On ne connaît pas les facteurs qui déterminent le passage d'un subadulte au stade adulte. Les deux types sont sexuellement matures, cependant, les adultes ont souvent la préférence des femelles.

Leur rythme de reproduction et leur dépendance vis-à-vis de la forêt quant à leurs ressources alimentaires rendent ces singes très vulnérables. De surcroît, d'autres éléments, récemment mis en évidence par Roberto Delgado et Carel van Shaik, de l'Université de Duke, fragilisent aussi les populations d'orangs-outans : l'exploitation massive de la forêt pour le bois et pour les cultures, la chasse, le braconnage et les incendies expliquent pourquoi ils sont aujourd'hui parmi les espèces les plus menacées au monde. Leur aire de répartition diminue de jour en jour. Il en est ainsi depuis des milliers d'années.



inféodés au climat subtropical, à reculer vers le Sud et vers l'Est (les sites où ont été trouvés des fossiles sont marqués d'un point vert). À l'inverse, les cercopithèques, tels les macaques (sites marqués



par un point rose) se sont adaptés à différents types de climats (chaud, tempéré, désertique...). Simultanément, les orangs-outans finissaient par disparaître du continent.

Les orangs-outans fossiles

L'origine ancienne des orangs-outans est mal connue. Entre 8 millions d'années et 475 000 ans, aucun reste fossile apparenté à ce grand singe n'a été découvert. Il faut remonter entre 8 et 12 millions d'années, pour trouver un singe fossile, *Sivapithecus indicus*, qui partage de nombreux caractères avec les orangs-outans actuels : des orbites et une région interorbitaire étroites ; un crâne, vu de profil, creusé ; des incisives centrales très larges comparées aux incisives latérales. S'agit-il d'un groupe frère des orangs-outans actuels ou de leur ancêtre ?

Les fossiles montrent que les orangs-outans occupaient l'ensemble de ce qui était le plateau de Sunda. En 1887, Eugène Dubois, médecin et anatomiste à l'Université d'Amsterdam, découvre les premiers vestiges de ces singes sur l'île de Sumatra. Il cherchait les traces du « chaînon manquant » entre l'homme et les grands singes. Pourquoi en Indonésie ? Parce que selon son contemporain, le biologiste Ernst Haeckel, l'ancêtre de l'homme ressemblait au gibbon, le plus petit des singes anthropoïdes et l'hôte des forêts tropicales asiatiques. À défaut de fossiles humains (il sera plus

heureux sur l'île de Java), Dubois a récolté sur le site de Padang plusieurs centaines de dents d'orangs-outans datées du Pléistocène supérieur (il y a entre 128 000 et 10 000 ans), conservées aujourd'hui au Muséum d'histoire naturelle de Leyde, aux Pays-Bas.

Par la suite, de nombreux anthropologues vietnamiens et chinois, toujours en quête de vestiges d'une présence humaine en Asie du Sud-Est, mettront au jour des dents d'orangs-outans. Au Vietnam, les plus anciens témoignages datent de 475 000 ans sur le site de Tham Kuyen, et les plus récents de 23 000 ans sur le site de Nguom Rockshelter. Seule la Chine aurait livré quelques dents plus anciennes, datées du Pléistocène inférieur (une période comprise entre 2,5 millions d'années et 780 000 ans), mais leur détermination reste sujette à caution.

Les orangs-outans sont ainsi les primates les plus abondants dans les sites du Pléistocène, mais ils sont les plus mal connus. Ce paradoxe s'explique par la nature des fossiles récoltés : il s'agit essentiellement de dents isolées. Les restes squelettiques, tels les os des membres, sont trop fragmentaires pour être dignes d'intérêt.

En 1948, le paléontologue Dirk Hooijer a décrit deux premières sous-espèces d'orangs-outans fossiles, *Pongo pygmaeus palaeosumatrensis*, à Sumatra et *Pongo pygmaeus weidenreichi*, en Chine. La distinction de ces nouvelles sous-espèces est fondée sur la taille des dents : certaines dents des formes anciennes sont plus grandes que celles des formes actuelles (les dimensions des dents sont caractérisées par le produit de la longueur de la couronne par sa largeur). Les résultats obtenus par l'étude des dents coïncident avec la répartition géographique des deux sous-espèces.

En 1995, l'équipe de Jeffrey Schwartz, de l'Université de Pittsburgh, a étudié les dents fossiles d'orangs-outans disparus extraites des sites vietnamiens. Avec le même paramètre de taille, quatre nouvelles sous-espèces ont été identifiées : *Pongo pygmaeus ciochoni*, à Lang Trang, *Pongo pygmaeus devosi*, à Hang Hum, *Pongo pygmaeus fromageti*, à Tham Om, et, enfin, *Pongo pygmaeus kahlkei* sur le site de Tham Kuyen. Sur ce site, les paléontologues ont également découvert une nouvelle espèce d'orang-outan, *Pongo hooijeri*.

La validité de ces sous-espèces reste discutée. La forme des dents est un



V. Bischof

3. LES FEMELLES orangs-outans (*en haut, ici avec un jeune*) pèsent environ 35 kilogrammes, alors que les mâles atteignent souvent le double. De plus, les mâles se répartissent en subadultes et en adultes (*en bas*). Ces derniers ont des sacs laryngés sous le menton, de larges bajoues et une fourrure dense.

critère délicat pour distinguer les orangs-outans du Pléistocène des orangs-outans actuels, car les dentitions de ces deux groupes montrent une même variabilité. Par ailleurs, les dimensions des couronnes de toutes les sous-espèces réunies, actuelles ou fossiles, se recoupent, même si certaines dents fossiles, particulièrement les prémolaires et les molaires, sont bien plus grandes que celles des plus grands mâles actuels.

Au Vietnam, la découverte récente du premier squelette complet d'un orang-outan auquel étaient associés les restes d'un jeune apporte des informations inédites sur l'anatomie de ces grands singes fossiles. Les deux spécimens ont été mis au jour dans une grotte de la province de Hoà Binh par des villageois qui cherchaient des œufs de serpents.

Avec Vu The Long, de l'Institut d'archéologie de Hanoi, j'ai étudié ces squelettes. La datation au carbone 14 n'a donné aucun résultat en raison de la forte altération des os, sans doute due au climat chaud et humide de ces régions. L'ancienneté de ces fossiles n'est pas aujourd'hui déterminée avec précision, mais ils datent vraisemblablement du Pléistocène supérieur. La morphologie des dents est peu différente de celle des orangs-outans actuels, alors que leur taille, notamment celle des prémolaires et des molaires, est plus proche de celle des autres spécimens fossiles. Les canines de l'adulte, de petite taille, indiquent qu'il s'agit d'une femelle. Grâce à son squelette entier, pour la première fois, on peut estimer sa taille et ses proportions corporelles.

Ce squelette complet apporte des éléments de réponse à un débat qui a commencé dans les années 1980. Pour certains, les orangs-outans du Pléistocène étaient des animaux de plus grande taille que les orangs-outans actuels : ils se déplaçaient plus souvent au sol que dans les arbres. Pour d'autres, la plus grande taille de certaines dents fossiles ne signifie pas que les orangs-outans qui les portaient étaient plus grands.

Le squelette de l'orang-outan de Hoà Binh correspond à un individu qui pesait entre 40 et 50 kilogrammes. Comparées à celles des orangs-outans actuels, ses mâchoires sont plus larges et plus robustes. Les os longs, hormis le radius, sont de même longueur que ceux d'une femelle actuelle de petite taille.

Toutefois, les proportions des membres sont différentes. La comparaison de l'indice intermembral (le rap-

port de la longueur du membre supérieur sur celle du membre inférieur) de l'orang-outan de Hoà Binh avec celui des orangs-outans actuels indique que les bras du spécimen fossile sont plus longs. Par ailleurs, l'indice brachial, qui compare les deux segments du bras, précise que cette différence est due à la grande longueur du radius. Les proportions de ses membres, proches de celles d'un gibbon, un animal qui se déplace en se suspendant par les bras, indiquent une vie plutôt arboricole.

La disparition des orangs-outans

La hausse du niveau des mers à la fin du Pléistocène a séparé les orangs-outans en populations insulaires et continentales. Toutefois, comment expliquer leur disparition du continent et leur survie uniquement sur les deux plus grandes îles de l'archipel indonésien ?

Aujourd'hui, les orangs-outans vivent seulement sur les îles de Bornéo et de Sumatra, alors que les populations anciennes peuplaient des territoires beaucoup plus vastes. Au Pléistocène moyen et supérieur (entre 780 000 et 10 000 ans), ils vivaient sur une vaste zone comprenant le Cambodge, la Chine, le Laos, la Thaïlande, le Vietnam ainsi que les terres de Java, de Bornéo et de Sumatra.

Pour comprendre cette vaste répartition des orangs-outans fossiles, revenons à l'histoire du continent eurasiatique. Au Pléistocène, celui-ci a subi plusieurs phénomènes climatiques (dûs aux fluctuations de l'orbite terrestre autour du Soleil) qui en ont bouleversé la géographie. Les périodes glaciaires et interglaciaires ont eu un impact particulier en Asie, car, dans le Sud-Est, les conditions climatiques de la chaîne himalayenne et du plateau tibétain ont amplifié l'intensité des variations de températures au cours de ces périodes.

À une échelle mondiale, le niveau marin a beaucoup varié. Ce phénomène, nommé eustatisme, résulte de l'augmentation ou de la diminution du volume des glaces polaires. En période de refroidissement, le niveau marin baisse : le plateau continental émerge (*voir la figure 1*) ; des bras de terre relient les îles au continent. Pendant le réchauffement, lors de la fonte des glaces, le niveau marin remonte, insularise des terres et isole ainsi les faunes qui s'y trouvent. Ces fluctuations se sont répétées plusieurs fois au cours du Pléisto-

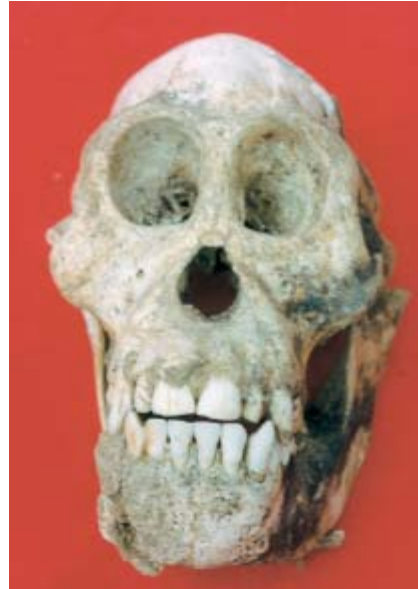
cène. Dans la partie de l'Asie qui nous intéresse, les terres émergées formaient le plateau de Sunda. L'Australie et la Papouasie formaient le plateau de Sahul, indépendant. Ce n'est qu'à la fin de cette période, il y a 10 000 ans, que l'immersion de Sunda, due à une remontée des eaux de 120 mètres, a modelé le continent eurasiatique tel qu'on le connaît aujourd'hui. La mer a séparé du continent les îles de l'Indonésie. Ces mouvements expliquent comment les faunes mammaliennes ont été morcelées et isolées géographiquement : certaines populations sont restées sur le continent, d'autres sur les îles.

Parallèlement au niveau des mers, le climat en Asie a aussi influé sur la distribution des zones subtropicales et tropicales où vivaient les orangs-outans. Ces zones ont été repoussées à la fois vers l'Est et vers le Sud : le recul des orangs-outans vers le Sud semble coïncider avec le recul de ces zones tropicales. Ces bouleversements ont aussi agi sur la répartition des grands mammifères et des autres primates, chaque espèce ayant évolué en fonction de ses capacités à s'adapter à ces changements environnementaux.

Une faible adaptabilité

L'équipe de Nina Jablonski, de l'Académie des sciences de Californie, a mis en évidence la variété des adaptations des primates aux modifications de l'environnement. Au Pléistocène inférieur, les gibbons, les orangs-outans et les gigantopithèques, une espèce de grand singe aujourd'hui disparue, occupaient essentiellement les zones tropicales, alors que les singes cercopithèques (les macaques et les colobes) et les hommes avaient une répartition plus étendue vers le Nord, dans les zones subtropicales. Au Pléistocène moyen, avec le recul de la forêt tropicale, l'aire de répartition des gibbons et des orangs-outans s'est concentrée vers le Sud. Au Pléistocène supérieur, alors que les cercopithèques et les hommes s'étendaient vers le Nord et s'adaptaient aux zones tropicales autant que tempérées, et jusqu'aux montagnes enneigées, les orangs-outans, plus vulnérables, se raréfiaient et ne survivaient que dans les zones qui deviendront les îles de Bornéo et de Sumatra lorsque le niveau des mers remontera à la fin du Pléistocène supérieur.

La présence de l'homme a également participé à la disparition de certaines populations d'orangs-outans. Par



4. LE SEUL SQUELETTE complet d'un orang-outan adulte a été trouvé dans une grotte, à Hoà Binh, au Vietnam, à quelques kilomètres de Hanoi. Il s'agit probablement d'une femelle (crâne de face et de profil).

exemple, de nombreux restes d'orangs-outans ont été trouvés dans des grottes de Sarawak et de Sabah, sur l'île de Bornéo. Ils ont vraisemblablement été la proie de chasseurs. De plus, il y a encore peu de temps, la tribu des Dayaks, à Bornéo, tuait les orangs-outans, des proies faciles en raison de leur lenteur, pour en consommer la chair. La vulnérabilité de ces grands singes a sans doute été un facteur important de raréfaction, voire de disparition. Toutefois, l'intervention de l'homme n'explique pas à elle seule l'éradication de ce primate sur le continent.

Ce primate serait-il plus fragile que les autres ? R. Delgado et C. van Shaik ont dressé l'inventaire des particularités anatomiques et physiologiques qui mettent en péril la survie de cette espèce : une durée de gestation longue et une première gestation tardive ; un intervalle de temps entre les naissances très long, jusqu'à huit ans ; le besoin d'une nourriture abondante et riche en calories ; un régime alimentaire composé principalement de fruits et de jeunes feuilles. Ces caractéristiques contrastent avec le taux de reproduction élevé et la nourriture plus variée des cercopithèques, ainsi plus aptes à s'adapter aux changements.

N. Jablonski avance d'autres arguments. Un poids élevé et un cerveau

volumineux imposent aux orangs-outans une nourriture abondante et énergétique : ils ne peuvent survivre dans une forêt où l'alternance de saisons trop contrastées prédomine. Quand les fruits se raréfient, les animaux ne peuvent maintenir leur poids. La première reproduction des femelles est alors retardée et la survie de l'espèce menacée.

Pour d'autres primatologues, les principaux facteurs qui fragiliseraient les orangs-outans sont une faible densité de population, la nécessité de parcourir une grande superficie pour la recherche de la nourriture, ou encore une localisation des populations aux basses latitudes.

Quoi qu'il en soit, une forte spécialisation, alimentaire notamment, serait la cause la plus vraisemblable d'un manque de plasticité adaptative lors des variations des conditions climatiques et environnementales.

Si l'on postule que les populations d'orangs-outans du Pléistocène avaient les mêmes caractéristiques que les populations actuelles, leur manque d'adaptabilité aux changements drastiques du climat qui ont eu lieu il y a quelque 10 000 ans expliquerait leur disparition des terres continentales de l'Asie du Sud-Est.

Anne-Marie BACON est paléontologue dans l'UPR 2147 du CNRS, «Dynamique de l'évolution humaine».

Nina JABLONSKI, M. WHITFORT, X. QIN-QI et N. ROBERTS-SMITH, *The influence of life history and diet on the distribution of catarrhine primates during the Pleistocene in eastern Asia*, in *Journal of Human Evolution*, n° 39, pp. 131-157, 2000.

A.-M. BACON et Vu THE LONG, *The first discovery of a complete skeleton of an orang-utan in a cave of the Hoà Binh Province, Vietnam*, in *Journal of Human Evolution*, n° 41, pp. 227-241, 2001.

R.A. DELGADO et C.P. van SHAIK, *The behavioral Ecology and conservation of the Orang-utan : A tale of two islands*, in *Evolutionary Anthropology*, pp. 201-218, 2001.

D'étranges objets quantiques

GRAHAM COLLINS

À l'échelle macroscopique, les condensats de Bose-Einstein révèlent les étranges comportements des objets quantiques.

A la fin des années 1940, pour instruire ses lecteurs de la physique moderne, le physicien américain d'origine russe George Gamow, écrivit une série de livres intitulée *Les aventures de Monsieur Tompkins*. Il projetait son héros dans des contrées mystérieuses où les constantes fondamentales, par exemple la vitesse de la lumière ou la constante de Planck, prenaient des valeurs accessibles à l'entendement humain. Grâce à cet artifice, Monsieur Tompkins vivait au quotidien des effets relativistes ou quantiques. Par certains aspects, les condensats de Bose-Einstein font du rêve de Gamow une réalité : ce sont des manifestations à l'échelle humaine de phénomènes quantiques.

Imaginons Monsieur Tompkins réduit à la taille d'une molécule et plongé dans un des nuages de gaz où les physiciens fabriquent les condensats de Bose-Einstein. Les atomes lui apparaissent comme des billes de verre insécables, s'entrechoquant continuellement. Dans un premier temps, la vitesse des billes diminue, les distances qui les séparent décroissent et la densité du gaz augmente à mesure qu'il se refroidit. Puis les billes elles-mêmes changent d'aspect : les plus lentes deviennent troubles et un millier de fois plus «grosses», et les atomes deviennent fantomatiques. Au centre du nuage, deux des atomes parmi les plus lents et les plus nébuleux s'enveloppent mutuellement et semblent fusionner, formant un unique globule qui absorbe d'autres atomes, d'abord par petits groupes, puis par dizaines, jusqu'à ce que, soudain, il ne subsiste plus du nuage qu'une énorme bulle immobile. Quel est cet objet mystérieux ? Un «condensat de Bose-Einstein». Bien que les atomes qui le constituent aient conservé leur existence propre, ils ont perdu leur individualité.

La mécanique quantique gouverne le monde. La plupart du temps, lorsque des myriades de particules sont en jeu, leurs étranges comportements quantiques se compensent mutuellement, créant ainsi la façade de physique classique que nous considérons comme la réalité.

La formation d'un condensat de Bose-Einstein repose sur quatre concepts fondamentaux qui régissent le monde quantique. Tout d'abord, les particules ne sont pas seulement de simples entités ponctuelles, mais se comportent aussi comme des ondes. Toute l'information qu'il est possible de connaître sur une particule est contenue dans une «onde de probabilité» que l'on nomme fonction d'onde de la particule : en chaque point de l'espace, l'amplitude de la fonction d'onde d'un électron, par exemple, donne sa probabilité de présence.

Le deuxième concept fut découvert en 1926 par le physicien allemand Werner Heisenberg. Il stipule que certains couples de grandeurs physiques ne peuvent être simultanément déterminés avec une précision parfaite. De même qu'une impulsion (lumineuse ou sonore) est un mélange de plusieurs fréquences, la fonction d'onde d'une particule