

des Asiatiques) fondait la lignée aboutissant finalement à l'*Homo sapiens*.

À un kilomètre de Gran Dolina, Juan-Luis Arsuaga et ses collègues de l'Université Complutense de Madrid ont découvert un important dépôt de fossiles humains, remarquablement conservés, âgés d'environ 300 000 ans. Ils semblent être des ancêtres des Néandertaliens à certains égards, mais ne sont en aucun cas de vrais Hommes de Neandertal. Bien que les paléontologues soulignent que les Néandertaliens (et peut-être même d'autres espèces apparentées) constituaient un développement indigène européen, ces fossiles de Sima de los Huesos («La Fosse aux Ossements») ne permettent d'établir aucun lien antérieur avec leurs voisins de Gran Dolina.

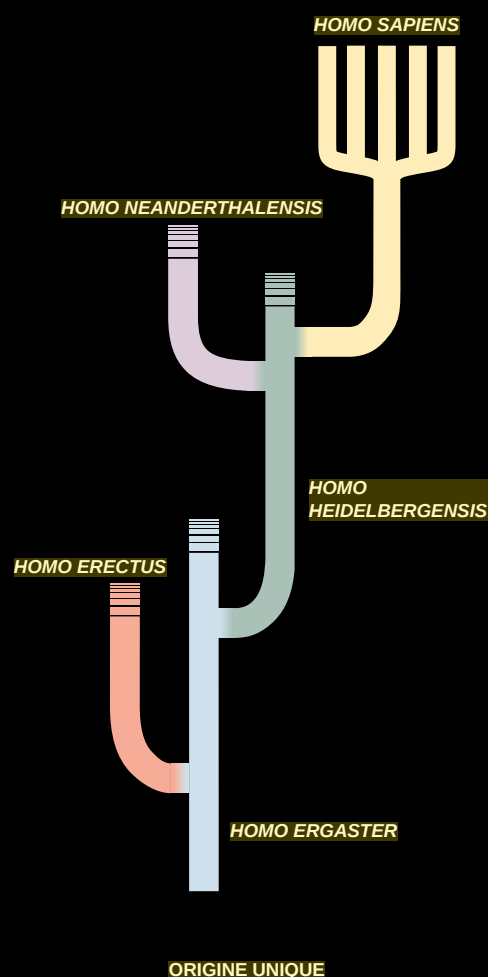
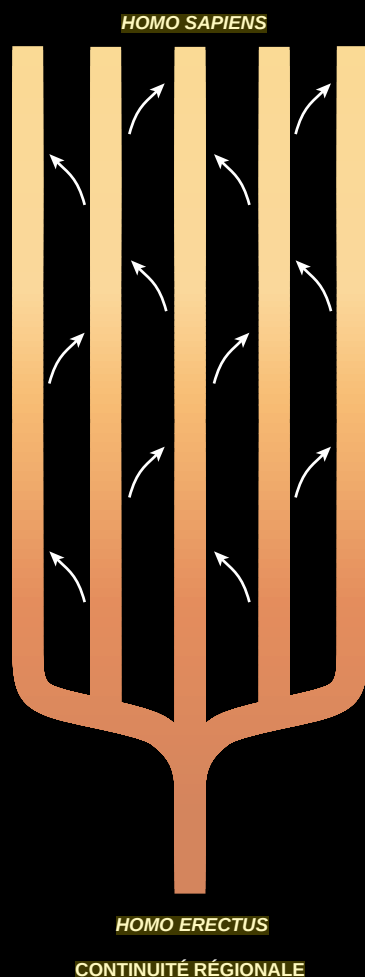
Nés en Afrique

Depuis longtemps, deux modèles d'émergence de l'homme s'opposent : celui de la «continuité régionale» et celui de l'«ancêtre africain unique» (voir *L'Afrique, berceau récent de l'Homme moderne* et *L'évolution multirégionale de l'Homme*, *Pour la Science*, juin 1992). Selon le premier modèle, les *Homo erectus* archaïques (y compris l'*Homo ergaster*) ne sont autres que des variantes anciennes de l'*Homo sapiens* et, pendant les deux derniers millions d'années, l'histoire de notre lignée est celle de tout un ensemble de populations appartenant à ces espèces, qui ont évolué dans toutes les régions de l'ancien monde en fonction des conditions locales, mais dont l'unicité a cependant été maintenue par les échanges de gènes. Les variantes géographiques que l'on observe aujourd'hui parmi les principales populations humaines ne seraient alors que le résultat des dernières permutations de gènes.

Le second modèle, qui coïncide bien mieux avec ce que l'on connaît du mécanisme général de l'évolution, propose que toutes les populations humaines modernes descendent d'une seule population ancestrale, apparue en un lieu unique, il y a 150 000 à 100 000 ans. Les fossiles, bien que ne constituant que de minces preuves, suggèrent que cette origine unique soit l'Afrique (ou peut-être le Proche-Orient). Les partisans de ce scénario se fondent en outre sur les arguments que fournissent des études comparatives de biologie moléculaire.

L'observation du rôle périphérique des populations d'hominidés en Asie

12. LES DEUX PRINCIPALES THÉORIES sur l'origine de l'homme moderne sont schématisées ci-contre. Selon la notion de «continuité régionale», toutes les populations humaines modernes descendent de l'*Homo erectus*, mais chaque population régionale a suivi sa propre évolution, tout en échangeant suffisamment de gènes avec les populations voisines (les flèches indiquent les échanges de gènes) pour maintenir son appartenance à une même espèce ; elles finirent toutes par évoluer vers l'*Homo sapiens*. La théorie de l'«origine unique» soutient que l'*Homo sapiens* descend d'une seule population ancestrale qui aurait émergé en un lieu unique, probablement en Afrique.



L. Grace, d'après The Last Neanderthal, de I. Tattersall (Macmillan, 1995)

et en Europe me fait penser que l'origine africaine et récente de l'*Homo sapiens* est la plus plausible. L'émergence de l'homme moderne est un événement récent, qui a conclu une longue et complexe diversification évolutive des hominidés ; les fossiles montrent que, dès les tout premiers temps, l'Afrique était le centre dont ont émergé de nouvelles lignées d'hominidés. D'intéressants développements évolutifs ont eu lieu à la fois en Europe et en Extrême-Orient, mais ils concernaient des populations qui, non seulement avaient été engendrées, mais qui avaient également fini par être supplantées par des émigrants venus d'Afrique. Notre lignée est née en Afrique et, depuis que les hominidés se sont émancipés de leur habitat en lisière de forêts, ce continent n'a cessé de produire des vagues successives d'émigrants vers toutes les régions de l'ancien monde.

Les datations de fossiles orientaux indiquent que la mobilité des populations humaines remonte au

début des hominidés dont la silhouette est résolument moderne. D'autre part, les fossiles récemment trouvés en Europe montrent que, même si différentes variantes régionales y ont évolué, l'histoire de l'occupation de cette région n'est pas simple. Les nouvelles données sur le passé lointain de l'homme ont surtout servi à souli-

gner la complexité des événements qui ont jalonné notre évolution. Nous ne pouvons qu'espérer que l'étude toujours plus précise de fossiles fera ressortir les détails de ce qui fut manifestement un lent processus de spécialisation des hominidés et de mouvements de populations, au cours des deux derniers millions d'années.

Ian TATTERSALL dirige le département d'anthropologie du Musée d'histoire naturelle de New York.

J.-L. ARSUGA et al., *Three New Human Skulls from the Sima de los Huesos Middle Pleistocene Site in Sierra de Atapuerca, Spain*, in *Nature*, vol. 362, n° 6420, pp. 534-537, 8 avril 1993.

C.C. SWISHER III et al., *Age of the Earliest Known Hominids in Java, Indonesia*, in *Science*, vol. 263, n° 5150, pp. 1118-1121, 25 février 1994.

L. GABUNIA et A. VEKUA, *A Plio-Pleistocene Hominid from Dmanisi, East Georgia, Caucasus*, in *Nature*, vol. 373, n° 6514, pp. 509-512, 9 février 1995.

E. CARBONELL et al., *Lower Pleistocene Hominids and Artifacts from Atapuerca-TD6 (Spain)*, in *Science*, vol. 269, n° 5225, pp. 826-830, 11 août 1995.

HUANG W. et al., *Early Homo and Associated Artefacts from Asia*, in *Nature*, vol. 378, n° 6554, pp. 275-278, 16 novembre 1995.

J.H. SCHWARTZ et I. TATTERSALL, *Whose Teeth?*, in *Nature*, vol. 381, n° 6579, pp. 201-202, 16 mai 1996.

C.C. SWISHER III et al., *Latest Homo erectus of Java : Potential Contemporaneity with Homo sapiens in Southeast Asia*, in *Science*, vol. 274, n° 5294, pp. 1870-1874, 13 décembre 1996.

Comment notre cerveau calcule-t-il ?

STANISLAS DEHAENE

L'observation de notre cerveau en activité révèle quelles régions cérébrales sont spécialisées dans le traitement arithmétique (comparaison, soustraction et multiplication) et comment leurs actions sont coordonnées.

En 1945, le mathématicien Jacques Hadamard publie un essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique. Il y résume sa longue enquête sur la représentation mentale des objets mathématiques, glanant des indices dans les biographies de ses prédécesseurs, dans les témoignages de ses contemporains les plus prestigieux et dans son expérience personnelle. Il en déduit d'intéressantes hypothèses sur les conditions psychologiques de la découverte mathématique.

Pourtant, son brillant mémoire s'achève sur une interrogation. Mentionnant les théories de Franz Joseph Gall, qui postulait un organe cérébral dédié au «sens des rapports des nombres», il conclut : «Des idées plus ou moins analogues à celles de Gall vaudraient la peine d'être suivies. Mais comment?... Arrivera-t-il jamais que des mathématiciens en sachent assez au sujet de la physiologie du cerveau et que des neurophysiologistes soient suffisamment au courant de la découverte mathématique pour qu'une coopération efficace soit possible?»

Le vœu d'Hadamard est en voie d'être exaucé : nous étudions aujourd'hui scientifiquement les bases cérébrales des mathématiques élémentaires. Avec des méthodes issues de la psychologie cognitive, de la neuropsychologie et de l'imagerie cérébrale, nous découvrons les zones cérébrales actives lors des opérations arithmétiques. Mes propres recherches se sont concentrées sur les plus

simples, mais aussi les plus fondamentaux des objets mathématiques : les nombres entiers.

L'analyse du temps que nous mettons à comparer deux nombres indique que notre cerveau examine les mots ou les chiffres arabes, expressions symboliques, selon une représentation interne des quantités numériques analogue à une ligne le long de laquelle les nombres se succéderaient dans l'ordre croissant. Cette représentation et la manipulation des nombres utilisent de façon prépondérante une aire cérébrale, la région pariétale inférieure. Toutefois, selon l'opération arithmétique que nous effectuons, comparaison, soustraction ou multiplication, cette région s'active dans l'un ou l'autre hémisphère et coordonne son activité avec plusieurs autres aires spécialisées et réparties dans le cerveau, notamment celles qui contrôlent la production du langage.

Comparons deux nombres

Supposons que vous ayez quelques francs en poche et que vous envisagiez d'acheter différents articles. Combien de temps vous faudra-t-il pour juger si leur prix dépasse ou non vos faibles moyens ? En 1967, Robert Moyer et Thomas Landauer, de l'Université Stanford, ont remarqué que le temps de comparaison de deux nombres est d'autant plus long que ceux-ci sont proches : nous comparons plus rapidement 8 avec 2 que 5 avec 6.

Avec Emmanuel Dupoux et Jacques Mehler, du Laboratoire de sciences

cognitives et psycholinguistiques de l'EHESS et du CNRS, nous avons observé le même «effet de distance» pour la comparaison de nombres à deux chiffres. Dans l'une de nos expériences, nous avons étudié la comparaison à une référence fixe de 65. L'affichage d'un nombre de deux chiffres sur un écran d'ordinateur déclenchait un chronomètre qui s'arrêtait dès que la personne testée répondait «plus grand» ou «plus petit» en appuyant sur un bouton. Les résultats sont d'une grande régularité. À mesure que le nombre comparé se rapproche de 65, le temps de réponse augmente (voir la figure 2) ; les erreurs suivent une courbe semblable.

Lorsque l'on reconstruit cette courbe par un modèle mathématique, on découvre que le temps de réponse est une fonction du logarithme de la distance entre les nombres. De façon remarquable, une loi logarithmique similaire rend compte du temps nécessaire à un sujet humain pour comparer deux grandeurs physiques, tels le poids ou la longueur de deux objets... ou du temps nécessaire à une balance de Roberval pour basculer, d'autant plus long que les valeurs des poids placés sur ses plateaux sont voisines. Ainsi les nombres, objets symboliques abstraits, semblent traités par le cerveau humain comme des quantités physiques concrètes et continues. Même présentés sous forme d'une série de chiffres arabes, ils seraient convertis mentalement en une quantité interne continue, puis «pondérés» mentalement.

Dans le cas des nombres à deux chiffres, les résultats de l'expérience de