

SAPIENS

L'ODYSSÉE DE L'HUMANITÉ



Génétique

UNE ESPÈCE MOSAÏQUE

Cognition

LA CULTURE, MOTEUR
DE L'ÉVOLUTION HUMAINE

Migrations

LA PLUS INVASIVE
DES ESPÈCES



Philippe Ribeau

Responsable éditorial web

« HOMO SAPIENS », UNE ÉVOLUTION MULTIFORME

Autrefois, la vision de l'évolution humaine était simple: l'arbre phylogénétique se résumait à une ligne où se succédaient *Australopithecus*, *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* et enfin *Homo sapiens*.

Mais depuis quelques décennies, les nombreux fossiles découverts ont balayé cette vision: à toutes époques, plusieurs espèces humaines ou préhumaines ont vécu simultanément. Dans le passé récent, notre espèce a coexisté avec l'homme de Néandertal, bien sûr, mais aussi avec le petit homme de Florès, découvert en 2003 en Indonésie, et l'homme de Denisova, découvert en 2008 par une seule phalange retrouvée en Sibérie.

La révolution de l'analyse de l'ADN ancien a révélé que notre espèce est une mosaïque: nos ancêtres se sont croisés à plusieurs reprises avec ces humains archaïques. Notre génome contient ainsi entre 1 à 6% de gènes néandertaliens et dénisoviens, dont plusieurs ont joué un rôle clé dans le succès d'*Homo sapiens*. Ainsi, de linéaire, notre arbre est devenu ramifié et même touffu!

Autre idée battue en brèche: si notre espèce a supplanté les autres, ce serait à cause de meilleures capacités cognitives. Mais on sait aujourd'hui que les cultures «modernes» n'étaient pas l'apanage d'*Homo sapiens*. L'homme de Néandertal utilisait aussi des pigments, des parures et autres marqueurs de la pensée symbolique. Et, surtout, l'idée émerge que si notre espèce brille par son intelligence et sa créativité, c'est parce que nous sommes avant tout des animaux sociaux. Langage, empathie, enseignement: ces éléments qui facilitent les interactions sociales et le partage des connaissances ont été autant de clés du succès évolutif d'*Homo sapiens*.

Quoi qu'il en soit, cette évolution n'est pas terminée. Depuis l'apparition d'*Homo sapiens*, de profonds changements dans les sociétés humaines – au premier rang desquels l'avènement des sociétés agricoles et l'explosion démographique associée – ont accéléré le brassage génétique de notre espèce et favorisé des mutations. Les yeux bleus ou la tolérance au lactose, par exemple, sont apparus «récemment». Et ce n'est sans doute pas fini...

Pour la Science
170 bis boulevard du Montparnasse - 75014 Paris
Tél. : 01 55 42 84 00

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier

Rédacteur : François Savatier, Sean Bailly

Conception graphique : Pauline Bilbault

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, Charlotte Calament

Révisseuse : Anne-Rozenn Jouble

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Marketing & diffusion : Charline Buché

Chef de produit : Eléna Delanne

Presse et communication : Susan Mackie

susan.mackie@pouirlascience.fr

Tél. : 01 55 42 85 05

Directeur de la publication et gérant : Frédéric Mériot

Publicité France

Stéphanie Jullien

stephanie.jullien@pouirlascience.fr

Tél. : 06 19 94 79 25

© Pour la Science S.A.R.L.

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. Certains articles de ce numéro sont publiés en accord avec la revue Spektrum der Wissenschaft (© Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, mbHD-69126, Heidelberg). En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).

© Couverture : Pour la Science ; KieferPix/shutterstock.com

EAN : 9782842452193

Dépôt légal : Novembre 2020

Suivez-nous sur





P/16

P/04/NOTRE GRANDE FAMILLE
BERNARD WOOD

P/12/L'ARBRE PHYLOGÉNÉTIQUE
HUMAIN

P/16/UNE ESPÈCE MOSAÏQUE
SILVANA CONDEMI ET ANNA DEGIOANNI

P/30/« HOMO SAPIENS » VIEILLIT
D'AU MOINS 100 000 ANS
FRANÇOIS SAVATIER

P/35/ LA PLUS INVASIVE
DES ESPÈCES **CURTIS MAREAN**

P/47/LA NAISSANCE
DES CULTURES MODERNES
FRANCESCO D'ERRICO



P/35



P/47

P/63/LA CULTURE, MOTEUR
DE L'ÉVOLUTION HUMAINE
KEVIN LALAND

P/76/L'HOMME S'EST-IL
AUTODOMESTIQUÉ ?
HERVÉ LE GUYADER



P/82

P/82/LE JOUR OÙ L'HUMANITÉ
A FAILLI DISPARAÎTRE
CURTIS MAREAN

P/92/UNE ÉVOLUTION
EN MARCHÉ **JOHN HAWKS**

Notre grande famille

BERNARD WOOD

La découverte de nouveaux fossiles et la paléogénétique ont compliqué la vision que l'on se faisait de notre évolution. De linéaire, elle est devenue ramifiée. Et même touffue !

Quand j'ai commencé à étudier les plus anciennes formes préhumaines et humaines, à la fin des années 1960, il était admis que leurs fossiles étaient ceux de nos ancêtres. On pensait alors que, dans une vision linéaire de l'évolution, nécessairement progressive, plus un fossile pré-humain était ancien, plus l'animal associé ressemblait à un grand singe. Rien n'est plus faux.

Le registre fossile montre aujourd'hui que, à de nombreuses reprises dans le passé s'étendant de quatre millions à un million d'années, plusieurs espèces préhumaines

et humaines ont foulé en même temps le sol de la planète. Par ailleurs, la génétique a prouvé que les ancêtres des hommes modernes cohabitaient avec d'autres espèces humaines, dont l'homme de Néandertal et celui de Denisova. Ainsi, il est certain aujourd'hui que notre lignée a souvent compté plus d'une branche simultanément, ce qui complique la recherche de nos ancêtres, et rend notre histoire évolutive plus riche.

L'hésitation qu'éprouvent les paléoanthropologues confrontés à un nouveau fossile était palpable, lorsque j'ai rendu

visite à Lee Berger, de l'université du Witwatersrand, en Afrique du Sud. Dans la grotte de Malapa, dans le même pays, il a découvert deux squelettes fossiles d'une espèce australopithèque inédite: *Australopithecus sediba*.

Si l'on considère que leurs propriétaires ont rendu leur dernier souffle il y a deux millions d'années environ, ces squelettes sont dans un état de conservation étonnamment bon. Les paléoanthropologues sont en effet plutôt habitués à découvrir une mandibule par-ci ou une phalange par-là, et si par chance ils trouvent deux os humains ou préhumains au même endroit, démontrer qu'ils proviennent du même individu n'a rien d'évident. Or *Australopithecus sediba* est d'emblée connu par deux squelettes assez complets et assez intacts pour éliminer tout risque de confusion entre les os de plusieurs individus.

Cela en fait des fossiles rares, comme ceux de Lucy, un *Australopithecus afarensis* découvert en Éthiopie en 1974, ou ceux du garçon de Turkana, un *Homo ergaster* trouvé au Kenya en 1984. Pour autant, si l'espèce découverte dans la grotte de Malapa a

fait sensation, c'est surtout parce que Lee Berger a avancé qu'elle serait l'ancêtre directe du genre humain passé et présent: le genre *Homo*.

L'importance phylogénétique d'une espèce préhumaine diffère selon qu'elle est l'ancêtre directe du genre *Homo* ou pas. C'est pourquoi la question du statut de l'australopithèque découvert à Malapa est cruciale: est-il un ancêtre direct ou seulement un parent éloigné des hommes modernes?

Rappelons que les australopithèques (avec le genre *Homo*) sont l'une des deux branches des hominines, l'autre étant celle des chimpanzés. La famille des hominidés comprend les gorilles, les chimpanzés, les

comprennent aussi les ardirithèques, des formes plus anciennes, mais pas pour d'autres pour qui ils sont des panines (lignée des chimpanzés et bonobos). Cette controverse illustre la difficulté que l'on éprouve pour établir la généalogie de l'homme moderne, alors qu'il n'en a pas toujours été ainsi.

Quand Darwin faisait autorité

En effet, à mes débuts, l'arbre de la vie de Darwin faisait autorité. L'ensemble des espèces vivantes ou éteintes y sont reliées à une racine commune par les branches d'un arbre semblable à un arbre généalogique. Comme chaque humain

Ainsi, dans cette conception, les branches de l'arbre partent d'une espèce vivante et remontent au tronc, jusqu'à la racine commune à toutes les formes de vie. Quant aux espèces éteintes, elles se trouvent sur des brins morts rattachés à ces branches, qui représentent les impasses de l'évolution.

Dans le cas du rameau humain, cette conception implique que les seules espèces se trouvant dans notre voisinage immédiat sur l'arbre appartiennent à des branches directement reliées au primate qui était l'ancêtre commun des humains, des chimpanzés et des bonobos. Cet ancêtre des hominines aurait vécu il y a entre cinq et huit, voire dix millions d'années.

Dans les années 1960, la représentation que l'on se faisait de ce rameau était simple. À sa base se trouvait *Australopithecus*, l'homme-singe dont, depuis les années 1920, les paléanthropologues découvraient des spécimens en Afrique australe. *Australopithecus* semblait avoir été remplacé par *Homo erectus*, un humain au cerveau plus gros originaire d'Asie qui, après être arrivé en Europe, y avait évolué pour donner l'homme de Néandertal, lui-même l'ancêtre de l'homme

Dans les années 1960, la représentation du rameau humain était simple: à sa base se trouvait *Australopithecus*, suivi d'*H. Erectus*, puis *H. neanderthalensis*, et enfin *H. sapiens*

bonobos, les orangs-outans, les humains et tous leurs ascendants jusqu'à l'ancêtre commun. Les hominines regroupent toutes les espèces humaines et australopithèques; pour certains paléanthropologues, ils

d'aujourd'hui, toutes les espèces vivantes actuelles ont des ancêtres. Alors que les espèces vivantes sont sur l'extérieur de la ramure, les espèces éteintes sont à l'intérieur, plus près du tronc.

moderne. Ainsi, alignés sur la même branche, *Australopithecus*, *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* étaient tous considérés comme des ascendants de l'homme moderne, c'est-à-dire comme les équivalents phylogénétiques de nos arrière-grands-parents, grands-parents...

Le seul hominine qui n'était pas notre ascendant était le *Paranthropus*, que l'on nomme aussi australopithèque robuste à cause de ses mâchoires et de ses dents de grande taille. Dans les années 1960, cet australopithèque était notre seul oncle, une espèce correspondant à une brindille morte reliée à la branche humaine sur laquelle tous les autres fossiles étaient installés.

La branche rectiligne des hominines est devenu un buisson avec la découverte par Louis Leakey (1903-1972) et sa femme Mary Leakey (1913-1996) de nouveaux hominines dans les gorges d'Olduvai, en Tanzanie. La quête de fossiles préhumains s'est alors déplacée de l'Afrique du Sud vers l'Afrique de l'Est. Ce changement s'est opéré non seulement parce qu'en Afrique de l'Est, le flux des découvertes a vite atteint le débit d'un torrent, mais aussi parce que la géologie y est favorable à la datation.



Les squelettes de Malapa sont parmi les fossiles d'hominines anciens les mieux conservés.

En Afrique australe, excepté quelques squelettes bien préservés, tels ceux de Malapa, la plupart des fossiles que l'on y découvre proviennent de restes de repas de léopards et d'autres prédateurs. Le ruissellement de l'eau finit par provoquer des

éboulements, qui les introduisent dans les grottes. On les retrouve donc au sein de cônes d'éboulis qui ne respectent pas l'ordonnement chronologique habituel des strates (les plus anciennes en bas). En outre, les chercheurs étaient jusqu'aux

années 1960 dépourvus de toute méthode permettant de dater précisément les sédiments de ces grottes.

En Afrique de l'Est, la situation géologique est tout autre. Tous les fossiles d'hominines y proviennent de sites proches de la vallée du Rift oriental, qui court depuis la mer Rouge jusqu'au lac Malawi et au-delà. Près de cette vallée créée par le lent écartèlement de l'Afrique se trouvent des volcans. On y découvre les fossiles au sein de sédiments déposés autour de lacs ou le long de rivières.

Un premier moyen de dater ces strates rocheuses est fondé sur le fait qu'elles ont conservé l'orientation du champ magnétique terrestre au moment de leur forma-

tion. De plus, elles sont souvent surmontées de strates de cendres issues des volcans du rift, dont les éruptions sont datables. Qui plus est, les cendres d'une même éruption se sont souvent répandues sur des centaines voire des milliers de kilomètres de

distance: elles permettent ainsi d'établir des liens chronologiques entre sites distants. Grâce à ces circonstances favorables, les chercheurs peuvent déterminer en Afrique de l'Est l'âge des strates indépendamment des fossiles qu'elles recèlent.

Les piles sédimentaires des gisements à hominines les plus riches d'Afrique de l'Est, tels ceux du bassin de l'Omo-Turkana ou de la vallée de l'Awash, couvrent souvent des millions d'années. Cette large amplitude chronologique permet de placer chaque groupe de fossiles d'hominines entre une date où les formes correspondantes étaient certainement apparues et une date où elles avaient certainement déjà disparu.

entre 2,3 millions et 1,4 million d'années, *Paranthropus boisei* et *Homo habilis* ont occupé la même région de l'Afrique orientale. Ils étaient si distincts qu'il est impossible de confondre leurs crânes et leurs dents, même pour des fossiles très fragmentaires. De même, les hominines de l'Est sont différents de ceux du Sud, nous y reviendrons.

D'anciens métissages ?

La découverte des fossiles de *Paranthropus boisei* et d'*Homo habilis* dans des strates proches est intéressante, parce qu'elle implique que l'une au moins de ces deux espèces n'est pas notre ascendant direct. Nous savons aujourd'hui que les Néandertaliens et les hommes modernes se sont métissés. Peut-on imaginer la même chose dans le cas de *Paranthropus boisei* et d'*Homo habilis*? Leurs très grandes différences physiques suggèrent le contraire.

Dans le passé récent du genre *Homo*, plusieurs espèces ont aussi coexisté. *Homo neanderthalensis*, que l'on peut considérer comme déjà caractérisé il y a 250 000 ans, et qui a disparu il y a plus de 30 000 ans, est la

La branche rectiligne de la lignée humaine est devenue un buisson avec la découverte par Louis et Mary Leakey de nouveaux hominines en Tanzanie

tion. De plus, elles sont souvent surmontées de strates de cendres issues des volcans du rift, dont les éruptions sont datables. Qui plus est, les cendres d'une même éruption se sont souvent répandues sur des centaines voire des milliers de kilomètres de

Cette spécificité est-africaine a permis d'établir avec certitude que des espèces préhumaines et humaines ont, à plusieurs reprises, été contemporaines entre quatre millions et un million d'années. Par exemple, il y a approximativement

première espèce humaine distincte d'*Homo sapiens* à avoir été identifiée. C'était il y a plus de cent cinquante ans, et au fil du temps, les chercheurs lui découvrent toujours plus de différences avec l'homme moderne. Depuis, nous savons aussi qu'*Homo erectus* a probablement vécu en Eurasie bien plus longtemps qu'on ne le pensait. En Indonésie, on a découvert récemment *Homo floresiensis*, probablement le quatrième hominine à avoir vécu sur notre planète au cours des 100 000 dernières années. Sans doute était-il confiné à l'île de Florès.

La phalange du cinquième homme

Un cinquième hominine, l'homme de Denisova, n'est connu que par une phalange datant de 40 000 ans ? dont l'ADN qu'on a pu en extraire prouve le statut humain. Enfin, l'ADN des humains actuels a aussi livré des traces de métissage avec au moins une autre lignée humaine fantôme qui vivait encore il y a 100 000 ans. De toutes ces observations se dégage une certitude : l'évolution de l'humanité a été bien plus buissonnante qu'on ne le pensait il y a seulement dix ans.

Ce fut une grande surprise, mais cela n'aurait pas dû être le cas, car le buissonnement évolutif semble plutôt avoir été la règle que l'exception au sein des groupes de mammifères dans le passé. Des voix critiques

Dans le passé récent du genre « Homo », jusqu'à cinq espèces distinctes ont coexisté

se sont cependant élevées. Elles accusent les paléanthropologues d'avoir identifié à tort de nouvelles espèces humaines dans leurs données paléontologiques, soit par excès de zèle dû à la recherche de gloire, soit pour obtenir des financements.

Je m'inscris en faux et pense plutôt que les nouvelles espèces décrites reflètent un phénomène évolutif réel. Tout d'abord, le registre fossile est si lacunaire qu'il est logique de s'attendre à ce que l'on recense moins d'espèces que celles ayant réellement existé.

Ensuite, l'étude et la comparaison d'espèces vivantes proches nous apprennent que des espèces incontestablement différentes sont difficiles à distinguer à partir de leurs os et dents. Qui distingue par

exemple au premier coup d'œil les différences séparant un squelette d'âne de celui d'un cheval de stature comparable ?

En outre, on observe que la plupart des espèces de mammifères qui peuplaient la

Terre il y a entre trois millions et un million d'années n'ont plus de descendants. Alors pourquoi serait-ce étonnant qu'il en soit de même chez les hominines ?

S'il est vrai qu'une grande diversité a existé chez les hominines du passé, quelles pressions sélectives l'ont produite ? Les premières qui viennent à l'esprit sont d'ordre climatique. Les climats régionaux et donc les habitats évoluent : ils ont des tendances à long terme autour desquelles ils oscillent entre des extrêmes. Dans l'ensemble, entre quatre millions et un million d'années, la tendance générale a été au refroidissement et à l'assèchement. Tout en suivant cette tendance, les climats africains ont aussi fluctué, à intervalles réguliers, entre le chaud et humide et le froid et sec. Le

type de posture, de régime alimentaire et de locomotion qui étaient bien adaptés à une époque pouvait ne plus l'être autant à une autre.

Une diversité ancienne

Une autre pression sélective possible fut peut-être la compétition régnant entre hominines; si deux espèces partageaient la même niche écologique, la pression qu'elles exerçaient l'une sur l'autre par leur simple présence dans le même environnement a pu entraîner des réactions adaptatives, puis une évolution vers des stratégies de survie différentes. Ce phénomène, nommé déplacement de caractère, tend à accentuer les différences entre espèces et pourrait expliquer comment *Paranthropus boisei* et *Homo habilis* en sont venus à posséder des appareils masticatoires si différents.

Aujourd'hui, les chercheurs peuvent étudier les différences et ressemblances entre formes fossiles tant à l'échelle moléculaire qu'à l'échelle anatomique. Toutefois, s'agissant des premiers hominines, nous n'avons pas encore de données génétiques,



Homo ergaster a vécu de 1,9 à 1,3 million d'années. Auparavant placé sur la même branche qu'*Homo sapiens*, il fait maintenant branche à part.

de sorte que distinguer ascendants et cousins plus lointains reste difficile. La constatation que deux fossiles ont des mâchoires ou des dents de forme similaire ne suffit pas à prouver qu'ils partagent une histoire évolutive récente. De telles similarités peuvent

en effet se produire lorsque des pressions sélectives comparables ont entraîné à des époques différentes des réactions adaptatives comparables, se traduisant par des solutions morphologiques similaires. On parle de convergence évolutive.

De même, un organisme ne peut répondre à une pression sélective que par un nombre fini de modifications morphologiques ou physiologiques, et deux organismes différents mais assez proches peuvent s'adapter à la même difficulté d'une façon similaire.

C'est pourquoi la découverte de traits communs dans les fossiles de deux espèces différentes n'implique pas forcément que ce sont des frères taxonomiques. Il peut s'agir aussi de parents proches mais différents, qui ont convergé vers des formes présentant la même adaptation à une certaine pression de sélection.

Comment évoluera la vision qu'a la science de l'évolution humaine? Pour moi, il est clair que de nombreuses espèces d'hominines ont foulé la planète en même temps, et j'irais même plus loin: je suis prêt à parier que la diversité des hominines au cours des

quatre derniers millions d'années, que l'on ne cesse de revoir à la hausse, existait déjà auparavant. En effet, les paléanthropologues s'intéressent davantage aux hominines de moins de quatre millions d'années qu'aux plus anciens, ce qui introduit un biais dans les observations, étant donné les sites qu'ils explorent en priorité. On les comprend, tant la recherche de fossiles vieux de plus de quatre millions d'années est un travail ingrat. Parmi les mammifères, les hominines sont en outre les plus difficiles à trouver, de sorte qu'il faut trier beaucoup de fossiles de cochons et d'antilopes avant de découvrir des ossements d'hominine. Pour autant, si les paléanthropologues essaient de mettre au jour des fossiles humains plus anciens, ils en trouveront certainement.

Une autre raison me pousse à prédire que nous découvrirons encore des espèces d'hominines anciens: le fait qu'il existe dans le registre fossile à peu près autant de lignées de mammifères avant trois millions d'années qu'après. Pour quelles raisons en irait-il autrement dans notre rameau évolutif?

Enfin, on remarque que les zones où l'on a trouvé des fossiles d'hominines ne

couvrent pour l'instant pas plus de 3% de la surface de l'Afrique. Il est peu vraisemblable que des zones géographiques aussi limitées cachent toutes les espèces ayant jamais vécu?

Pour autant, toute découverte de plus de quatre millions d'années a toutes les chances de nous troubler encore plus. Plus on se rapprochera de la divergence entre la lignée humaine et celle des chimpanzés et bonobos, plus il sera difficile de distinguer un ancêtre direct de l'homme d'un cousin. Il sera aussi plus difficile d'établir qu'une nouvelle espèce est un hominine plutôt qu'un ancêtre des chimpanzés et des bonobos.

La paléanthropologie est devenue plus difficile que jamais, et elle le sera encore plus à l'avenir, comme l'illustre bien le fait que je reste incapable de décider si les deux individus de Malapa font ou non partie des ancêtres directs du genre *Homo*.

Article publié dans *Pour la Science*
n° 445 novembre 2014

Bernard WOOD

est professeur
au département
d'anthropologie
de l'université
George-Washington,
aux États-Unis.

BIBLIOGRAPHIE

B. Wood et K Boyle, Hominin taxic diversity: Fact or fantasy?, *Am. J. Phys. Anthropol.*, vol. 159, pp. S37-78, 2016.

B. Wood, Human evolution: Fifty years after *Homo habilis*, *Nature*, vol. 508, pp. 31-33, 2014.

E. Callaway, Fossils raise questions about human ancestry, *Nature*, 8 septembre 2011.

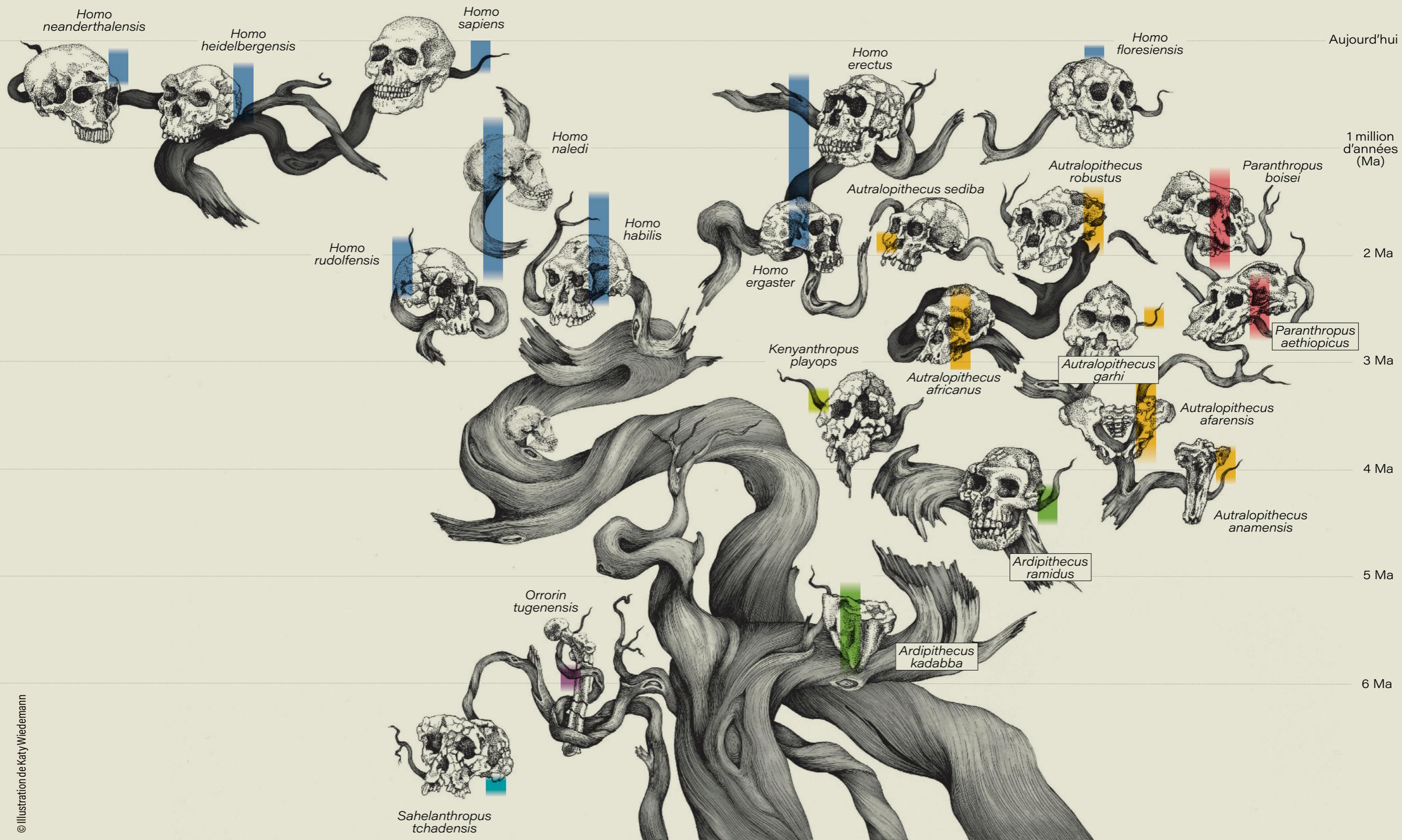
L'arbre phylogénétique humain

On a longtemps pensé que l'arbre phylogénétique humain n'avait que deux branches, l'une correspondant à *Homo sapiens*, l'autre à une espèce préhumaine aujourd'hui éteinte. Cette vision a changé avec l'accumulation de fossiles depuis quelques dizaines d'années et l'avènement de la paléogénétique. Désormais, on sait qu'*Homo sapiens*, avant qu'il ne s'impose partout sur la Terre, a été précédé et parfois accompagné par d'autres espèces préhumaines, réparties en plusieurs genres. Le genre *Homo* lui-même rassemble diverses espèces, aujourd'hui toutes éteintes à l'exception de la nôtre.

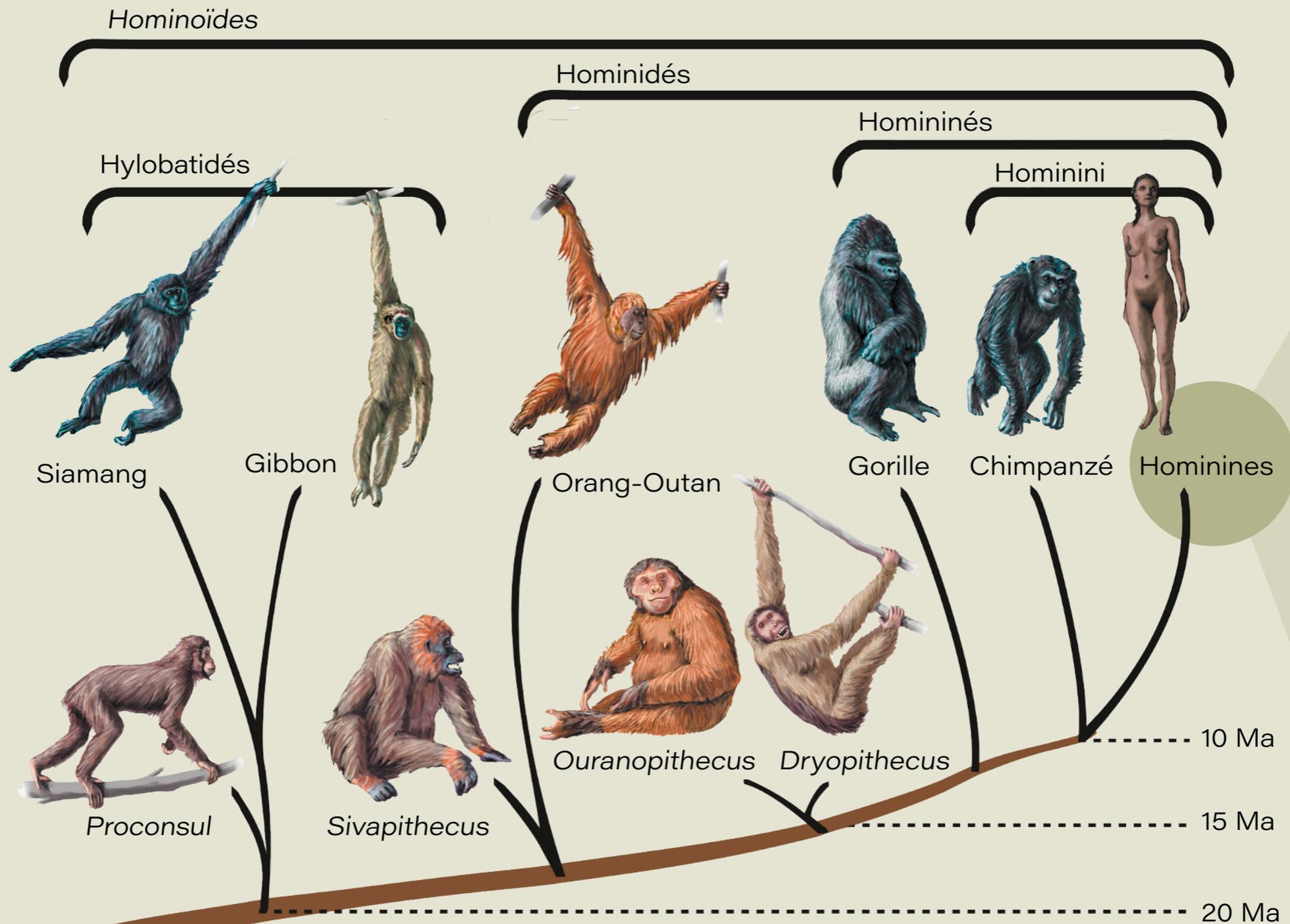
Ce rameau humain est à rattacher à celui des Hominoïdes, qui comprend outre les grands singes actuels (orangs-outans, gorilles, chimpanzés...) et les Hylobatidés (les gibbons et les siamangs) plusieurs espèces éteintes il y a plusieurs millions d'années.

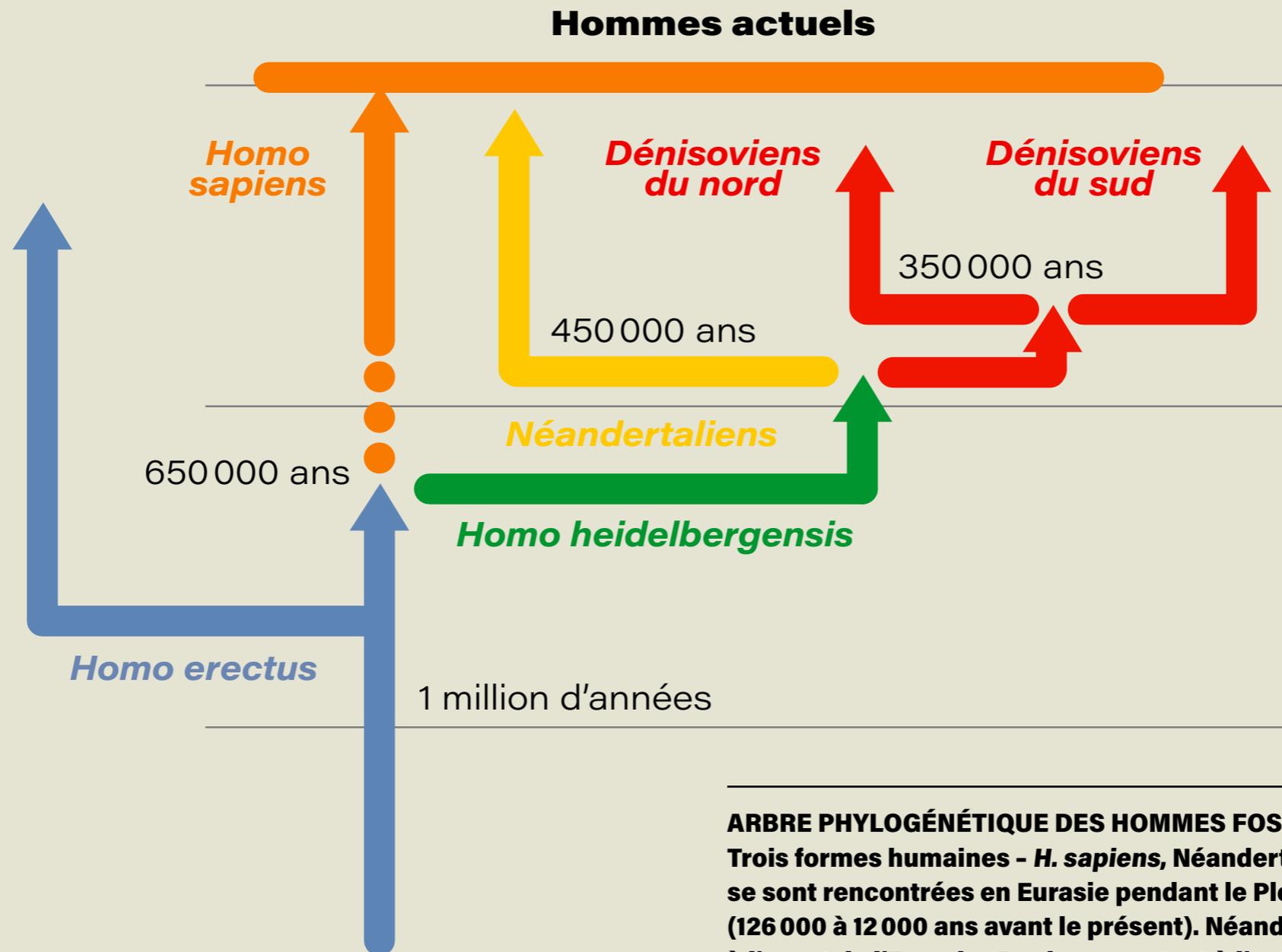
Précisons que cet arbre est débattu en quelques points. Par exemple, certains auteurs plaident pour le regroupement de l'ensemble des hominines (les diverses espèces d'australopithèques et d'homme) sous le genre *Homo*.





© Illustration de Katy Wiedemann





ARBRE PHYLOGÉNÉTIQUE DES HOMMES FOSSILES

Trois formes humaines - *H. sapiens*, Néandertal et Denisova - se sont rencontrées en Eurasie pendant le Pléistocène supérieur (126 000 à 12 000 ans avant le présent). Néandertal a évolué surtout à l'ouest de l'Eurasie ; Denisova surtout à l'est et en Asie du sud-est, où il a fondé une population distincte de celle du nord. Ces deux formes humaines descendent d'*Homo heidelbergensis*, lui-même découlant d'*Homo erectus* ; *H. sapiens* est une espèce d'origine africaine récente.



Une espèce mosaïque

SILVANA CONDEMI ET ANNA DEGIOANNI

L'étude du génome humain et de divers fossiles montre que nos ancêtres se sont hybridés à plusieurs reprises avec les espèces humaines archaïques qu'ils ont rencontrées. Nous devons beaucoup à ces métissages.

Homo sapiens, d'origine africaine, aurait quitté le continent et remplacé implacablement tous les humains archaïques qu'il a rencontré jusqu'à rester le seul représentant du genre. Ce scénario d'une conquête irréprouvable et «sans pitié» a longtemps prévalu: la génétique l'a rendu obsolète. En effet, depuis quelques années, on se rend compte que notre génome comporte des fragments d'ADN appartenant à d'autres espèces du genre *Homo*, notamment les Néandertaliens et les Denisoviens, preuve de métissages anciens, d'hybridation entre espèces. Comment en

est-on arrivé à ces conclusions? Que nous racontent-elles de notre passé?

Grâce aux progrès techniques, le séquençage de la totalité du génome humain, compilé à partir de plusieurs individus, a été achevé en 2004. Le premier séquençage d'un seul humain a été publié en septembre 2007. Les hommes fossiles ne sont pas en reste: à la même époque, l'ADN mitochondrial de l'homme de Néandertal a été séquencé par l'équipe de Svante Pääbo, à l'institut Max-Planck, à Leipzig, en Allemagne. Rappelons que les mitochondries, des organites cellulaires

qui produisent l'«énergie», ne sont transmises que par les femmes. En 2010, cette même équipe a publié 60% du génome de Néandertal à partir de l'ADN nucléaire de trois individus fossiles. Aujourd'hui plusieurs séquences complètes de l'ADN nucléaire sont connues.

Ces études génétiques ont déjà livré des informations importantes. Certaines corroborent les données des paléanthropologues, d'autres conduisent à de nouvelles hypothèses scientifiques et d'autres encore, notamment la découverte d'une autre population fossile (les Denisoviens), ont surpris l'ensemble de la communauté scientifique.

Des néandertaliens à part

La première information importante concerne la distance génétique entre l'homme moderne et l'homme de Néandertal. Les mitochondries contiennent un ADN comportant presque 16 000 paires de bases (à comparer aux plus de trois milliards du génome nucléaire humain). Le séquençage de ce ruban fut lent tant le matériel génétique néandertalien bien conservé

UN MÉTISSAGE RÉCENT ?

En 2011, les paléontologues travaillant sur le site d'Iwo Eleru, au Nigeria, ont réexaminé des fossiles humains dont les crânes semblaient intermédiaires entre ceux d'hommes anatomiquement modernes et ceux d'une autre forme, sans doute archaïque. Or ces fossiles datent d'à peine 13 000 ans, soit bien ultérieurs à l'apparition d'*Homo sapiens*. Les observations effectuées, ainsi que celles réalisées sur le site d'Ishango, en République démocratique du Congo, suggèrent qu'une grande diversité de populations a coexisté jusqu'à un passé récent en Afrique, et que des populations présentant un mélange à la fois moderne et archaïque se sont croisées sur le grand continent pendant des milliers d'années.

est rare. Il a commencé en 1997 par 379 bases extraites du premier fossile néandertalien jamais découvert, nommé Feldhofer 1 (du site Feldhofer, en Allemagne), puis s'est poursuivi par une quinzaine de fragments d'ADN mitochondrial.

Ce travail difficile a bénéficié de grands progrès méthodologiques. Par exemple,

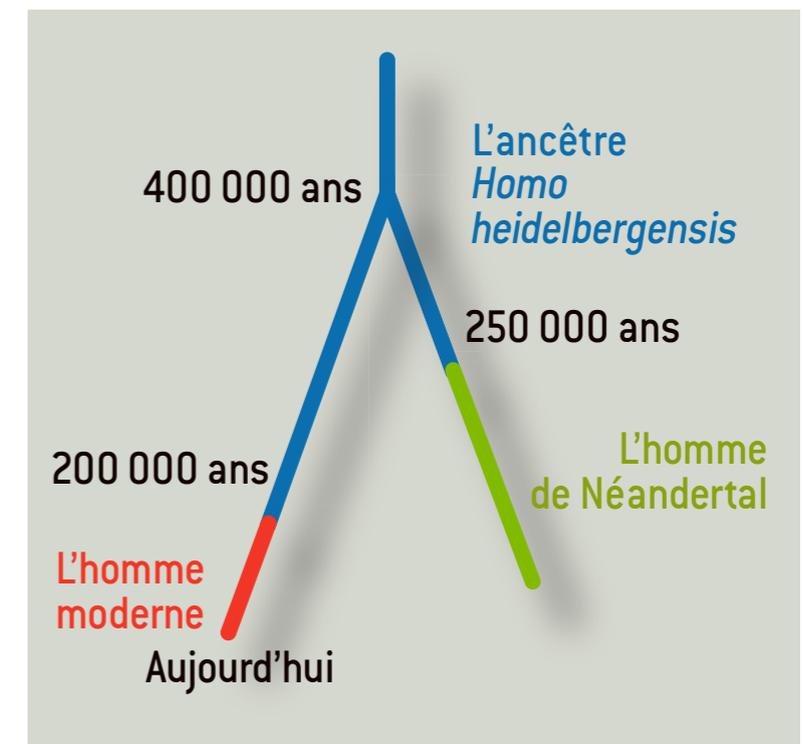
en 2004, David Serre, alors à l'institut Max-Planck de Leipzig, et ses collègues ont mis au point une procédure qui amplifie (on réplique des séquences géniques par réaction enzymatique) spécifiquement l'ADN mitochondrial de Néandertaliens. Le séquençage complet de l'ADN mitochondrial du fossile Vindija 80 (du site de Vindija, en Croatie) a été publié en 2008, ceux de Feldhofer 1 et 2, de Vindija 33, de Mezmaiskaya (en Russie) et El Sidrón 1253 (du site El Sidrón, en Espagne), en 2009. Désormais, nous connaissons 23 séquences partielles (des régions hypervariables) et 12 séquences complètes d'ADN mitochondrial de Néandertaliens, ainsi que 9 d'ADN nucléaire.

Qu'en déduit-on ? D'après leur ADN mitochondrial, les hommes de Néandertal se ressemblaient beaucoup entre eux, mais étaient différents de l'homme moderne. Ce constat corrobore ce que les paléanthropologues ont déduit des données anatomiques tirées des ossements.

Autre importante information fournie par les études génétiques, et qui conforte les données paléanthropologiques, la lignée

néandertalienne est très ancienne. Selon l'horloge génétique mitochondriale, *Homo sapiens* et *Homo neanderthalensis* auraient divergé il y a plus de 400 000 ans, voire 1 million d'années.

Par ailleurs, grâce aux séquences d'ADN mitochondrial, on estime que



Les lignées néandertaliennes et modernes ont divergé il y a quelque 400 000 ans. Le plus récent ancêtre commun à tous les Néandertaliens aurait vécu il y a 250 000 ans, quelque 130 000 ans avant l'expansion maximale néandertalienne.

le plus récent ancêtre commun à tous les Néandertaliens a vécu il y a quelque 250 000 ans. Paléogénéticiens et paléoanthropologues sont d'accord: l'évolution des Néandertaliens s'est déroulée sur une longue période. En paléoanthropologie, cette évolution peut être retracée par l'identification de caractères néandertaliens typiques à partir de l'ancêtre supposé des Néandertaliens *Homo heidelbergensis*, puis par leur accumulation progressive au cours du temps pour aboutir à *Homo neanderthalensis*. Sur le continent européen, l'évolution des Néandertaliens a eu lieu sous un climat particulier, alternant phases glaciaires et interglaciaires. Elle a été progressive et, à son «âge d'or» (vers 120 000 ans), les Néandertaliens s'étaient notablement démarqués de leurs ancêtres.

Si loin, si proches

Une étude de 2019, apporte des précisions. En effet, l'analyse de l'ADN mitochondrial de Néandertaliens qui vivaient il y a environ 120 000 ans, l'un dans la grotte Hohlenstein-Stadel, en Allemagne, l'autre à Scladina, en Belgique, et un autre encore en

Asie, dans l'Altaï, montrent, comme on s'y attendait, qu'ils partagent de grandes similarités. Par contre, par comparaison avec les autres séquences mitochondriales européennes plus récentes, les Néandertaliens d'Allemagne et de Belgique présentent une importante variabilité génétique. Comment l'expliquer?

Difficile de répondre tant l'ADN mitochondrial, hérité de la mère, a une valeur limitée pour reconstruire les relations entre les Néandertaliens. Mais on peut formuler deux hypothèses. Selon la première, cette diversité serait due à un mélange entre Néandertal et d'autres humains (que l'on ne connaît pas) il y a 270 000 ans. La seconde hypothèse postule que le groupe à l'origine des individus de Hohlenstein-Stadel, dans une période comprise entre 130 000 et 190 000 ans, s'est séparé des autres Néandertaliens. À l'écart, ils ont conservé une lignée d'ADN mitochondrial particulière qui a été réintroduite dans les flux globaux de gènes lorsque toutes les populations néandertaliennes se sont réunies lors d'une période plus chaude, entre 115 000 et 130 000 ans.

Le séquençage de l'ADN nucléaire néandertalien confirme en grande partie les premières impressions nées de l'analyse de l'ADN mitochondrial. L'étude de cet ADN a véritablement commencé en novembre 2006, quand l'équipe de Svante Pääbo et une autre, de l'Institut du génome du ministère américain de l'Énergie, ont publié les premières grandes séquences d'ADN nucléaire. Les chercheurs ont identifié des régions qui ont changé ou évolué depuis que les lignées néandertalienne et moderne ont divergé (entre 270 000 et 440 000 ans).

Des différences dans une centaine de gènes

Des différences entre les Néandertaliens et les hommes modernes ont été repérées dans moins d'une centaine de gènes impliqués dans le métabolisme, le squelette, la cognition..., mais on ignore encore comment elles se traduisent physiologiquement. Parmi les gènes néandertaliens qui ne ressemblent pas à leurs homologues modernes, certains codent des protéines importantes pour la cicatrisation,

DENNY LA MÉTISSE

En 2018, le groupe de Svante Pääbo, à Leipzig a analysé l'ADN d'un fragment d'os découvert dans la grotte de Denisova, en Sibérie centrale. Nommé familièrement « Denny », son vrai nom est Denisova 11. Son génome révèle qu'il s'agit d'un individu féminin, dont l'ADN mitochondrial est néandertalien, tandis que son ADN nucléaire contient des proportions comparables de gènes néandertaliens et de gènes dénisoviens. En estimant par les gènes les dates de divergence entre la population de Denny, celle de Denisova 3 (premier Dénirovien séquencé en 2010) et celles de plusieurs populations néandertaliennes, les chercheurs en sont venus à proposer que Denny vivait il y a 90 000 ans. Denny serait le fruit des amours d'une mère néandertalienne et d'un père dénisovien : la première métisse paléolithique connue !

Toutefois, les gènes de Denny montrent que, depuis la divergence entre les Néandertaliens et les Dénisoviens

(il y a quelque 390 000 ans), ces deux populations se sont métissées au moins une fois. Dès lors, une autre façon d'expliquer les gènes de Denny serait qu'elle ait fait partie d'une population mêlant depuis longtemps les gènes néandertaliens et dénisoviens. Afin de mieux comprendre l'histoire évolutive des Dénisoviens, les chercheurs ont choisi d'examiner des gènes particuliers dans le génome de Denny. Il s'agit de gènes qui, chez les Néandertaliens et les Dénisoviens trouvés dans la grotte, sont homozygotes, c'est-à-dire dotés de deux versions (ou allèles) identiques. Après avoir établi la répartition statistique des allèles de ces gènes dans le génome de Denny, les paléogénéticiens ont constaté que cette répartition s'explique si l'individu est de mère néandertalienne et de père dénisovien, mais pas s'il appartenait à une population hybride. Denny est donc bien une métisse de première génération. Que conclure ? On savait déjà qu'à diverses

époques, Néandertaliens et *Homo sapiens* se sont métissés. On savait aussi que les Dénisoviens et les *Homo sapiens* se sont aussi mélangés, puisqu'une comparaison des gènes de nombreuses ethnies a montré que nos contemporains mélanésiens ont de 4 à 6 % de gènes dénisoviens, tandis que d'autres populations (Aborigènes Australiens, Mamanwas, dans les Philippines, Tibétains...) en ont moins. Tous ces indices suggèrent que les populations paléolithiques se mélangeaient souvent.

la mobilité du flagelle des spermatozoïdes et la transcription des gènes. Plusieurs de ces gènes codent également des protéines exprimées dans la peau, les glandes sudoripares et les gaines intérieures de la racine des cheveux, ainsi que des protéines impliquées dans la pigmentation. Notre peau est sans doute très différente de celle des Néandertaliens!

D'autres mutations présentes chez les Néandertaliens semblent toucher des gènes importants dans le développement cognitif. Ces gènes mutés dans les populations actuelles participeraient au développement de maladies telles que le syndrome de Down, la schizophrénie et l'autisme. Un gène, *RUNX2*, est associé à une maladie qui entraîne des anomalies du développement squelettique, y compris des clavicules difformes et une cage thoracique en forme de cloche. On en déduit que les Néandertaliens avaient une cage thoracique en forme de cloche et des clavicules particulières, ce qui avait été montré sur des bases anatomiques par les paléanthropologues!

Certains gènes faisant débat dans la communauté paléanthropologique ont été

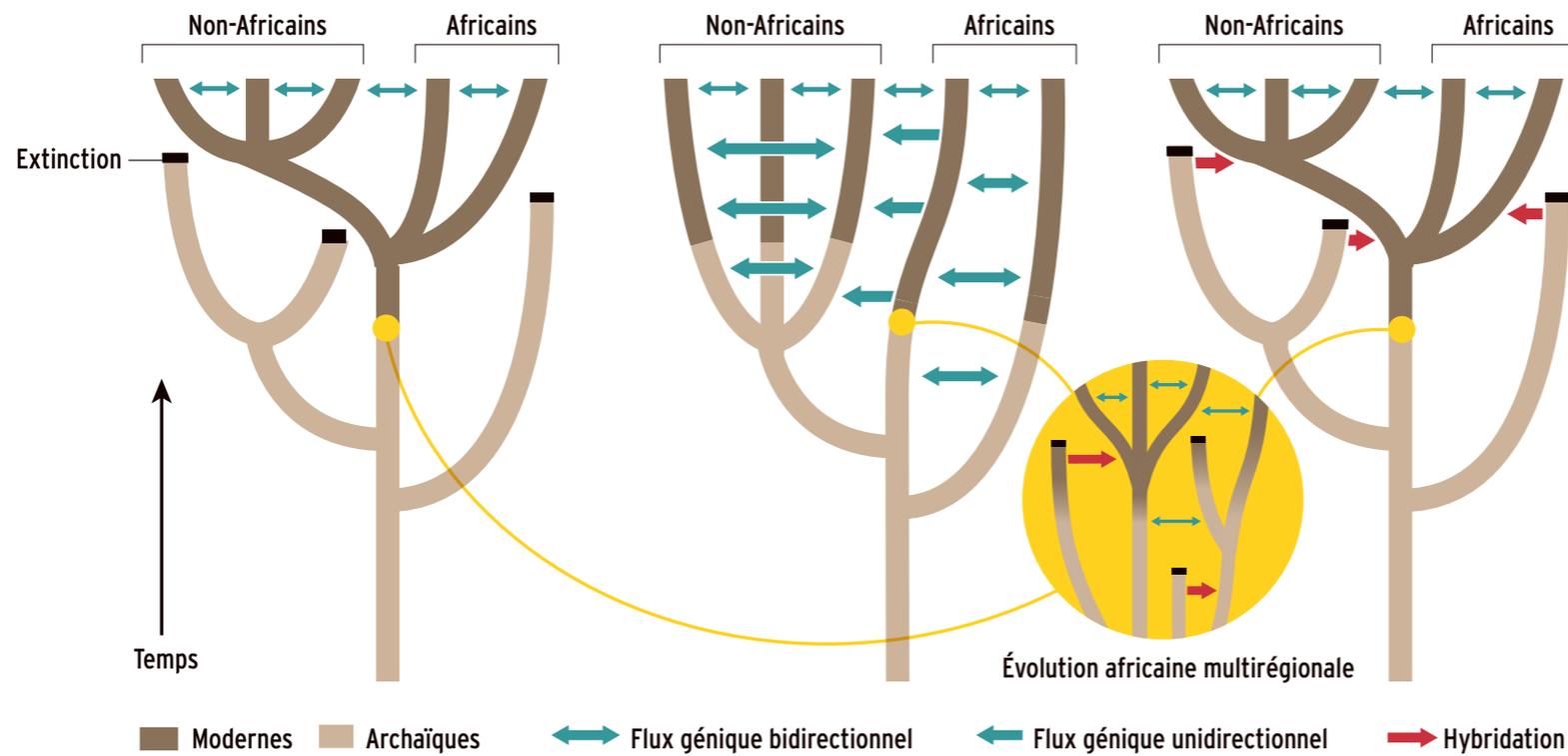
plus particulièrement étudiés. Le premier est le gène *FOXP2*, impliqué chez l'homme moderne dans le langage articulé. Chez les Néandertaliens, ce gène code une protéine identique à celle de l'homme moderne: il était déjà présent chez l'ancêtre commun aux deux lignées, il y a plus de 400 000 ans. Or la reconstitution de la morphologie du cortex cérébral à partir de crânes avait déjà mis en évidence la présence chez les Néandertaliens des aires de Broca (impliquée dans la production du langage) et de Wernicke (la compréhension du langage).

L'origine du langage articulé

En outre, l'étude du seul os hyoïde (situé au-dessus du larynx) néandertalien complet mis au jour (fossile de Kebara) et la reconstitution de la position du larynx (nécessaires à la phonation) des Néandertaliens ne laissent guère de doute sur le fait qu'ils avaient la possibilité anatomique d'émettre des sons articulés. La découverte du gène *FOXP2* néandertalien conforte les observations paléanthropologiques: les Néandertaliens avaient tout le nécessaire pour le langage articulé.

L'autre gène nucléaire néandertalien séquencé et étudié est *ABO* (celui des groupes sanguins), et plus précisément l'allèle O sous-type 001. Il a été séquencé chez deux fossiles néandertaliens trouvés en Espagne (El Sidrón). L'homme moderne et les Néandertaliens partagent le même allèle O, qui devait d'ailleurs être déjà présent chez leur ancêtre commun aux deux lignées (*Homo erectus*), 1 million d'années avant leur séparation, alors que cet allèle est différent chez le chimpanzé.

Enfin, le gène *TAS2R38* a été étudié. Chez l'homme moderne, ce gène code des protéines présentes sur la surface de la langue; leur rôle est de détecter la phénylthiocarbamide, un composé amer présent dans diverses plantes, comme le brocoli, le chou de Bruxelles, et surtout dans des plantes toxiques. Ce gène est donc particulièrement important pour les chasseurs-cueilleurs. Chez l'homme moderne comme chez le Néandertalien espagnol séquencé, deux variantes existent: celle du «goûteur» (qui détecte la phénylthiocarbamide) et celle du «non-goûteur» (qui y est insensible). On en déduit que



La façon dont les *Homo sapiens* (en brun foncé) ont évolué à partir des formes archaïques (en brun clair) fait débat. Dans toutes les théories de cette évolution présentées ici, l'origine d'*Homo sapiens* est en Afrique. Selon la théorie du remplacement (à gauche), ils se sont substitués aux espèces humaines archaïques présentes en Afrique et en Eurasie sans s'y mélanger. Selon la théorie de l'assimilation (au milieu), les traits modernes issus d'Afrique se sont répandus parmi les groupes archaïques à la faveur des migrations et de métissages (flèches vertes). Selon la théorie de l'hybridation (à droite), les hommes modernes ne se sont que rarement croisés avec des espèces archaïques à mesure qu'ils les remplaçaient (flèches rouges). Pour sa part, la théorie de l'évolution africaine multirégionale (bulle jaune) ne concerne que la période de transition archaïque-moderne en Afrique ; elle fait appel à des hybridations entre différents groupes archaïques distincts. Ce scénario pourrait avoir précédé en Afrique ceux des trois autres théories.

la perception gustative de l'amer est antérieure à la divergence entre Néandertaliens et hommes modernes. Mais une question demeure: comment les individus insensibles pouvaient-ils survivre?

L'examen des SNP (des polymorphismes nucléotidiques simples, c'est-à-dire des variations ponctuelles dans les bases de l'ADN), entrepris depuis une dizaine d'années, montre des changements qui ont

touché principalement les gènes liés au métabolisme, le système cardiovasculaire, la répartition des poils et de nombreux traits morphologiques (organes génitaux, la bouche, le visage, les membres, la poitrine et les régions orbitale et occipitale du crâne).

On a identifié des variations dans les gènes impliqués dans la lordose de la colonne vertébrale, qui était réduite chez les Néandertaliens. En comparaison, les hommes modernes présentent une plus grande diversité de SNP dans les gènes qui contrôlent la pigmentation, ce qui explique, en partie, la forte variabilité des couleurs de peau actuelles. Ce n'était vraisemblablement pas le cas chez les Néandertaliens.

Les Néandertaliens et le syndrome de la tourette

Par ailleurs, des changements entre Néandertaliens et homme modernes ont été constatés dans trois gènes soupçonnés d'être impliqués dans la régulation du comportement et, en particulier, l'agressivité et l'hyperactivité. Certaines variantes de ces gènes semblent incriminées dans plusieurs

maladies, allant du retard psychomoteur à l'autisme, de l'atrophie musculaire au syndrome de la Tourette. Des mutations dans ces gènes ont peut-être influé sur le comportement des Néandertaliens.

Les Européens et les Asiatiques partagent 1 à 4% de leur ADN nucléaire avec les Néandertaliens

Cependant, même si c'est le cas, on ignore la nature des différences: les niveaux d'activité ou d'agressivité étaient-ils augmentés ou diminués?

Les neuf séquences complètes d'ADN nucléaires de Néandertaliens complètent nos connaissances sur le peuplement de cette espèce. Les Européens les plus récents (ceux d'environ 50 000 ans) appartiennent à un groupe dont l'ancêtre commun peut être daté à 97 000 ans et dérivent directement de la population à laquelle appartenaient Scladina et Hohlenstein-Stadel (qui se ressemblent beaucoup concernant l'ADN nucléaire). Il y a eu donc une continuité génétique en Europe de 120 000 ans jusqu'à la disparition de la population.

L'analyse des séquences de l'ADN nucléaire du spécimen de l'Altai (datant lui aussi d'environ 120 000 ans) montre qu'il diffère des deux Néandertaliens européens de la même période et il semble ne

pas avoir eu des descendants (ou bien ils n'ont pas encore été identifiés génétiquement). On interprète ce résultat en supposant qu'à partir de 97 000 ans le groupe européen des Néandertaliens a peuplé le continent et s'est propagé par vagues migratoires vers l'est.

La question de l'hybridation

L'étude des gènes a également rejeté d'anciennes hypothèses. Ainsi, par exemple, des preuves solides d'absence d'introgresion adaptative proviennent de l'analyse du gène *MCPH1* codant la microcéphaline, une protéine nécessaire au développement du cerveau. Précisons que l'introgresion consiste en la dispersion des gènes d'une

espèce au sein du génome d'une autre espèce proche. Expliquons.

La variante D du gène *MCPH1* est apparue récemment (il y a environ 37 000 ans), malgré une fréquence élevée dans le monde entier. Cette variante D est la plus commune en Eurasie, en Nouvelle-Guinée et chez les populations du Nouveau Monde, mais elle est rare en Afrique. On pensait que Néandertal, doté d'un grand cerveau, avait pu transmettre ce gène aux hommes modernes par hybridation et que, ensuite, la variante D, avantageuse, s'était répandue grâce à une forte pression de sélection positive: c'est l'introgresion adaptative. Mais les paléogénéticiens qui ont étudié cette variante ne l'ont pas trouvée dans la séquence néandertalienne nucléaire, ce ne sont donc pas les Néandertaliens qui nous ont transmis ce caractère.

Un autre gène, nommé *MAPT*, code la variante H1 d'une protéine très ancienne trouvée principalement chez les Européens. La fonction de cette variante est incertaine, mais elle semble associée à la maladie de Parkinson et à d'autres neuropathologies. On pensait que la sélection avait favorisé

sa dissémination parmi l'homme moderne à partir du métissage avec Néandertal, mais là encore le génome nucléaire de Néandertal est dépourvu de cette variante du gène *MAPT*.

En comparant le génome composite néandertalien avec les génomes complets de

adultes, trois adolescents, deux mineurs, et un bébé) ont été mis au jour sur le site de l'El Sidrón et ont apporté des informations. En 2011, l'équipe de Carles Lalueza-Fox, de l'université Pompeu-Fabra, à Barcelone, en Espagne, a analysé l'ADN mitochondrial de ces vestiges et a montré que les trois

constitué une population unique, mais de taille réduite. Cela n'a rien d'évident au vu de l'immensité de l'aire occupée par les Néandertaliens au cours de leur histoire. Des individus de la population néandertalienne européenne ont en effet migré vers le Proche-Orient et vers l'Asie. On pense en particulier qu'ils auraient peuplé le Levant pour échapper à la rudesse de la période glaciaire qui s'est déroulée il y a quelque 70000 ans ou parce que la fonte de la calotte glaciaire au stade interglaciaire précédent leur aurait permis de coloniser un plus vaste territoire.

Quoi qu'il en soit, la population du Proche-Orient semble conserver des traits archaïques, qui, en Europe, vont disparaître, pour se transformer en caractères néandertaliens plus marqués, dits «classiques». Cette distinction morphologique et géographique invite à penser qu'ont existé deux sous-populations de Néandertaliens, dont l'une, européenne, se serait différenciée dans un plus grand isolement.

Une population divisée

Par ailleurs, la présence des Néandertaliens en Asie aurait été plus

Les Néandertaliens constituaient une population unique mais de taille réduite. Cela n'a rien d'évident au vu de l'immensité de l'aire occupée

cinq humains provenant de différentes parties du monde, les généticiens ont constaté que les Européens et les Asiatiques partagent entre 1 et 4% de leur ADN nucléaire avec les Néandertaliens, mais pas les Africains. Les premiers humains modernes se seraient donc mélangés avec les Néandertaliens après que ceux-ci ont quitté l'Afrique, mais avant leur expansion en Asie et en Europe.

Pour trancher, des renseignements précis sur les pratiques sociales et matrimoniales des populations du passé seraient utiles, mais ils sont rares. Cependant, des restes des 12 individus néandertaliens morts à peu près au même moment (six

mâles adultes du groupe partageaient la même lignée maternelle, alors que les trois femmes adultes avaient différentes origines maternelles. Selon les auteurs de l'étude, il s'agirait d'un groupe, voire d'une famille, de Néandertaliens dont les hommes sont restés dans le groupe familial alors que les femmes sont venues de l'extérieur. Ces résultats illustrent un modèle de «patrilocalité» bien pratiqué encore aujourd'hui, où les femmes quittent leur groupe pour rejoindre celui du conjoint.

Une autre information établie par l'étude génétique du génome néandertalien est que les hommes de Néandertal ont

étendue que ne le suggèrent les fouilles. En effet, en 2007, la région hypervariable HVR1 de l'ADN mitochondrial des restes d'un enfant âgé de 8 à 10 ans découvert dans la grotte de Teshik-Tash, en Ouzbékistan, et d'ossements de plusieurs spécimens découverts dans la grotte d'Okladnikov, en Sibérie, a été séquencée. On a repéré chez ces individus un motif exclusivement néandertalien, de sorte que leur appartenance à cette lignée est certaine. Enfin, en 2010, dans la galerie est de la grotte de Denisova, on a découvert une phalange d'orteil dont le séquençage complet de l'ADN nucléaire démontrait qu'elle appartenait à une femme néandertalienne ayant vécu il y a 120 000 ans.

Grâce à la génétique, l'aire néandertalienne connue a donc été étendue de 2 000 kilomètres vers l'est jusqu'au sud de la Sibérie ! La comparaison des diverses séquences obtenues suggère que les Néandertaliens ont colonisé l'Asie centrale il y a quelque 130 000 ans, le niveau alors très bas de la mer Caspienne leur donnant accès aux espaces russes. Le séquençage de l'ADN mitochondrial a également

renseigné sur la population féminine efficace, c'est-à-dire les femmes en âge de se reproduire. L'analyse des fossiles de Vindija, de Feldhofer et d'El Sidrón a montré que 5 000 à 9 000 reproductrices seulement sont à l'origine du peuplement d'un territoire s'étendant de la Croatie à l'Espagne en passant par l'Allemagne. Effectuées à partir de l'ADN nucléaire néandertalien déjà séquencé, d'autres estimations convergent vers une population féminine efficace très faible. Les Néandertaliens n'étaient et n'ont jamais été qu'une poignée ! Et c'est sans doute cette faible démographie qui a contribué à leur disparition. Qui plus est, nous avons montré en 2019 qu'une légère baisse de la fertilité des femmes les plus jeunes aurait suffi à entraîner une rapide extinction.

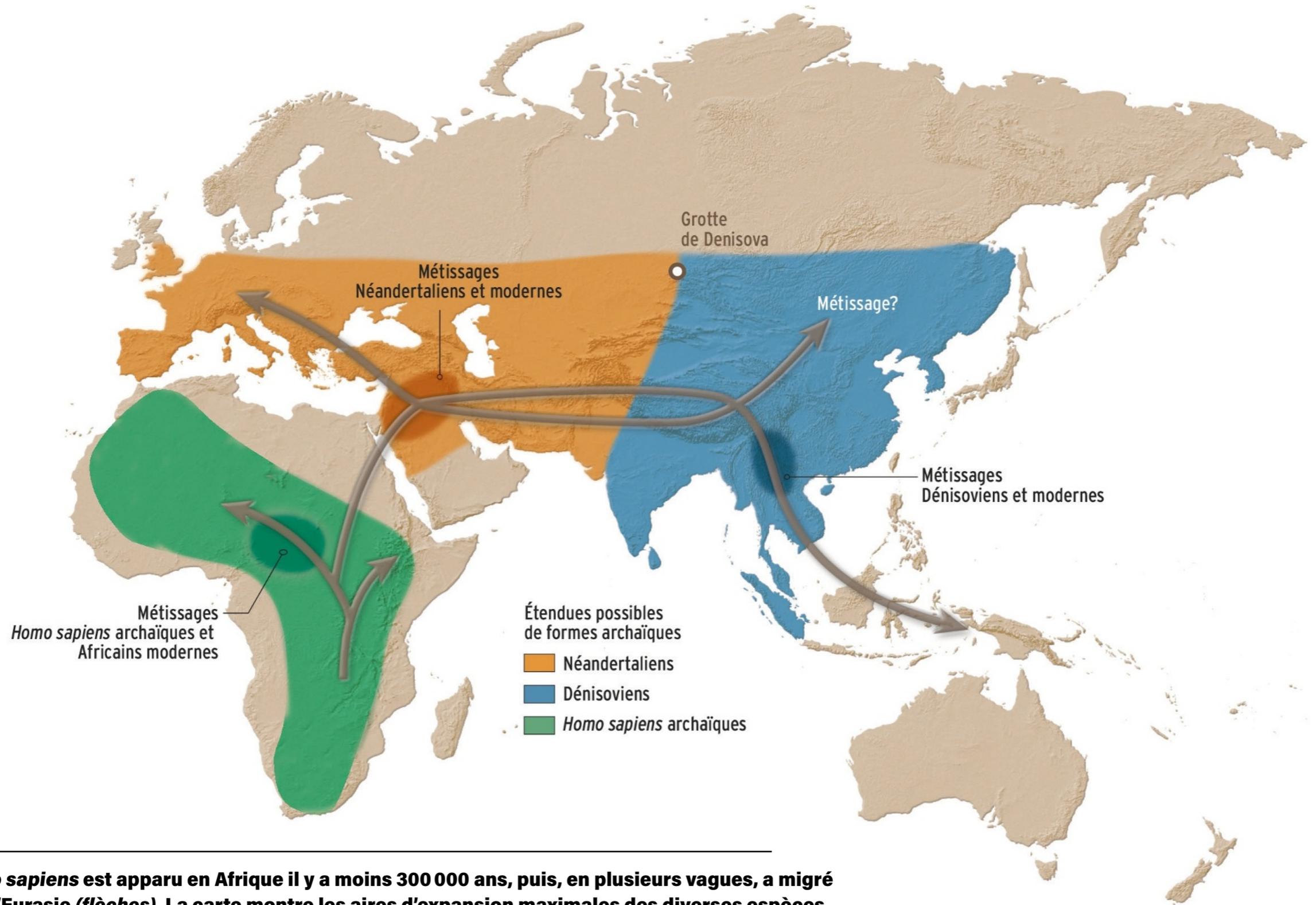
De bien faibles effectifs

La confirmation d'une faible démographie est venue d'une étude publiée en 2013 par l'une d'entre nous (A. Degioanni, en collaboration avec J.-P. Bocquet-Appel). Elle a exploré neuf modèles de la démographie néandertalienne, dans lesquels ils

font diverses hypothèses plausibles sur la taille efficace de la population (le nombre d'hommes et de femmes se reproduisant), du sex-ratio, de la durée moyenne de vie d'un individu et celle d'une génération. Ils parviennent ainsi à la conclusion que la population néandertalienne dans son ensemble se comptait en milliers d'individus, et se trouvait vraisemblablement comprise entre 5 000 et 7 000.

Fragmentation géographique et génétique

Cette faible démographie et des séquences de gènes aussi proches conduisent certains spécialistes à proposer une population néandertalienne constituée d'un seul bloc. Toutefois, l'immense aire occupée par les Néandertaliens n'a pu que favoriser leur fragmentation géographique et génétique. Pareille fragmentation génétique n'empêche en rien des échanges migratoires limités entre sous-groupes limitrophes. Selon le scénario qu'elle permet d'échafauder, la population néandertalienne aurait varié jusqu'à il y a 50 000 ans, avant de décroître lentement



***Homo sapiens* est apparu en Afrique il y a moins 300 000 ans, puis, en plusieurs vagues, a migré vers l'Eurasie (flèches). La carte montre les aires d'expansion maximales des diverses espèces humaines archaïques. Les ellipses indiquent les régions où, d'après les indices génétiques disponibles, des métissages entre humains modernes et archaïques ont pu se produire.**

pour disparaître. La fragmentation de l'espèce néandertalienne n'a pu que la fragiliser face à la concurrence, même modérée, des hommes anatomiquement modernes.

Cette hypothèse se trouve étayée par l'analyse des trois séquences de l'ADN nucléaire provenant respectivement de la grotte d'El Sidrón, Espagne (daté d'environ 49000 ans), de la grotte de Vindija, en Croatie (44000 ans) et des restes de la femme trouvée dans une grotte des montagnes de l'Altaï, en Sibérie méridionale (120000 ans), non loin de l'endroit où ont été mis au jour les vestiges des Denisoviens. L'analyse de l'ADN nucléaire montre la haute fréquence avec laquelle dans tous les restes néandertaliens analysés on a observé un niveau très important de gènes homozygotes indiquant que les caractères hérités des parents sont identiques. Les Néandertaliens vivaient bien dans des groupes petits et probablement dispersés, avec peu de chance de se rencontrer.

En 2008, dans une grotte en Sibérie du Sud, à Denisova, dans les montagnes de l'Altaï, on a découvert un morceau de phalange daté autour de 50000 ans. Dans cette

grotte qui a été utilisée plus de 100000 ans, on a trouvé différents objets, notamment des outils en pierre et des restes de bijoux qui montrent qu'elle a été occupée par des Néandertaliens et par l'homme moderne.

Un nouveau venu

L'os est trop petit (ce serait celui d'un enfant de sept ans) pour autoriser une identification morphologique, mais il contenait suffisamment de matière pour une analyse de l'ADN mitochondrial. Les résultats, publiés en 2010, ont déconcerté: ce n'est l'ADN ni d'un homme moderne, ni d'un Néandertalien! Ainsi un troisième type d'humain a vécu dans la grotte de Denisova (la suite montra que la phalange appartenait à une petite fille). La séquence de cet ADN mitochondrial n'a jamais été trouvée auparavant chez l'homme moderne et elle diffère de façon importante de celle identifiée chez tous les Néandertaliens. Elle correspond à un troisième humain, les Denisoviens, pour lequel nous n'avons aucune information paléanthropologique.

Ainsi, une nouvelle espèce humaine a été identifiée et, pour la première fois, à

ABONNEMENT NUMÉRIQUE

49€
au lieu de
81€



- ✓ L'édition numérique du magazine (12 n°)
- ✓ L'édition numérique du hors-série (4 n°)
- ✓ L'accès aux archives numériques depuis 1996
- ✓ L'accès en ligne illimité à purlascience.fr

Rendez-vous sur
boutique.purlascience.fr
avec le code promo **WEB49E**
pour vous abonner

partir de l'étude non pas de fossiles mais de la séquence de son ADN. Un autre groupe d'hominidés archaïques, distinct des Néandertaliens, vivait en Eurasie il y a environ 50 000 à 150 000 ans. Depuis 2019, on rattache aussi à cette population fossile

Les populations eurasiatiques ont reçu une contribution variable entre 1 et 6% de leur génome des Dénisoviens

une hémimandibule trouvée il y a plusieurs décennies au Tibet. Cela montre que l'aire de répartition de cette forme fossile était assez grande et que ces individus étaient bien adaptés aux hautes altitudes.

Très rapidement, en 2010, l'analyse du génome complet contenu dans la phalange, est réalisée. Les données permettent aussi d'esquisser un portrait de l'*Homo* de Denisova: selon toute vraisemblance, la jeune fille avait la peau foncée et les yeux et les cheveux bruns alors que les Néandertaliens auraient eu la peau claire avec des cheveux allant du brun au blond vénitien.

Après cette phalange, nommée Denisova 3, deux molaires ont été

découvertes (Denisova 4 et 8) et leur ADN analysé. Toujours dans la grotte de Denisova, mais dans une couche inférieure, la présence de l'ADN mitochondrial dénisovien a été prouvée en 2017 dans les sédiments, mais sans qu'aucun fossile ne soit repéré.

Enfin, le matériel génétique d'une seconde molaire inférieure de lait (Denisova 2), trouvée en 1984 dans une couche profonde de la grotte, a été aussi analysé en 2017: l'individu, le quatrième découvert à ce jour, était une fille de 10 à 12 ans. Le fossile est daté de 100 000 à 150 000 ans, et est donc le plus ancien de ceux connus à ce jour.

Les populations eurasiatiques ont reçu une contribution variable entre 1 et 6% de leur génome des Dénisoviens (en plus de celle de Néandertal). Les populations mélanésiennes (les Aborigènes australiens et les Polynésiens) sont celles qui ont reçu la plus grande contribution. Or ces mêmes populations vivent aujourd'hui dans une région

géographique extrêmement éloignée du site de Denisova.

En 2018, une étude a mis en évidence deux vagues de mélange avec les Dénisoviens, l'une provenant d'une population étroitement apparentée à l'individu dénisovien de l'Altaï (aujourd'hui ses traces sont principalement présentes en Asie orientale) et l'autre à partir d'une population plus éloignée, et présente aujourd'hui chez les Papous et les Sud-Asiatiques. Les populations est-asiatiques sont les seules à avoir des contributions relativement égales et non négligeables de ces deux composantes.

Denisova chez les Papous

Ces travaux ont été complétés en 2019 par l'étude d'haplotypes (un groupe d'allèles situés sur un même chromosome) dénisoviens dans 161 nouveaux groupes humains vivant aujourd'hui dans 14 îles de l'Asie du Sud-Est et de la Nouvelle-Guinée. Résultat? Les Dénisoviens étaient séparés en au moins trois branches génétiquement et géographiquement distinctes, l'une qui a contribué à l'introgession en Océanie et dans une moindre mesure en Asie (D_2), une

autre apparemment limitée à la Nouvelle-Guinée et aux îles voisines (D_1) et une troisième en Asie de l'Est et en Sibérie (D_0).

Sur le plan reproductif, les lignées D_1 et D_2 se sont fortement séparées de la lignée de l'individu de la grotte de Denisova (D_0). Cette séparation s'est produite entre 283000 et 363000 ans: D_1 s'est séparée il y a environ 363000 ans et D_2 il y a environ 283000 ans.

Cela suggère que les Denisoviens étaient capables de franchir des barrières géographiques majeures. Ils couvraient donc une incroyable diversité d'environnements, des steppes continentales tempérées aux îles équatoriales tropicales. Toutes les lignées se sont reproduites avec des hommes modernes, en laissant des traces dans 4% des génomes des Papous, et plus de 400 gènes ont été sélectionnés et sont impliqués dans l'immunité et dans le régime alimentaire.

Des futurs travaux devront préciser et étayer ces données, mais d'ores et déjà nous savons que nous, *Homo sapiens*, sommes des individus composites!

Article publié dans *Pour la Science hors-série*
n° 105 novembre 2019



Silvana CONDEMI

paléoanthropologue, est membre de l'unité d'anthropologie bioculturelle du CNRS, de l'EFS et de l'université de la Méditerranée à Marseille.

Anna DEGIOANNI

est généticienne des populations au Laboratoire méditerranéen de préhistoire, Europe-Afrique, CNRS, à l'Université d'Aix-Marseille.

BIBLIOGRAPHIE

- A. Degioanni *et al.***, Living on the edge: Was demographic weakness the cause of Neanderthal demise?, *Plos One*, vol. 14(5), e0216742, 2019.
- M. Kuhlwilm *et al.***, Ancient gene flow from early modern humans into Eastern Neanderthals, *Nature*, vol. 530, pp. 429-433, 2016.
- S. Sankararaman *et al.***, The genomic landscape of Neanderthal ancestry in present-day humans, *Nature*, vol. 507, pp. 354-357, 2014.
- B. Vernot & J. Akey**, Resurrecting surviving Neanderthal lineages from modern human genomes, *Science*, vol. 343, pp. 1017-1021, 2014.
- H. Prüfer *et al.***, The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains, *Nature*, vol. 505, pp. 43-49, 2014.
- J. Krause *et al.***, The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia, *Nature*, vol. 464, pp. 894-897, 2010.
- R. Green *et al.***, A draft sequence of the Neanderthal genome, *Science*, vol. 328, pp. 710-722, 2010.

Le site marocain du Jebel Ihroud
a peut-être abrité des humains
modernes il y a 350 000 ans.

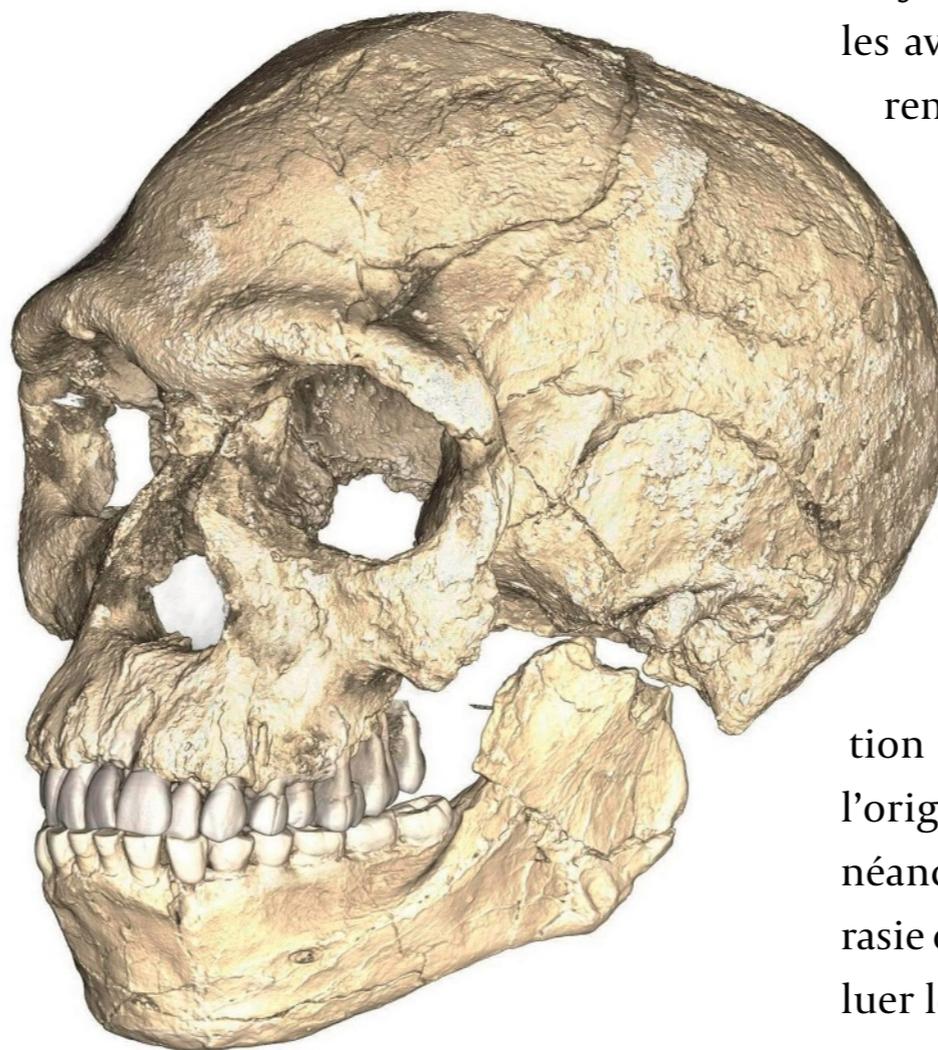
« Homo sapiens » vieillit
d'au moins 100 000 ans

FRANÇOIS SAVATIER

Des fossiles d'homme anatomiquement moderne découverts à Jebel Ihroud, au Maroc, confirment l'origine africaine de notre lignée et révèlent qu'elle est bien plus ancienne que ce que l'on pensait.

Dans le registre fossile actuel, les plus anciens *Homo sapiens* connus – Omo 1 et Omo 2 – étaient éthiopiens et vieux d'environ 200 000 ans. Des «petits jeunes» comparés aux nouveaux doyens de notre lignée: les fossiles d'hommes modernes découverts et datés par l'équipe de Jean-Jacques Hublin, de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste, à Leipzig, sont au moins 100 000 ans plus vieux.

Ces fossiles, et une série d'autres découverts précédemment au même endroit mais mal datés, proviennent du site marocain du Jebel Ihroud. Dès 1961, les exploitants d'une mine de barytine y avaient découvert un crâne humain quasi complet. Plus tard, une boîte crânienne fragmentaire et une mâchoire inférieure d'enfant avaient



Cette image composite résulte de multiples images par microtomographie des fossiles crâniens retrouvés au Jebel Ihroud. Les traits crâniens ainsi obtenus placent les occupants de ce site marocain dans le spectre des variations au sein de l'espèce humaine actuelle. Pour autant, l'apparence archaïque de ce crâne suggère que la forme du crâne et les fonctions cognitives ont évolué depuis 300 000 ans dans la lignée *Homo sapiens*.

été trouvés dans le même site. Ces fossiles étaient associés à des restes de faune et à des outils de pierre débités par la méthode Levallois, caractéristique du Paléolithique moyen. Toutefois, même s'ils rapportèrent les avoir découverts à la base du matériau remplissant la grotte, leurs découvreurs estimèrent que ces fossiles ne pouvaient dater de plus de 40 000 ans. Et, étant donné que les préhistoriens croyaient alors à l'existence d'une population néandertalienne en Afrique du Nord, ces restes humains furent attribués à cette espèce sœur de la nôtre.

Depuis, notre vision de l'évolution du genre *Homo* a beaucoup évolué: l'origine exclusivement européenne des néandertaliens et leur confinement à l'Eurasie ont été établis. Dès lors, il fallait réévaluer les fossiles de Jebel Ihroud, projet que

Jean-Jacques Hublin a lancé en convainquant son collègue Abdelouahed Ben-Ncer, de l'Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine à Rabat, au Maroc, de relancer l'étude du site. En 2004, de nouvelles fouilles sont entreprises dans la petite zone du site laissée de côté dans les années 1960. En analysant les strates de ce dépôt détritique solidifié, les chercheurs y ont mis au jour de nombreux restes de faune (gazelle, léopard, zèbres, bovidés, lions,?). Le fait qu'ils ne portent pas de traces de morsures de carnivores et leur association à des outils de pierre Levallois (pointes, éclats retouchés,?) suggère qu'ils ont été amenés là par l'homme. Cela semble d'autant plus plausible que les chercheurs ont aussi découvert une boîte crânienne humaine déformée par les mouvements de terrain (*voir l'image ci-dessus*) et accompagnées de plusieurs restes de la face, une mandibule quasi complète

Ces outils de pierre ont été retrouvés sur le site du Jebel Irhoud. Les pointes y sont fréquentes (9 premiers artefacts), mais aussi les éclats débités par la méthode Levallois (5 derniers artefacts).



d'adulte, plusieurs éléments post crâniens et toute une série de dents. Les fossiles trouvés dans les années 1960 provenaient sans doute de la même strate. L'ensemble de ces restes représente au moins cinq individus: trois adultes, un adolescent et un enfant. Or la datation de la strate par la méthode de la thermoluminescence indique un âge de 315 000 ans (à 30 000 ans près). Confirmée par une autre méthode (la datation par résonance de spin électronique ou ESR), cette date fait de ces restes les plus anciens fossiles d'*Homo sapiens* connus à ce jour.

Malgré leur caractère clairement sapiens, l'examen de ces fossiles révèle nombre de traits archaïques. Les plus évidents sont une forme de l'encéphale assez différente de celle des *Homo sapiens* récents et, pour l'un des crânes, des arcades sourcilières proéminentes. Toutefois, ce caractère éminemment archaïque pourrait avoir été déjà en voie de disparition, puisque, notent les chercheurs, ces arcades sont relativement petites par rapport à celles d'*Homo neanderthalensis* ou d'*Homo heidelbergensis*, l'ancêtre commun supposé des hommes modernes et des néandertaliens. Cette



© Shannon McPherron, MPI EVA Leipzig

réduction des arcades s'accompagne d'une tendance au redressement du front qui, chez les humains du Jebel Iroud comme chez tous les *Homo sapiens*, positionne la face à l'aplomb du front et non plus en avant. Plus gracile que celle d'un néandertalien, la face des hommes du Jebel Iroud est aussi relativement courte. Ces caractéristiques et d'autres, notamment celles des dents et de la mandibule, suffisent à placer les individus du Jebel Iroud parmi les *Homo sapiens*.

Pour s'en assurer, les chercheurs se sont toutefois livrés à une analyse

Jean-Jacques-Hublin montre ici le crâne d'un *Homo sapiens* précoce découvert dans le Jebel Iroud, déformé par les mouvements de terrain.

morphométrie 3D, une technique statistique qui permet, après avoir mesuré de nombreux traits, de représenter les diverses formes anatomiques par des points dans un espace abstrait. Il en ressort que nos ancêtres de Jebel Irhoud se distinguent bien des néandertaliens ou des formes humaines anciennes (*H. heidelbergensis* notamment). Leurs caractéristiques faciales se placent au milieu du nuage de points correspondant aux hommes actuels et celles de leurs crânes parmi les fossiles d'*Homo sapiens* anciens et récents.

Pour autant, les chercheurs constatent qu'une certaine diversité règne parmi les formes anciennes d'*Homo sapiens* en Afrique. Les fossiles du Jebel Irhoud peuvent être rapprochés de ceux de Omo 1 et 2 (195000 ans, Éthiopie) et de celui de Florisbad (259000 ans, Afrique du Sud), un crâne au statut incertain, mais qui passe pour appartenir à *Homo sapiens* pour certains paléoanthropologues. Omo 2 vient par exemple se placer entre deux fossiles du Jebel Irhoud. Ainsi, certains des traits des fossiles de Jebel Irhoud se retrouvent en plusieurs endroits d'Afrique à des époques différentes. Ceci

suggère une évolution d'*Homo sapiens* «en mosaïque» à l'échelle du continent (les différents traits sapiens ont évolué à des vitesses différentes suivant les régions). Une impression que confirme la circulation d'un bout à l'autre de l'Afrique d'un trait culturel: peu après 300000 ans, les outils de pierre fabriqués par les hommes du Jebel Irhoud se rencontrent aussi en Afrique du sud et de l'est. Les chercheurs expliquent ce lien par un épisode climatique ayant entraîné une très forte réduction du Sahara il y a quelque 330000 ans, rendant possible la circulation entre l'Afrique du nord et le reste du continent. Au final, les nouveaux fossiles marocains confirment que la différenciation de la forme humaine sapiens a bien eu lieu en Afrique et sur une vaste échelle de temps, puisqu'elle était déjà en marche il y a plus de 300000 ans.

Article publié en juin 2017 sur
www.pourlascience.fr



François SAVATIER

est rédacteur à *Pour la Science*,
et auteur du blog [Bafouilles
archéologiques](http://Bafouillesarchéologiques.com).

BIBLIOGRAPHIE

Jean-Jacques Hublin et al., [New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of *Homo sapiens*](#), *Nature*, vol. 546, pp. 289-292, 8 juin 2017.

A silhouette of a hunter carrying spears on his back, walking across a landscape. The background is a sunset with horizontal bands of color: dark red at the top, transitioning through orange, yellow, and light blue to a dark blue at the bottom. The hunter is positioned in the upper half of the frame, walking from left to right. The spears are long and thin, with some having fletching at the tips. The hunter is wearing a loincloth and has a bow slung over his shoulder.

La plus invasive des espèces

CURTIS MAREAN

Une grande capacité à coopérer et l'invention des armes de jet expliqueraient pourquoi, de toutes les espèces humaines ayant vécu sur Terre, « *Homo sapiens* » est la seule à avoir investi la planète entière.

La plus grande vague de migrants a déferlé sur le monde il y a... environ 100 000 ans. À cette époque, *Homo sapiens* quitte l'Afrique et aborde l'Eurasie. Ce petit pas pour l'humanité marque le début d'une expansion inexorable: nos ancêtres finissent par gagner tous les continents et de nombreux archipels. Sur leur route, ils rencontrent d'autres espèces humaines, tel Néandertal, qui disparaissent toutes, à l'instar d'un grand nombre d'espèces animales. Le passage en Eurasie d'*Homo sapiens* est sans doute l'événement migratoire majeur de toute l'histoire de notre

planète. Mais pourquoi l'espèce *Homo sapiens*, l'« homme moderne », est-elle la seule à avoir suivi ce chemin ?

Pour certains, cela tiendrait à son gros cerveau; pour d'autres, aux innovations techniques; pour d'autres encore, au climat, qui aurait affaibli les espèces humaines concurrentes. Cependant, étant donné l'amplitude spectaculaire de l'expansion d'*Homo sapiens*, aucune de ces théories n'est satisfaisante pour décrire la globalité de cet événement complexe. La raison de ce succès est à chercher ailleurs.

Nos découvertes en Afrique du Sud ainsi que plusieurs avancées en biologie et en sciences sociales m'ont amené à proposer un mécanisme simple susceptible d'expliquer la conquête du globe par *Homo sapiens*. Selon moi, cette étonnante dispersion s'est produite d'abord grâce à l'évolution et à l'inscription dans les gènes de nos ancêtres de la capacité à coopérer entre individus non apparentés. Ce trait singulier de notre espèce expliquerait l'adaptation de nos ancêtres à tant d'environnements différents et aurait favorisé l'innovation, laquelle a entraîné la mise au point d'armes de jet efficaces. Ainsi équipés et dotés d'un comportement collectif très adaptatif, nos ancêtres sont sortis d'Afrique et ont conquis le monde.

En route pour l'Eurasie...

La colonisation de la planète par *Homo sapiens* est extraordinaire, et pour s'en rendre compte, remontons à la naissance de notre espèce en Afrique, il y a quelque 200 000 ans. Des dizaines de milliers d'années durant, nos premiers ancêtres restent sur le continent africain, puis, il y a

environ 100000 ans, voire avant, quelques groupes de ces «hommes anatomiquement modernes» font une incursion au Moyen-Orient. L'opinion dominante parmi les préhistoriens est que ces pionniers auraient été incapables d'aller plus loin.

Puis, il y a moins de 70000 ans, une population fondatrice sort d'Afrique et

s'étend en Eurasie. Ses membres rencontrent et côtoient d'autres espèces humaines, par exemple les Néandertaliens en Europe et les Denisoviens en Asie. Force est de constater que, peu après l'arrivée des hommes modernes, les traces des autres humains se perdent, bien qu'une partie de leur ADN persiste chez nos contemporains,

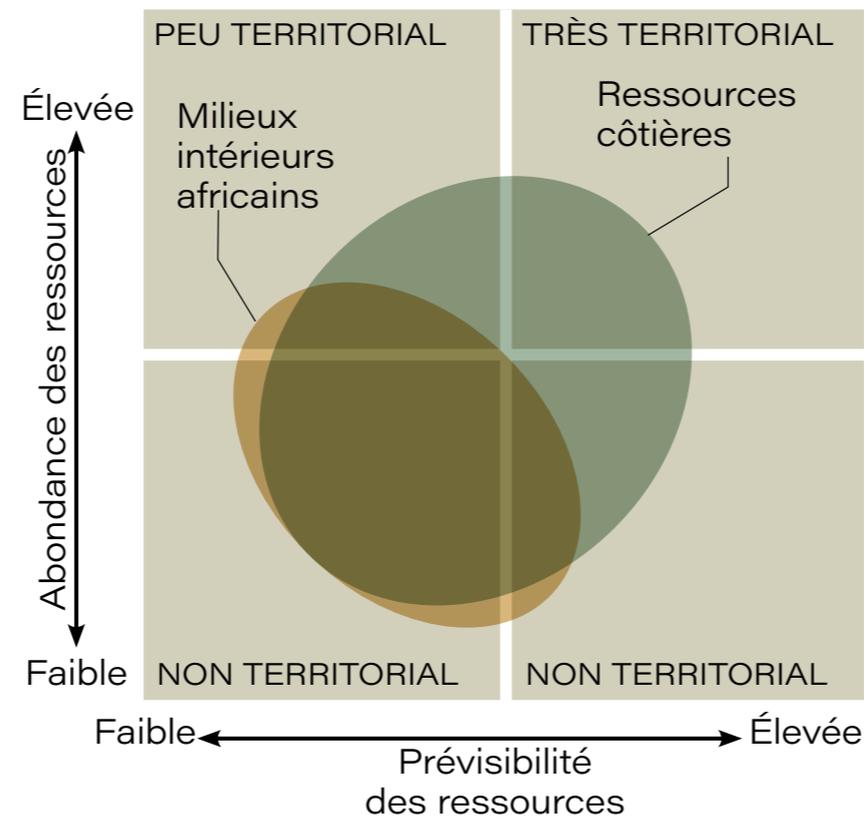
sans doute à la suite de métissages occasionnels.

Parvenus sur les rivages de l'Asie du Sud-Est, bloqués par une mer apparemment illimitée et dépourvue d'îles, les hommes modernes vont pourtant trouver les moyens de poursuivre leur expansion. Il y a plus de 45000 ans, ils réussissent à rejoindre l'Australie. Des groupes disposant d'armes de jet et maîtrisant le feu occupent très vite le royaume des marsupiaux qu'aucun humain n'avait encore foulé. Ils en font vite disparaître les plus grandes espèces marsupiales, avant, il y a quelque 40000 ans, de passer en Tasmanie par un isthme alors émergé.

Dans l'hémisphère Nord, une population d'*Homo sapiens* pénètre en Sibérie. Elle rayonne dans les régions entourant le pôle Nord, mais les glaces les empêchent d'atteindre l'Amérique. Les scientifiques s'accordent à dire cela ne s'est fait qu'il y a 14000 ans environ, quand des groupes de chasseurs traversent la Béringie, c'est-à-dire l'isthme qui liait alors la Sibérie orientale à l'Alaska. L'arrivée en Amérique de chasseurs humains auxquels la faune

DÉFENDRE UN TERRITOIRE PLEIN DE RESSOURCES

Une loi de la biologie stipule que la sélection naturelle favorise la territorialité, c'est-à-dire la défense agressive des ressources alimentaires, chaque fois que les bénéfices d'un accès exclusif à ces ressources l'emportent sur les coûts liés à leur protection. Dans les petites sociétés humaines, la territorialité se développe particulièrement chaque fois que les ressources alimentaires sont abondantes localement et prévisibles. Or les régions côtières africaines où vivaient nos ancêtres offraient des bancs de coquillages et des crustacés faciles à pêcher constituant de telles ressources. Cet environnement a pu développer à un haut degré la territorialité dans les premiers groupes d'*Homo sapiens*.



n'avait encore jamais été confrontée provoque le massacre et entraîne la disparition de grands animaux américains, tels les mastodontes et les paresseux géants... Une fois établis en Amérique, les hommes modernes n'ont besoin que de quelques milliers d'années pour atteindre l'extrême sud de l'Amérique.

Quant à Madagascar et à la plupart des îles du Pacifique, elles restent préservées de la présence humaine pendant encore 10 000 ans, puis des peuples marins découvrent et colonisent ces endroits. Ces îles aussi souffrent de l'arrivée des hommes modernes, qui remodelent l'environnement, brûlent les forêts et exterminent des espèces. Seule l'Antarctique restera préservée de l'homme jusqu'à la fin de l'ère industrielle.

Pourquoi et comment, après être resté des dizaines de milliers d'années confiné dans son continent d'origine, *Homo sapiens* en est-il sorti et a-t-il colonisé toutes les terres atteignables? Une bonne théorie de cette dissémination devra expliquer deux choses: d'une part, le moment où elle a commencé; d'autre part, l'adaptation à tous les milieux et l'évincement des

autres espèces humaines rencontrées. Pour échafauder une telle théorie, je propose que l'évolution a conféré à notre espèce des caractères qui l'ont dotée d'avantages compétitifs et dont étaient dépourvues les autres espèces humaines.

Une sociabilité exacerbée

Le premier de ces traits serait la très grande capacité de coopération des hommes modernes. Les membres de notre espèce s'engagent en effet sans cesse dans des activités collectives extrêmement complexes avec des individus qu'ils connaissent à peine et qui ne leur sont pas apparentés. Dans son livre *L'instinct maternel*, Sarah Blaffer Hrdy, de l'université de Californie à Davis, imagine plusieurs centaines de chimpanzés faisant la queue pour prendre

Des chimpanzés seraient incapables de faire la queue pour prendre l'avion

l'avion, embarquant, puis restant assis pendant des heures avant de sortir... inimaginable! Dans une telle situation, nos cousins primates ne cesseraient de se battre. Cette

expérience de pensée souligne à quel point les hommes modernes sont coopératifs.

Pour nommer ce penchant extrême à la coopération, j'ai forgé le néologisme d'«hyperprosocialité». Cette hyperprosocialité serait un trait inné, que l'on ne rencontre que chez *Homo sapiens*. D'autres animaux, tels les loups ou les bovidés, ont aussi des tendances prosociales, mais elles ne sont qu'un pâle reflet de la nôtre. Cette nature coopérative est à double tranchant. Les mêmes humains qui risquent leur vie pour défendre de parfaits étrangers peuvent aussi s'associer pour les combattre sans pitié.

Ainsi, l'hyperprosocialité serait notre «marque de fabrique». La question de savoir comment nos ancêtres l'ont acquise est difficile. Une récente modélisation mathématique de l'évolution sociale en a toutefois

fourni des indices intéressants. Sam Bowles, économiste à l'institut de Santa Fe, a montré que, paradoxalement, l'existence de conflits entre groupes est une condition optimale

à la propagation de l'hyperprosocialité au sein d'une population. Dans une telle situation, ce sont les groupes composés du plus grand nombre d'individus prosociaux qui «fonctionnent» le mieux et prennent l'avantage, grâce à quoi ils transmettent mieux

La défense de ressources a du sens surtout quand ces dernières sont importantes et prévisibles

leurs gènes aux générations suivantes. La propagation de l'hyperprosocialité dans l'espèce humaine est ainsi facilitée.

Les travaux du biologiste Pete Richerson, de l'université de Californie à Davis, et de l'anthropologue Rob Boyd, de l'université de l'Arizona, suggèrent en outre qu'un tel comportement se propage mieux s'il apparaît dans une sous-population, si la compétition entre groupes y est intense et si ces groupes sont petits. Or la génétique a prouvé que la population africaine originelle d'*Homo sapiens* était très petite.

Les chasseurs-cueilleurs ont tendance à vivre en petites bandes d'environ vingt-cinq individus, et à rechercher leurs

conjoints dans les clans voisins. Leurs clans forment des «tribus» caractérisées par une certaine communauté de langage et de traditions, et dont la cohésion est maintenue par des liens de parenté et des échanges de présents. Or il arrive que les tribus se

rassemblent pour combattre d'autres tribus. Les membres des clans risquent alors beaucoup, ce qui pose la question de leur motivation.

Se battre est-il rentable ?

Quand est-il rentable de se battre? La théorie de la «défendabilité économique» apporte quelques éclairages. Introduite en 1964 par l'Américain Jerram Brown pour expliquer les variations de l'agressivité territoriale chez les oiseaux, elle traduit l'idée que la défense des ressources d'une espèce a un coût, que ce soit en termes de blessures, d'énergie dépensée ou d'accès aux ressources. Selon Jerram Brown, les

individus agissent avec agressivité lorsqu'ils poursuivent des objectifs dont l'atteinte augmente leurs chances de survie et de reproduction. Ainsi, la sélection naturelle favorisera un comportement agressif lorsque ce dernier permet d'atteindre de tels objectifs.

Par exemple, un animal a intérêt à défendre sa nourriture quand celle-ci est menacée. Selon la fréquence de cette menace, un comportement agressif pourra être sélectionné. En revanche, si la nourriture ne peut être défendue ou s'il est trop coûteux de le faire, ce comportement, avec tous les risques qu'il comporte, serait contre-productif.

Dans un article de 1978, les Américains Rada Dyson-Hudson et Eric Alden Smith ont appliqué le concept de défendabilité économique aux petites sociétés humaines. Leurs résultats montrent que la défense de ressources a du sens surtout quand ces dernières sont importantes et prévisibles (d'un accès sûr). J'ajouterais qu'elles doivent aussi être cruciales pour l'organisme en question: aucun animal ne défend une ressource dont il n'a pas besoin.

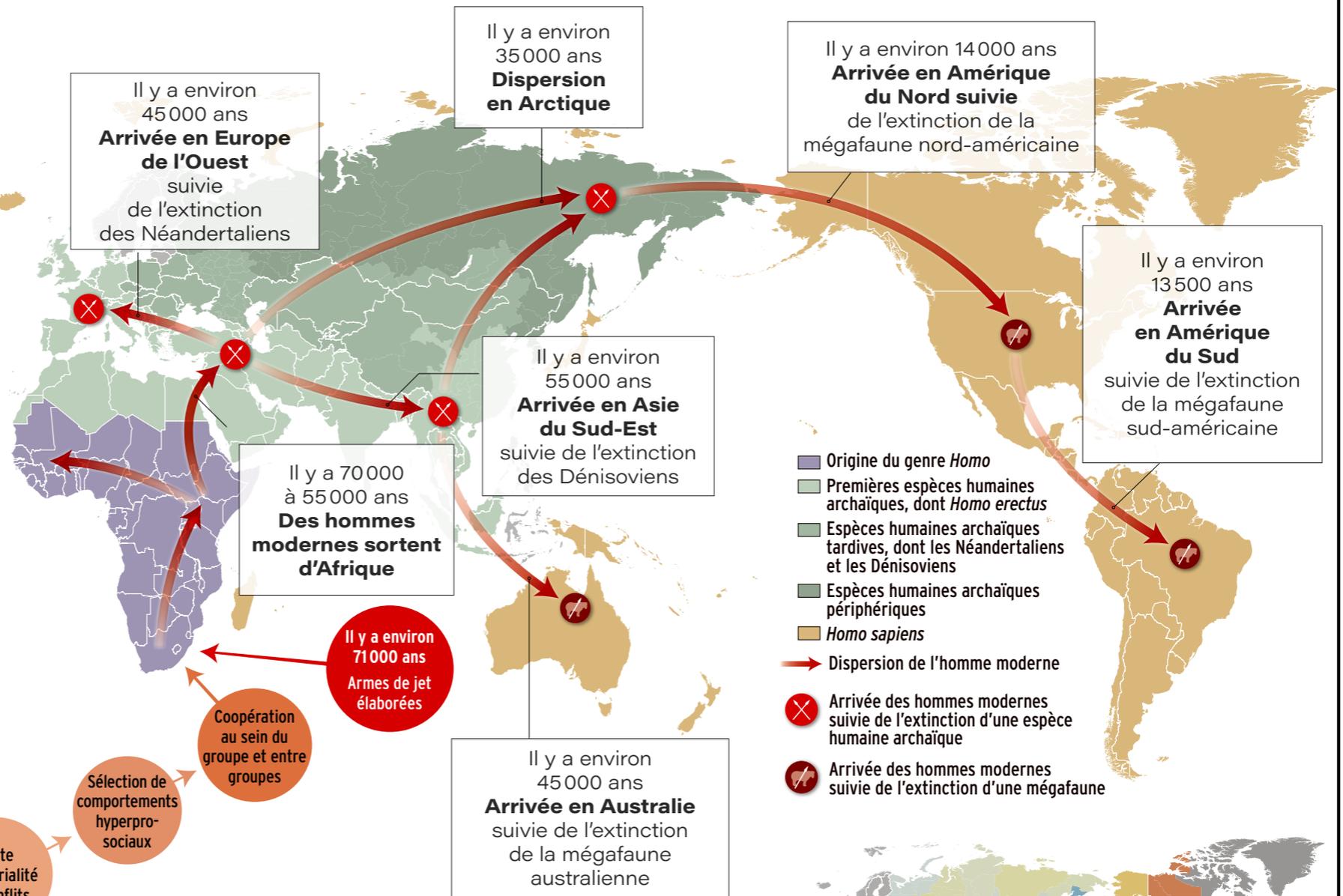
L'ULTIME ENVAHISSEUR

Homo sapiens n'a pas seulement suivi ses prédécesseurs. Il les a dépassés en colonisant des terres vierges qu'il a transformées.

Après l'apparition du genre *Homo* en Afrique (en violet), certains de nos ancêtres ont quitté le berceau africain, il y a deux millions d'années environ. Se dispersant en Eurasie, ils ont évolué pour donner *Homo erectus*, qui a lui-même évolué en Néandertaliens et en Denisoviens (en vert).

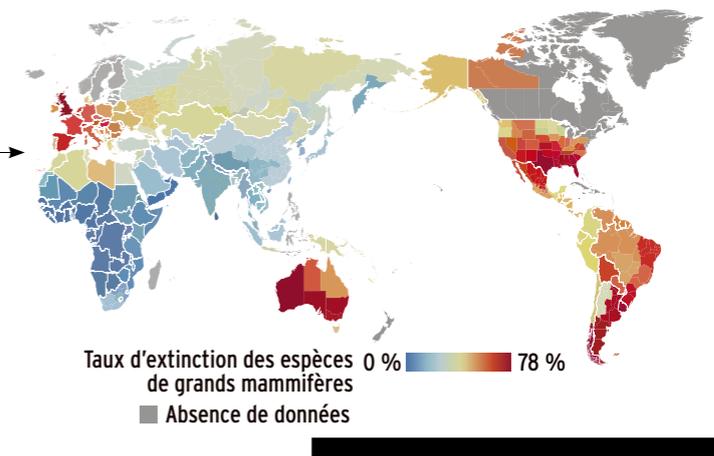
Il y a 200 000 ans environ apparaissent les premiers membres de l'espèce *Homo sapiens*. Il y a 160 000 ans environ, le climat se détériore et une grande partie de l'Afrique devient inhabitable. Des hommes modernes se réfugient alors sur la côte sud du continent, où ils subsistent grâce aux coquillages et aux crustacés. Cette adaptation aurait favorisé la coopération entre individus non apparentés, car il fallait défendre les ressources contre les intrus. Très coopératifs et entretenant de nombreux liens sociaux, nos ancêtres sont alors devenus toujours plus inventifs, créant notamment les armes de jets.

Homo sapiens s'est alors lancé dans la conquête de la planète (flèches rouges). Au-delà de l'Europe et de l'Asie, il s'est installé sur des continents et des îles n'ayant jamais été habités auparavant par une autre espèce humaine (en marron clair).



LES CONSÉQUENCES

Des changements écologiques majeurs ont accompagné l'expansion de notre espèce. En Europe et en Asie, l'arrivée des hommes modernes a entraîné la disparition des autres types humains présents. Par ailleurs, l'entrée d'hommes modernes dans les régions vierges de présence humaine a systématiquement entraîné la disparition de la mégafaune locale. Curieusement, la mégafaune eurasiennne s'est révélée plus résistante, sans doute parce qu'un équilibre entre proies et prédateurs humains préexistait de longue date dans cette région du monde, en raison de la présence ancienne d'*Homo erectus* et de ses descendants.



Ce principe écologique de base s'applique aussi à l'humanité: tant des États que des ethnies, voire des groupes religieux, se battent durement pour le contrôle de ressources prévisibles et précieuses, telle le pétrole, l'eau ou encore les terres arables. L'une des conséquences de cette théorie territoriale est qu'à l'époque des premiers *Homo sapiens*, les régions favorisant la compétition entre groupes, et donc les comportements coopératifs, n'ont pu recouvrir qu'une partie seulement de l'aire de répartition de l'espèce. Cette partie est composée de toutes les régions où les ressources étaient de qualité, abondantes et prévisibles.

À l'intérieur de l'Afrique, les ressources sont souvent rares et imprévisibles, ce qui explique que la plupart des groupes de chasseurs-cueilleurs africains ayant été étudiés investissent peu de temps et d'énergie pour défendre un territoire. Certaines régions côtières ont toutefois des ressources alimentaires importantes et prévisibles, par exemple des bancs de coquillages ou des crustacés faciles à pêcher. Or tant l'ethnographie que l'archéologie montrent que

les régions où apparaissent les plus hauts niveaux de conflits entre groupes sont celles dont l'économie est fondée sur les ressources côtières, comme ce fut le cas par exemple au sein des peuples vivant sur la côte pacifique nord de l'Amérique.

La question qui se pose alors est: quand les hommes ont-ils fondé pour la première fois leur subsistance sur des ressources

Les régions où apparaissent le plus de conflits entre groupes sont celles dont l'économie est fondée sur les ressources côtières

importantes et prévisibles? Des millions d'années durant, nos lointains ancêtres se sont nourris des produits de la cueillette, de la chasse et de la pêche, autant de ressources qui ne sont en général disponibles qu'en faibles quantités imprévisibles. C'est pourquoi nos ancêtres chasseurs-cueilleurs vivaient en petits groupes dispersés et mobiles, se déplaçant constamment à la recherche de nourriture. Toutefois, avec la complexification de la cognition humaine, une population humaine a compris qu'elle pourrait mieux assurer sa subsistance en se

nourrissant de coquillages et de crustacés.

Nos fouilles sur les sites de Pinnacle Point prouvent qu'il y a 160 000 ans, ce changement de comportement avait débuté sur la côte sud de l'Afrique. C'est là peut-être que, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, des groupes humains se sont spécialisés dans l'exploitation d'une ressource alimentaire importante, prévi-

sible et de grande valeur – une avancée qui a déclenché une mutation sociale.

Des indices génétiques et archéologiques suggèrent que pendant la période froide, de 195 000 à 125 000 ans, l'humanité est passée par un goulot d'étranglement démographique, c'est-à-dire par des effectifs très faibles. Alors que les rudes conditions glaciaires rendaient rares végétaux et animaux comestibles dans les écosystèmes de l'intérieur de l'Afrique, les environnements côtiers lui fournirent sans nul doute des «refuges alimentaires».

Toutefois, la nécessité de contrôler les vitales ressources côtières constituait aussi une raison sérieuse de conflits. Jan de Vynck, de l'université métropolitaine Nelson Mandela, a récemment montré que les bancs de fruits de mer de la côte sud de l'Afrique peuvent être si productifs qu'ils fournissent jusqu'à 4500 kilocalories par heure de collecte ! Une telle profusion n'a pu qu'entraîner nos ancêtres à défendre leur territoire. Cette « territorialité » a produit un haut niveau de conflits, se traduisant par des combats réguliers, bref par une compétition guerrière, qui a sélectionné les comportements hyper-prosociaux. Se battre pour s'assurer de conserver un accès exclusif aux gisements de coquillages et de crustacés était avantageux pour le groupe. Cela a induit un comportement collaboratif, qui s'est propagé dans toute la population.

La course à l'armement

La coopération au sein de groupes d'individus non apparentés a transformé les hommes modernes en une force irrésistible. Je pense toutefois qu'ils n'ont

atteint leur plein potentiel que grâce à une nouvelle technique décisive : des armes de jet efficaces.

Cette invention, longue à émerger, a vraisemblablement évolué ainsi : des épieux de bois ont d'abord été lancés à la main, puis des sagaies plus légères, avant que vienne l'idée du propulseur, un dispositif à effet de levier accroissant la portée des projectiles ; ensuite, l'arc et

Les hommes modernes n'ont atteint leur plein potentiel que grâce à une nouvelle technique décisive : des armes de jet efficaces

les flèches, les sarbacanes puis tous les moyens inventés par les hommes pour lancer des projectiles mortels se sont ensuivis.

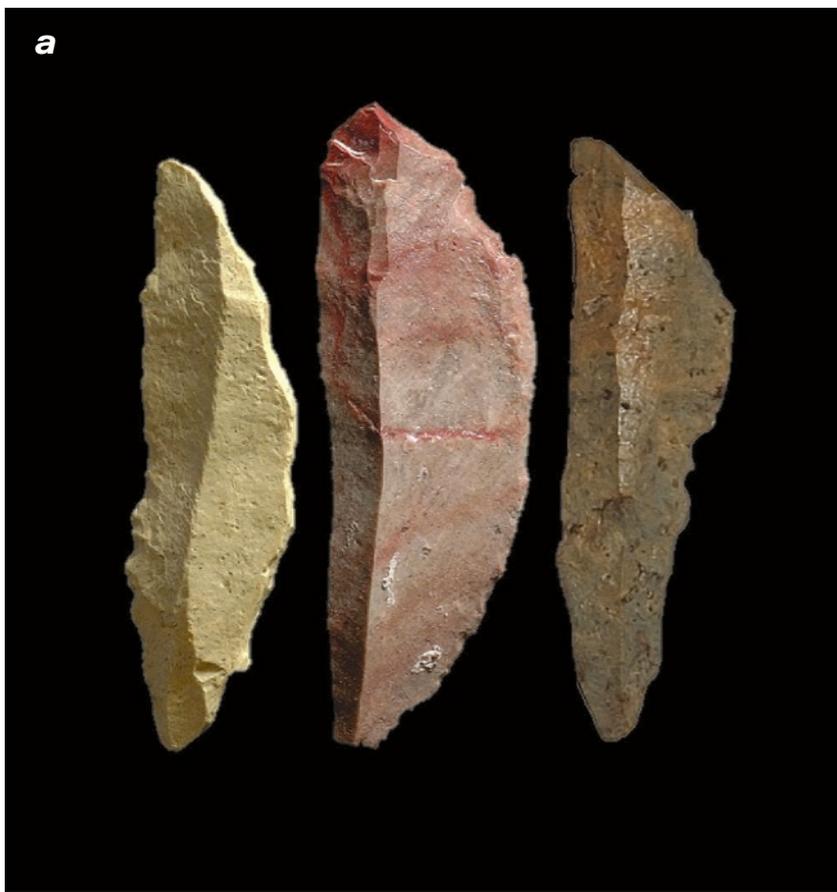
À chaque étape, les armes de jet sont devenues plus létales. Une lance de bois taillée en pointe produit une blessure ponctuelle, qui ne provoque qu'une faible hémorragie chez l'animal visé. En armant leurs sagaies de lames de pierre, nos ancêtres ont augmenté le saignement provoqué par la blessure. Une telle élaboration d'armes composites requiert la

combinaison de plusieurs techniques : la taille d'une pierre, le façonnage d'une hampe facilitant la fixation, un collage ou un lien...

Avec des collègues, Jayne Wilkins, de l'université du Cap, a montré que des outils en pierre provenant du site sud-africain Kathu Pan 1 ont été employés comme pointes de lances il y a environ 500 000 ans. L'âge des techniques de Kathu Pan 1 indique

qu'elles sont l'œuvre des derniers ancêtres communs (*Homo heidelbergensis*) des Néandertaliens et des hommes modernes. Or des vestiges datant de 200 000 ans montrent que, comme on pouvait s'y attendre, les deux espèces ont fabriqué des armes de jet. Pendant un temps, un certain équilibre entre Néandertaliens et premiers *Homo sapiens* a donc dû se maintenir, mais la situation allait évoluer.

Selon les préhistoriens, l'apparition dans le registre archéologique d'outils dits « microlithiques » (lames et lamelles de



Les armes de jet existaient déjà il y a 71000 ans. Ces microlithes provenant du site de Pinnacle Point (a) en attestent. Des hommes modernes fixaient ces lames sur des hampes en bois pour fabriquer des sagaies (b, une reconstitution).

pierre) signale l'avènement de projectiles légers conçus et optimisés en fonction des lois balistiques pour être lancés. Trop petits pour être utilisés à la main, les microlithes étaient fixés dans des sillons creusés dans l'os ou le bois.

Les plus anciens exemples connus de ce type de technique proviennent justement de Pinnacle Point. Là, dans l'abri rocheux PP5-6, nous avons mis au jour de nombreux témoignages d'une longue occupation humaine. En utilisant la datation

par la luminescence stimulée optiquement, Zenobia Jacobs, de l'université de Wollongong, en Australie, a montré que la séquence archéologique correspondante s'étend de 90000 à 50000 ans. Les outils microlithiques les plus anciens de ce site remontent à environ 71000 ans.

Ces dates suggèrent qu'un changement climatique a peut-être accéléré la mise au point d'armes de jet performantes. Il y a plus de 71000 ans, les habitants de PP5-6 fabriquaient des pointes et des lames en pierre à partir de quartzite. Comme l'a révélé Erich Fisher, de notre équipe, la mer était à l'époque proche de Pinnacle Point. Les reconstitutions climatiques et de l'environnement trahissent un environnement caractérisé par de fortes pluies hivernales et une végétation arbusative, comme celui d'aujourd'hui. Mais il y a environ 74000 ans, le climat de la planète a basculé vers un régime glaciaire. La mer a reculé, exposant la plaine continentale, et les pluies d'été se sont accrues, ce qui a multiplié les prairies grasses et les bois d'acacias. Nous pensons qu'un vaste écosystème à migrations saisonnières s'est alors

créé sur la plaine autrefois submergée: les herbivores s'y déplaçaient vers l'est chaque été, puis vers l'ouest en hiver, en suivant à la trace les chutes de pluies et donc les poussées d'herbe fraîche.

On ignore pourquoi, après ce changement climatique, les habitants de PP5-6 ont commencé à fabriquer des armes de jet légères. Était-ce pour abattre des animaux migrant à travers la nouvelle plaine? Quelle qu'en soit la raison, les individus de cette région ont développé une méthode ingénieuse pour fabriquer leurs petits outils: ils se sont tournés vers un nouveau matériau de base – une roche nommée silcrète – qu'ils ont appris à chauffer au feu afin de faciliter sa taille en lames et lamelles coupantes. Ainsi, une conséquence du changement climatique aurait été l'accès qu'ont eu ces premiers hommes modernes à un approvisionnement régulier en bois de chauffage provenant des abondants acacias, et la fabrication d'outils microlithiques en silcrète qui deviendra une tradition durable.

Nous ne savons pas encore dans quelles armes de jet ces microlithes étaient employés. Marlize Lombard, de l'université

de Johannesburg, en a étudié des exemples plus récents trouvés sur d'autres sites. Le fait que les traces d'impact observées sur ces artefacts sont comparables à celles que l'on voit sur des pointes de flèches prouverait que les microlithes sont à l'origine des armatures de flèches. Je ne suis pas tout à fait convaincu, car elle n'a pas étudié les traces d'impact que l'on trouve sur des projectiles lancés au propulseur. Que ce soit à

mise à mort, en effet, est toujours difficile. C'est blessé qu'un animal devient le plus dangereux, quand il emploie sa dernière énergie à se défendre. Or un projectile paralysant facilite la mise à mort d'une proie. Une telle arme a constitué une avancée technique majeure.

L'association d'armes de jet perfectionnées et d'un comportement hyperprosocial a créé un type nouveau de prédateur:

UNE TRIBU

de cinq cents personnes constituée de vingt clans connectés peut vite devenir une petite armée apte à aller venger l'incursion territoriale d'une tribu voisine

Pinnacle Point ou ailleurs, je pense que le propulseur, un système plus simple que l'arc et les flèches, a précédé ces derniers.

Je crois aussi que, comme les chasseurs-cueilleurs africains qui ont été étudiés par l'ethnographie, les premiers *Homo sapiens* ont découvert qu'avec du poison, il était possible d'accroître le pouvoir meurtrier des projectiles. Une

un groupe humain aux membres très coopératifs. Face à un tel superorganisme, plus aucune proie ou ennemi humain n'était en sécurité. Une telle combinaison a par exemple rendu possible la chasse à la baleine, un animal normalement trop puissant pour être pêché. De même, une tribu de cinq cents personnes constituée de vingt clans connectés peut vite devenir une petite

armée apte à aller venger l'incursion territoriale d'une tribu voisine.

L'émergence de cet étrange mélange de coopération et de prédation pourrait bien expliquer pourquoi, quand les conditions glaciaires sont revenues il y a entre 74000 et 60000 ans et ont à nouveau rendu inhospitalière la plus grande partie de l'Afrique, la population des *Homo sapiens* a commencé à se disperser. Au lieu de rester confinée à l'extrémité de l'Afrique, comme lors de la précédente période froide, elle s'est répandue en Afrique australe et y a prospéré à l'aide d'une grande diversité d'outils perfectionnés. En effet, lors de cette nouvelle période climatique difficile, les hommes modernes étaient désormais assez bien pourvus en avantages sociaux et en techniques adaptées pour faire face. Les *Homo sapiens* sont donc devenus les grands prédateurs des terres, avant, un jour, de le devenir aussi sur les mers. Grâce à cette capacité à maîtriser n'importe quel environnement africain, ils ont pu s'aventurer hors d'Afrique et aborder l'Eurasie, puis le reste du monde.

Quant aux autres espèces humaines, moins hyperprosociales et équipées

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

Abonnement papier



4€90/mois
ou **59€/an**

Abonnement papier + hors-série



6€50/mois
ou **79€/an**

Abonnement numérique



6€70/mois
ou **81€/an**

Abonnement intégral



8€20/mois
ou **99€/an**

Rendez-vous sur boutique.pourlascience.fr

d'armes moins performantes, elles n'eurent aucune chance face à la déferlante des *Homo sapiens*. Les anthropologues débattent depuis longtemps des raisons de la disparition des Néandertaliens. L'explication la plus troublante me semble être également la plus vraisemblable: les Néandertaliens ont été perçus par les hommes modernes comme des concurrents qu'il fallait éliminer...

La réalité du déclassement

Il m'arrive d'imaginer la fatidique rencontre des hommes modernes et des Néandertaliens. Je me représente des chasseurs réunis autour du feu se racontant avec vantardise leurs combats héroïques contre des ours des cavernes ou des mammouths. Un jour cependant, ces récits prirent un tour plus sombre, voire terrifiant: ils témoignaient de l'arrivée d'une nouvelle population d'individus rapides et ingénieux, capables de projeter avec force et précision des lances à des distances incroyables.

La triste histoire de la disparition des Néandertaliens, premières victimes de l'ingéniosité et de l'esprit coopératif des

hommes modernes, expliquerait en partie les génocides survenant au sein de notre humanité actuelle. Quand les ressources ou les terres disponibles se raréfient, nous dénommons «les autres» ou «ces gens-là» ceux qui ne nous ressemblent pas ou qui parlent une autre langue. Nous voyons ensuite dans ces différences des raisons de rejeter ou, pire, d'exterminer des humains.

La science a identifié les stimuli qui déclenchent cette tendance à classer des gens comme «autres» et à les traiter cruellement. Mais le fait qu'*Homo sapiens* ait évolué pour réagir à la pénurie avec cette férocité à l'égard de ses concurrents ne signifie pas que cela doive continuer. La culture peut prendre ce que nous pouvons développer à l'égard des autres nous aidera à suivre enfin la plus importante de toutes les sagesses héritées de nos ancêtres: «Plus jamais ça.»

Article publié dans *Pour la Science*
n° 458 décembre 2015



Curtis MAREAN

est professeur
à l'école d'évolution humaine
et de changement social
à l'université d'Arizona,
aux États-Unis.

BIBLIOGRAPHIE

C. Marean, The transition to foraging for dense and predictable resources and its impact on the evolution of modern humans, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, vol. 371(1698), 2016.

C. Marean, The origins and significance of coastal resource use in Africa and Western Eurasia, *J. of Human Evolution*, vol. 77, pp. 17-40, 2014.

H. Brown et al., An early and enduring advanced technology originating 71,000 years ago in South Africa, *Nature*, vol. 491, pp. 590-593, 2012.



La naissance de la pensée symbolique

FRANCESCO D'ERRICO

Les preuves archéologiques de l'apparition de la pensée symbolique s'accumulent. Elles révèlent que celle-ci a émergé chez les Néandertaliens et les premiers hommes modernes d'Afrique et du Proche-Orient. Les diverses cultures « modernes » sont apparues à différentes époques et en plusieurs endroits, sous l'influence de changements climatiques.

Puisque nous sommes la seule espèce du genre Homo sur notre planète, sommes-nous plus doués que les hominidés qui nous ont précédés? Le prétendre serait trop facile et ne dirait ni quel chemin nos ancêtres ont parcouru pour en arriver là ni dans quelle mesure nous partageons, en partie ou totalement, notre unicité supposée avec les autres hominidés, passés et présents.

La question de l'origine des attributs qui nous définissent en tant qu'êtres humains fait l'objet d'un débat animé parmi les spécialistes de diverses

disciplines telles que la primatologie, l'archéologie, la paléoanthropologie, la génétique, la psychologie évolutive et la linguistique. Néanmoins, l'intégration progressive des résultats de ces disciplines apporte quelques nouvelles réponses aux vieilles questions: « Qui sommes-nous? » et « D'où venons-nous? ».

Des frontières poreuses

Supposées infranchissables par le passé, les frontières génétiques et comportementales qui nous séparent de nos ancêtres et des singes anthropomorphes

sont de plus en plus remises en question. Nous partageons de 95 à 98% de notre patrimoine génétique avec les chimpanzés. En outre, on sait dorénavant que ces singes, et d'autres, sont capables de développer des traditions culturelles, par exemple dans la collecte ou la transformation des aliments, qui sont indépendantes des ressources disponibles dans leur environnement et des différences génétiques entre groupes. Nous savons aussi que la pensée symbolique, c'est-à-dire l'attribution d'une signification conventionnelle à des signes, n'est pas propre à notre espèce. Les récentes découvertes d'échanges génétiques entre les populations modernes venant d'Afrique, les Néandertaliens et des hommes archaïques d'Asie réfutent un modèle longtemps accepté. Il stipulait que tous les humains actuels sont les descendants d'une petite population africaine qui, sortie d'Afrique, aurait remplacé sans aucun métissage les populations archaïques vivant en dehors de ce continent.

Les nouvelles connaissances obligent de nouveau à s'interroger sur les facteurs qui ont régi l'évolution culturelle dans

notre lignée: comment ces facteurs ont interagi et à quel moment ont émergé des comportements que nous reconnaissons comme propres à l'homme (la cognition moderne, le langage, les manifestations artistiques, les croyances religieuses...)?

Divers scénarios, parfois contradictoires, ont été proposés pour expliquer l'origine de cultures comparables aux nôtres. Certains considèrent que les caractéristiques modernes apparaissent d'une façon soudaine il y a 50 000 ans à cause d'une mutation génétique qui aurait modifié le fonctionnement du cerveau. D'autres préfèrent situer cette brusque révolution cognitive entre 60 000 et 80 000 ans et l'associer à certaines innovations culturelles que l'on observe à cette époque en Afrique australe. D'autres encore privilégient l'idée d'une émergence progressive de caractéristiques culturelles modernes en Afrique, ce phénomène résultant du processus de spéciation qui a conduit à l'apparition de notre espèce sur ce continent. Selon les tenants d'une variante de ce dernier scénario, des changements dans la taille des populations expliquent mieux qu'une spéciation

l'émergence de ces comportements culturels modernes en Afrique.

Enfin, les partisans d'un modèle «culturaliste», dont je fais partie, soutiennent que les prérequis cognitifs nécessaires à l'émergence des cultures modernes étaient déjà largement en place chez les ancêtres des Néandertaliens et des hommes modernes. Dans ce cadre, des facteurs sociaux et démographiques, sans doute déclenchés par des changements climatiques, auraient été à l'origine de l'apparition asynchrone, de la disparition temporaire et de la réapparition de caractéristiques culturelles modernes

Pour les partisans d'un modèle «culturaliste», les prérequis cognitifs nécessaires à l'émergence des cultures modernes étaient déjà en place chez les ancêtres des Néandertaliens et des hommes modernes

en Afrique chez les populations modernes et en Eurasie chez les *Homo sapiens* archaïques. La modernité culturelle serait

alors le produit final de l'évolution de populations humaines qui étaient dans une large mesure, et indépendamment de leur affiliation taxonomique, déjà cognitivement modernes. Les principales forces motrices dans ce processus sont les caractères intrinsèques de chaque adaptation culturelle et de leur sélection sous la pression de changements environnementaux.

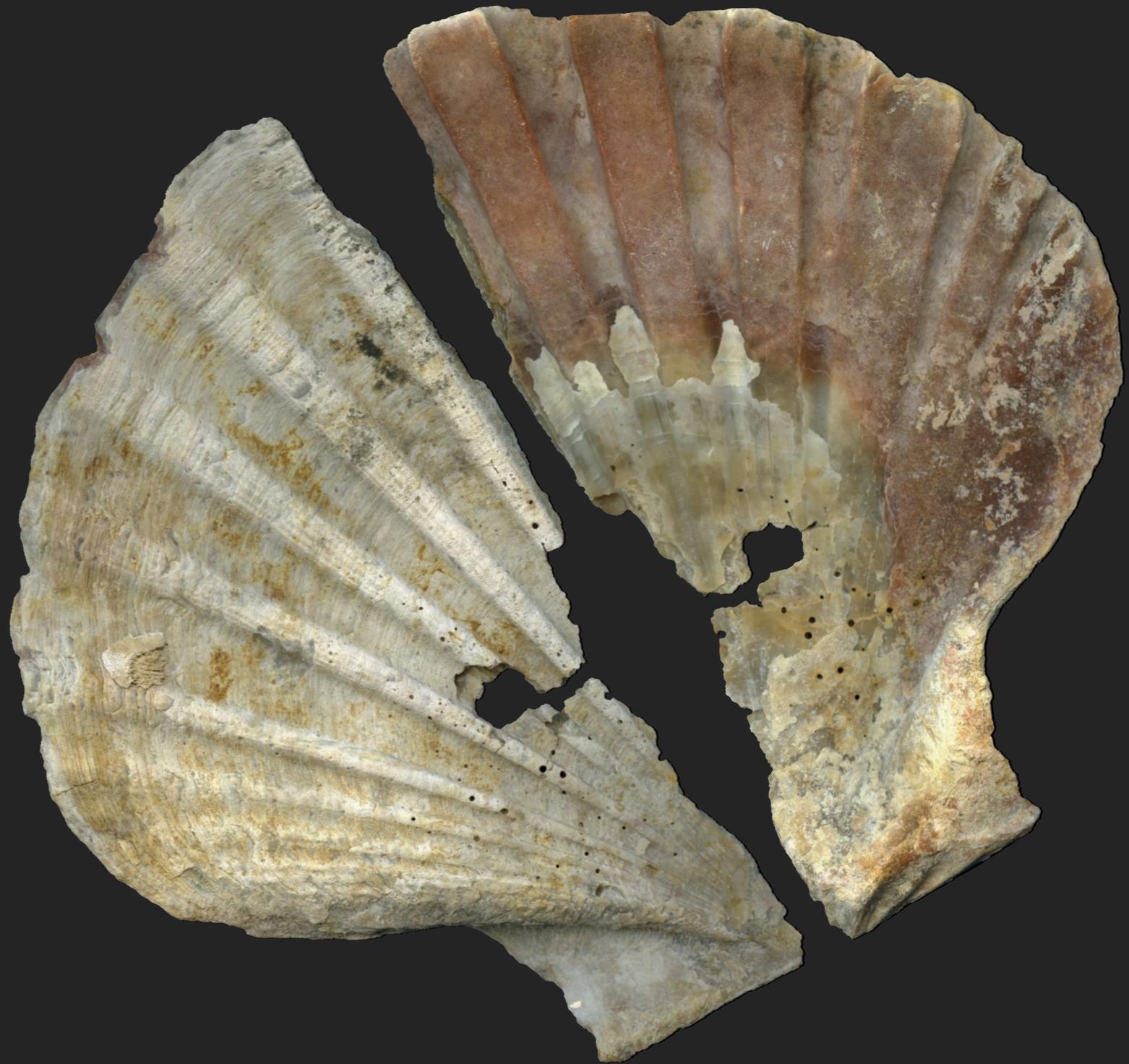
Des traces archéologiques de la modernité ?

Peut-on tester ces scénarios? Bon nombre de comportements supposés essentiels pour franchir le Rubicon vers les cultures modernes – l'altruisme, un langage complexe, la capacité à transmettre le savoir d'une génération à l'autre... – laissent peu de traces archéologiques directes. Dès lors, nous sommes contraints de déduire leur présence de façon indirecte à partir des éléments de la culture matérielle que nous mettons au jour. L'évaluation de ces scénarios dépend donc des faits culturels que nous qualifions de «modernes», de la probabilité qu'ils laissent une trace durable et non ambiguë dans le registre

archéologique, et enfin de leur datation. Elle est aussi tributaire de la capacité des différentes écoles de pensée à relier de façon convaincante un mécanisme privilégié (mutation génétique, spéciation, démographie, climat...) à un résultat attendu (changement soudain, émergence progressive, équilibre ponctué, évolution non linéaire...). Il s'agit aussi de démontrer que ce mécanisme était prépondérant pendant l'ensemble de la période qui a conduit à l'émergence de cultures comparables aux nôtres. Idéalement, nous espérons aussi que le mécanisme «gagnant» soit capable d'expliquer la variabilité culturelle observée chez les sociétés humaines historiquement connues ou de la Préhistoire récente.

Les critères utilisés par les archéologues pour identifier des caractéristiques modernes, ou au moins un certain degré de modernité dans le cas de modèles gradualistes, varient selon les auteurs et sont loin d'être acceptés à l'unanimité. Par exemple, certains chercheurs ont fait remarquer que les comportements utilisés pour identifier des «cultures modernes» dans le passé sont souvent calqués sur les innovations

Cette coquille (du genre *Pecten*) a été découverte sur le site de Cueva Anton, en Espagne. Des traces de pigments (un mélange de goethite et d'hématite) couvrent sa face claire (à gauche).



© Francesco d'Errico

culturelles et technologiques que l'on observe en Afrique à partir de 250 000 ans, au début de la période dite du Middle Stone Age, et en Europe à partir de 40 000 ans, au début du Paléolithique supérieur. Le danger de tomber dans un raisonnement circulaire est manifeste: on identifie comme «modernes» des sociétés du passé sur la base de restes archéologiques qu'on a au préalable définis comme porteurs de «modernité».

Toutefois, un consensus existe sur le rôle fondamental joué dans la création de cultures modernes par la capacité commune à toute société humaine de transfigurer symboliquement son environnement et à produire une culture matérielle symbolique. Cette innovation, qui permet de transmettre et de stocker des informations codées, a joué un rôle crucial dans la création et le maintien des conventions techniques et sociales, des croyances et des identités qui caractérisent toute société humaine connue.

Des chimpanzés et des bonobos ne vivant pas en contact avec des humains transmettent des traditions culturelles

distinctes, mais on n'a jamais observé chez ces singes de culture matérielle symbolique ni d'objets symboliques portés sur leur corps.

La conscience de la mort

Quelle est la preuve la plus ancienne de comportements symboliques? Les pratiques funéraires ont été souvent considérées comme un indice probant d'une humanité proche de la nôtre. Or plusieurs cas de transports de cadavres de jeunes par des mères chimpanzés, jusqu'à 68 jours, ou de «veilles» près du corps d'adultes ont été signalés. Quel est le sens de ces pratiques? Sont-elles de nature symbolique? Nous l'ignorons, mais elles suggèrent

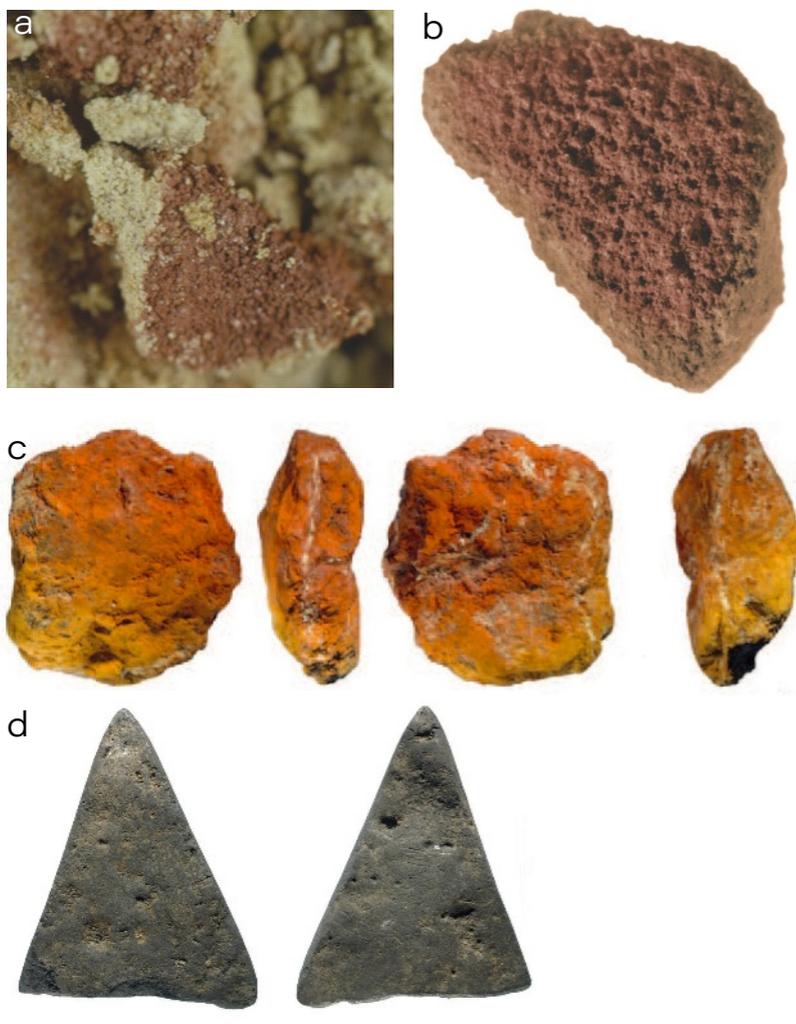
La plus ancienne sépulture connue, datée de 115 000 ans, a été mise au jour dans la grotte de Skhul, en Israël

que les chimpanzés ont une plus grande conscience de la mort qu'on ne le pensait. En ce qui concerne le genre Homo, l'aspect poli du crâne d'un des premiers hommes modernes connu, daté de 160 000 ans et

découvert à Herto, en Éthiopie, pourrait résulter de sa conservation et de son exposition rituelle. Néanmoins, cette hypothèse attend une étude détaillée pour être confirmée.

La plus ancienne sépulture connue, datée de 115 000 ans, a été mise au jour dans la grotte de Skhul, en Israël. Il s'agit d'un homme moderne enterré avec la mâchoire inférieure d'un grand sanglier. Les couches datées d'environ 100 000 ans de la grotte de Qafzeh, près de Nazareth, ont également livré un certain nombre de tombes d'hommes modernes dont un enfant couvert d'un bois de cervidé. Les sépultures d'hommes modernes deviennent ensuite très rares. Pour les 60 000 ans qui suivent

l'inhumation de Qafzeh, seules trois sépultures sont connues en Afrique: celle de Border Cave, en Afrique du Sud (70 000 ans) ainsi que celles de Nazlet Khater (70 000 ans) et de Taramsa (40 000 ans),



Des gouttes desséchées contenant des fragments d'hématite ont été mises au jour sur le site de Maastricht-Belvédère, aux Pays-Bas (a et b). Des petits blocs d'hématite et goethite ont été découverts dans la grotte de Skhul, en Israël (c). Ces pigments rouges ont été utilisés par des Néandertaliens et par les hommes modernes il y a respectivement 250 000 et 100 000 ans. Des plaquettes d'un minerai de manganèse (d) ont été découvertes dans la grotte de Pech-de-l'Azé, en Dordogne. Datées de 60 000 à 50 000 ans, elles ont été façonnées par des Néandertaliens qui les utilisaient probablement comme des « crayons ».

© W. Roebroeks

en Égypte. L'enfant de Border Cave était associé à un coquillage marin perforé, du genre *Conus*. Ce serait le plus ancien objet de parure associé à une sépulture.

Les sépultures néandertaliennes en Europe, datées de 80 000 à 40 000 ans, sont nombreuses, mais concentrées dans quelques régions. Les Néandertaliens, comme les humains modernes en Afrique, se sont probablement engagés ailleurs dans des pratiques funéraires ne laissant pas de traces archéologiques. Bien que dans un certain nombre de cas cette information soit difficile à vérifier à cause de l'ancienneté des fouilles, un mobilier funéraire constitué d'outils en pierre, de retouchoirs en os (ces outils servent à modifier un éclat en pierre), de pierres gravées avec des cupules, d'ossements..., était associé à certaines inhumations néandertaliennes comme celles de La Ferrassie, La Chapelle-aux-Saints, le Moustier, Regourdu en France, Amud et Dederiyeh, au Proche-Orient.

Le plus ancien outil fabriqué avec un os humain est un retouchoir réalisé avec un fragment de crâne néandertalien découvert à La Quina, en Charente. Les traces de

raclage et d'impact sur des fragments de crâne, probablement du même individu, trahissent vraisemblablement une fracturation et un nettoyage intentionnels afin de faire de l'os un outil. Difficile de penser en ces circonstances que l'artisan néandertalien ignorait qu'il utilisait un os humain.

Les premiers pigments

L'utilisation de pigments, attestée en Afrique et en Europe depuis au moins 250 000 ans, a été souvent considérée comme une preuve certaine de comportements symboliques. Néanmoins, cette idée ne fait pas l'unanimité. Les partisans de l'interprétation symbolique se fondent sur la préférence que l'on observe depuis le tout début de ce phénomène pour des teintes rouges intenses, la recherche de matières colorantes dans des sources géologiques éloignées, le chauffage nécessaire pour changer la couleur des pigments, la coloration de coquillages utilisés comme ornements et enfin, la couleur de la peau des Néandertaliens. En effet, des études ont révélé qu'elle était blanche et donc appropriée pour des peintures corporelles rouges.

Les tenants de l'interprétation alternative, dite utilitaire, ne nient pas que les plus anciens pigments ont pu avoir un usage symbolique, mais ils soulignent la difficulté de démontrer une telle interprétation. Ils argumentent en rappelant les fonctions utilitaires des pigments chez plusieurs sociétés traditionnelles (protection de la peau contre le soleil ou les insectes, médecine, complément alimentaire, tannage des peaux...).

Cependant, une telle opposition a-t-elle un sens? Dans les cultures actuelles, les pigments produits à des fins utilitaires ont toujours également une valeur symbolique. La distinction est le fait des archéologues, pas de ceux qui emploient ces pigments: ils ne font pas de différence entre matière utilisée, action, fonction et causalité.

En Afrique, l'utilisation de pigments devient systématique après 160 000 ans dans des sites du Middle Stone Age, notamment Pinnacle Point, en Afrique du Sud. Au Proche-Orient, les plus anciennes utilisations de pigments datent de 100 000 ans, à Qafzeh et à Skhul. Certains pigments

découverts dans ces deux derniers sites ont été chauffés, probablement pour changer la goethite jaune en hématite rouge. Les Néandertaliens utilisaient du pigment rouge il y a 250 000 ans à Maastricht-Belvédère, aux Pays-Bas. Dans des sites plus

Les derniers Néandertaliens produisent de grandes quantités de pigments : 18 kilogrammes ont été retrouvés dans la grotte du Renne, dans l'Yonne

récents, ils préfèrent souvent, sinon exclusivement, des pigments noirs, composés d'oxydes de manganèse. En revanche, les derniers Néandertaliens produisent de grandes quantités de pigments noir et rouge. Par exemple, dans la grotte du Renne, à Arcy-sur-Cure, dans l'Yonne, sur laquelle nous reviendrons, on a mis au jour 18 kilogrammes de pigments dans les couches châtelperroniennes!

Cependant, très peu d'informations sont disponibles sur la façon de préparer,

conserver et utiliser les matières colorantes à ces époques. Des facettes d'abrasion produites par frottement contre une roche, des stries et des incisions causées par le tranchant ou la pointe d'un outil lithique ainsi que des stigmates de percussion sont observés sur certains fragments de matières colorantes découverts dans ces sites. Des pigments découverts à Qafzeh et à Skhul portent des traces de chauffage, probablement intentionnel, destiné à modifier la couleur des roches. L'étude des provenances de matières colorantes utilisées à Skhul a mis en évidence une origine éloignée de certaines roches utilisées à cet effet. L'analyse des résidus de pigments découverts à Maastricht-Belvédère a récemment conduit à la même conclusion. Des objets en pierre portant des traces de pigments auraient été des meules ou des meulettes dans les sites de Bečov, en République tchèque, et de Sai 8-B-11, au Soudan, datés respectivement de 250 000 et 150 000 ans.

Des boîtes de couleurs ?

Des structures pour la conservation de pigments auraient été découvertes

dans la grotte de Sibudu, en Afrique du Sud, dans les couches archéologiques datées de 58000 ans, attribuées à la phase culturelle du post-Howiesons Poort. Il s'agit de quatre foyers constitués de cendres cimentées et couverts d'une couche poudreuse composée de pigment rouge mélangé à des microfragments de quartz. Le découvreur voit dans ces dépôts des amas de poudre colorante produite en frottant des minéraux riches en fer sur des meules en grès qui n'ont cependant pas été découvertes en association avec les foyers.

Les travaux que notre équipe vient d'effectuer en collaboration avec des collègues sud-africains et du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) ont permis l'analyse des plus anciens «kits» dédiés au traitement et au stockage de mélanges pigmentés.

Découvert par Christopher Henshilwood, de l'université de Bergen, en Norvège, dans la grotte de Blombos, en Afrique du Sud, dans des couches datées à 100000 ans, le kit le plus complet, nommé Tk1, est constitué d'un



Le kit Tk1 de stockage de pigments a été mis au jour dans la grotte de Blombos, en Afrique du Sud. Il est constitué d'une coquille d'ormeau (en haut à gauche) contenant encore des traces de pâte rouge, ainsi qu'un fragment de matière colorante (d) et un éclat de quartz (e). L'ensemble était accompagné d'un galet (a), d'une plaque de quartzite (c), de quelques os, notamment un os allongé de canidé (f), une omoplate de phoque (h), une vertèbre d'herbivore (i) et d'éclats de quartz et de quartzite (b, g, j et k).

grand coquillage, une valve d'ormeau (*Haliotis midae*), encore rempli d'une pâte rouge et contenant également un fragment de matière colorante ainsi qu'un éclat de quartzite. Un galet, portant des traces de percussion, couvrait l'ormeau pour en protéger le contenu. Ce premier ensemble comprend également une plaquette de quartzite et des éclats de quartz sur lesquels on a détecté des résidus de pigments et des traces d'utilisation en tant que meules et broyeurs. Enfin, un os allongé, sans doute employé pour mélanger ou appliquer le pigment, ainsi qu'une omoplate de phoque et une vertèbre d'herbivore accompagnaient cet ensemble.

Le second ensemble, Tk2, est constitué d'un autre ormeau contenant une pâte semblable à celle découverte dans le premier coquillage, un petit bloc de quartzite taillé, recouvert de pigment, ainsi qu'un fragment de minéral rouge portant des traces d'abrasion et de taille.

Grâce à l'analyse des deux kits et des résidus qu'ils recèlent, nous avons reconstitué les comportements des artisans qui ont produit ces mélanges pigmentés il y a 100 000 ans dans la grotte de Blombos.



Cette plaquette d'hématite est gravée d'un motif abstrait. Datée d'environ 75 000 ans, elle a été mise au jour dans la grotte de Blombos, en Afrique du Sud.

Les minéraux riches en oxyde de fer présents sous forme de poudre, de fragments et de micro-éclats dans les dépôts au fond des ormeaux et sous forme de blocs de matière colorante trouvés à proximité proviennent de sources situées à plusieurs kilomètres du site. Il en est de même pour une roche, le silcrète, dont les fragments ont été repérés dans le mélange contenu dans l'ormeau du kit Tk2. Les matières premières dont sont constitués les autres objets qui composent les deux kits étaient disponibles dans l'environnement immédiat du site. Les deux *Haliotis midae* proviennent de la zone côtière intertidale, où cette espèce vit encore aujourd'hui. Il y a 100 000 ans, cette zone était située à quelques centaines de mètres de la grotte de Blombos. Quant aux galets et aux plaquettes de quartz et de quartzite, ils peuvent être ramassés à quelques mètres de l'entrée de la cavité.

Au moment de leur découverte, les trous respiratoires des ormeaux étaient remplis de sable et de fragments d'os. Ils ont vraisemblablement été bouchés avant l'utilisation des coquillages comme récipients,

mais l'obstruction pourrait aussi être la conséquence de processus ultérieurs.

La recette des pigments

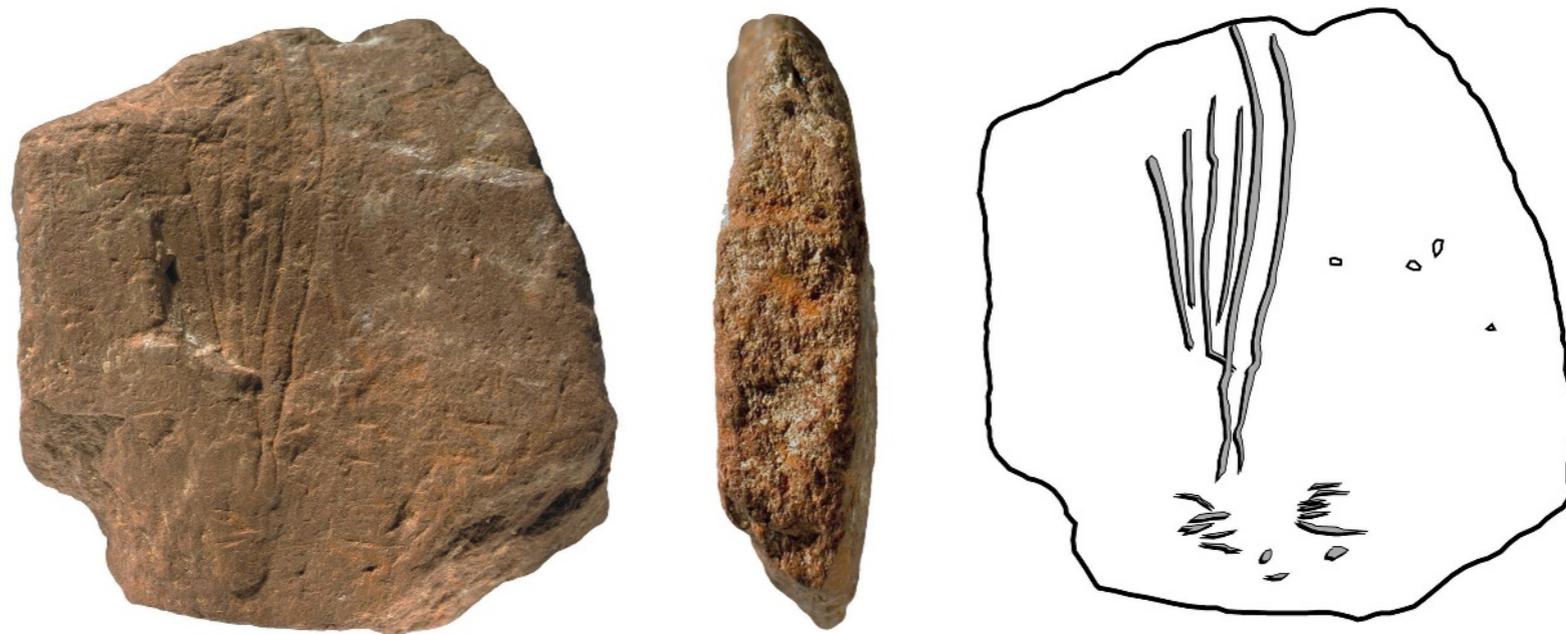
La production de mélanges pigmentés se déroulait de la façon suivante: des morceaux d'ocre étaient soit frottés sur des plaquettes de quartzite pour produire une fine poudre rouge, soit taillés grâce à des éclats en quartz et en quartzite. Les fragments d'ocre obtenus étaient broyés avec des éclats de quartz, de quartzite et de silcrète. Un nucléus en quartzite, régulièrement réaffûté, a été utilisé pour écraser le mélange.

Des os de mammifères de taille moyenne ont également été broyés, probablement avec le galet en quartzite. La couleur brun-rouge et l'aspect éclaté de certains fragments d'os spongieux suggèrent qu'ils ont été chauffés avant d'être écrasés, probablement pour faciliter l'extraction de la graisse. Celle-ci et un liquide indéterminé (eau, urine, salive...) ont été versés dans les ormeaux avec la poudre colorante rouge. Des fragments de charbon de bois ont pu être ajoutés volontairement

ou accidentellement. Les micro-éclats de quartz, de quartzite et de silcrète, produits par le broyage des blocs de matière colorante, ont certainement été incorporés dans le mélange de façon accidentelle. L'ensemble a été remué doucement car, malgré la présence d'éléments abrasifs dans le mélange, ces derniers n'ont que rarement et superficiellement strié la nacre.

Les résidus d'ocre sur l'os de canidé associé au kit Tk1 suggèrent qu'il a pu être utilisé pour remuer le mélange ou pour

transférer celui-ci de l'orneau vers un support (peau, pierre...). Certains objets composant les kits ont été réutilisés, ce qui indique que la production des mélanges colorés était une activité relativement fréquente. Cette hypothèse est confirmée par l'utilisation comme broyeur du petit nucléus en quartzite du kit Tk2, utilisé d'abord pour écraser de la goethite jaune, taillé ensuite et employé enfin pour moulinier du pigment rouge. La présence de fragments de silcrète alors qu'aucun

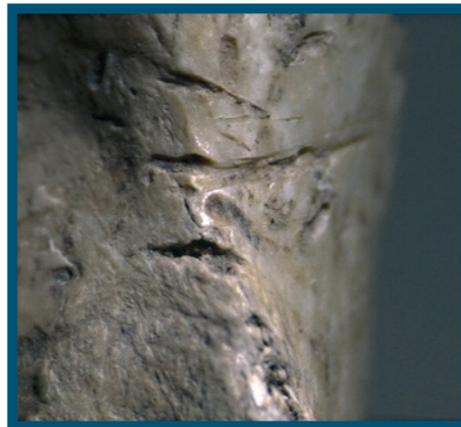
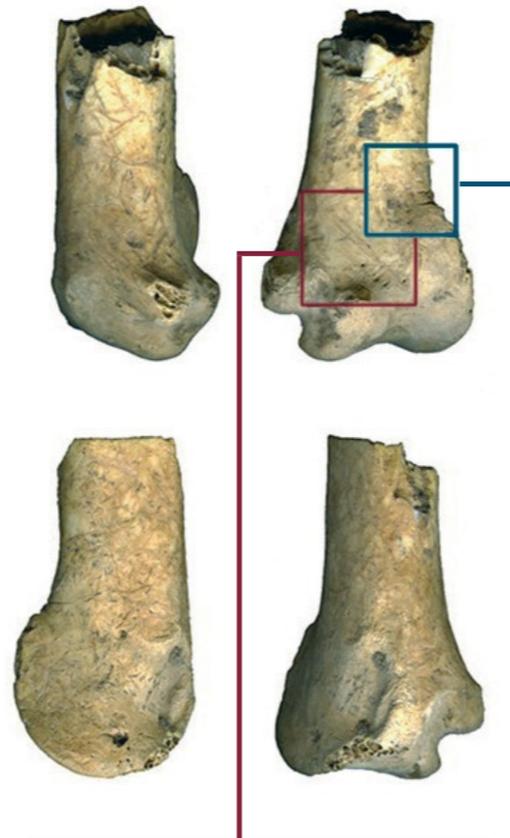


Cette plaquette d'hématite gravée d'une série de traits convergents a été découverte dans la grotte de Blombos, en Afrique du Sud, dans des couches archéologiques datées de 90 000 ans.



© M. Peresani et al.

Des stries ont été découvertes sur les os des ailes d'un gypaete barbu dans la grotte de Fulmane, en Italie (à droite). Ces traces indiquent qu'il y a 44 000 ans, des Néandertaliens ont récupéré les plumes des ailes de ce rapace, vraisemblablement pour un usage symbolique.



© R. Bartz

broyeur en cette matière première n'a été trouvé associé aux deux kits ou découvert dans la couche correspondante évoque l'utilisation d'un tel outil dans une préparation de pigment qui a précédé celle effectuée juste avant l'abandon des kits.

Le fait qu'un type d'ocre, nommé fs2, soit présent uniquement dans Tk1 fait également penser que les deux kits ont pu être utilisés à des moments différents, bien que leur proximité spatiale prône pour une relative contemporanéité. L'abandon sur place des deux ensembles d'outils et la pauvreté en vestiges archéologiques de la couche où ils ont été trouvés indiquent que le site a pu être utilisé à cette époque principalement comme un atelier de production de pigments pour être ensuite abandonné peu après la préparation des composés. L'excellente conservation des objets et des résidus indique que leur ensevelissement par du sable éolien a été rapide en soustrayant ainsi ces ensembles à l'action d'agents d'altération.

L'emploi auquel les mélanges pigmentés étaient destinés fait l'objet de plusieurs hypothèses. Aucun résidu de

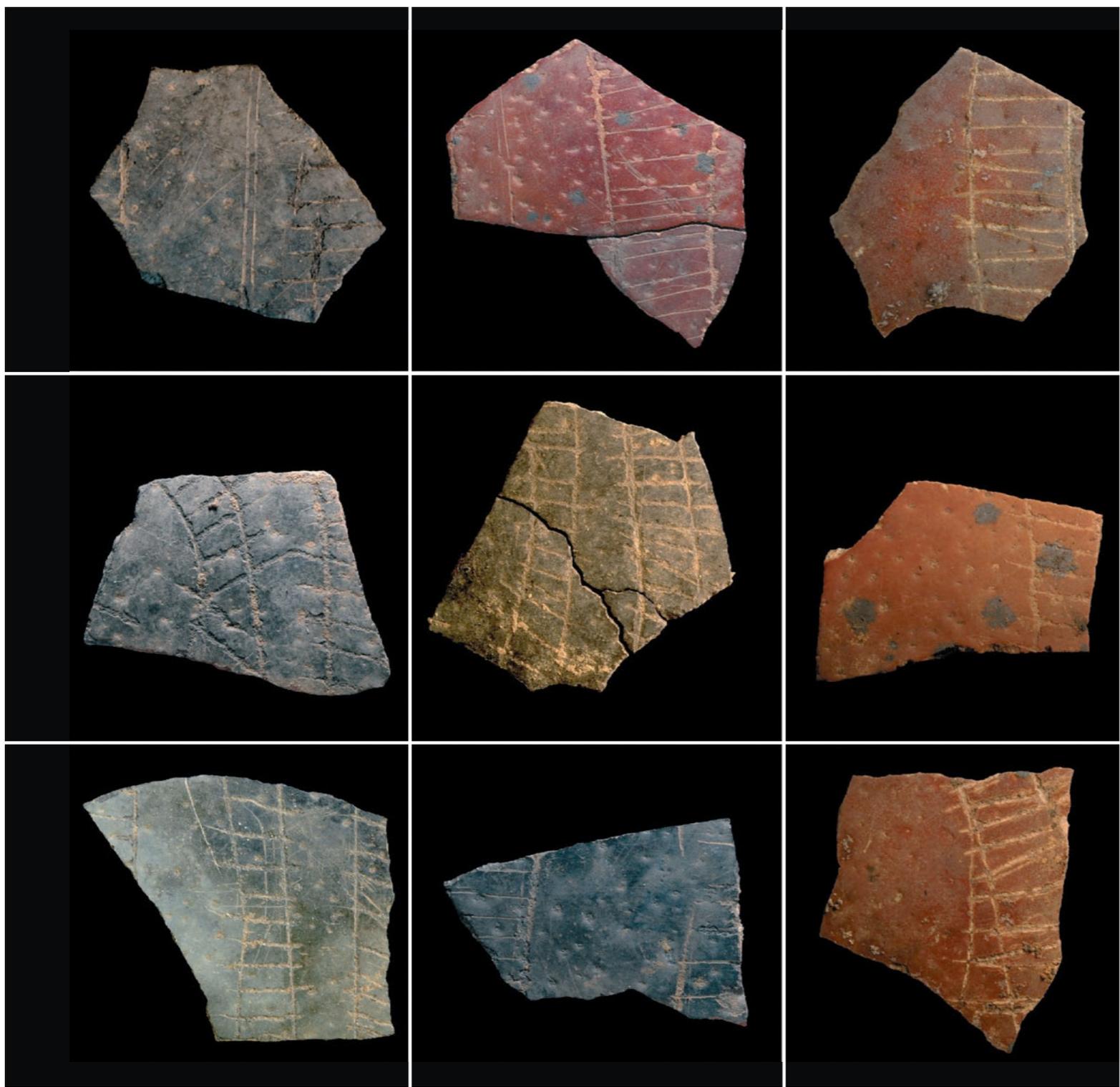
résine ou de cire n'indique qu'il s'agissait d'un adhésif pour emmancher des outils, mais ce manque pourrait résulter d'une mauvaise conservation des matières organiques. Ces mélanges pigmentés ont pu aisément servir, l'ethnographie en témoigne, pour enduire la peau humaine afin de la protéger d'agents pathogènes et du soleil, pour réaliser des peintures corporelles, pour couvrir la surface d'un support en peau, en pierre ou en bois afin de le traiter, préserver ou décorer, voire comme complément alimentaire. Quoiqu'il en soit, cette découverte correspond à la plus ancienne utilisation connue de récipients et représente actuellement le plus ancien témoignage de la production d'un mélange pigmenté. Elle révèle des capacités de planification à long terme jusqu'à présent insoupçonnées pour les populations africaines de cette époque.

Les objets de parure sont considérés avec l'art, les sépultures et l'utilisation de pigments comme l'un des indices archéologiques parmi les plus probants de l'acquisition d'une pensée symbolique. Pendant longtemps, on estimait que les

Des coquillages marins perforés ayant servi de parure, datés de 100 000 à 70 000 ans, ont été retrouvés dans des sites en Afrique du Sud, au Proche-Orient au Maroc et en Algérie

plus anciens ornements dataient du début du Paléolithique supérieur en Europe et au Proche-Orient, soit vers de 40 000 ans avant notre ère. Or mes recherches effectuées au cours des dix dernières années avec notamment Marian Vanhaeren, de l'université de Bordeaux, ont permis de mettre au jour des coquillages marins perforés du genre *Nassarius*, datés de 100 000 à 70 000 ans, dans des sites en Afrique du Sud, au Proche-Orient, au Maroc et en Algérie.

Tous les coquillages bien conservés révèlent à l'échelle microscopique des usures non présentes à l'état naturel qui seraient des traces occasionnées par un port prolongé. Certaines perles portent les marques laissées par les outils en pierre utilisés pour les perforer, plusieurs présentent des traces d'ocre sur les zones de frottement ou sur l'ensemble de la surface, indice que les coquillages et le fil étaient imbibés d'ocre. Trois des sites marocains sont situés entre 60 et 40 kilomètres de la mer, une distance importante qui permet d'envisager, déjà à cette époque, des réseaux d'échanges entre populations côtières et celles de l'intérieur. Certains



Ces fragments d'œufs d'autruche, découverts dans l'abri-sous-roche de Diepkloof, en Afrique du Sud, sont gravés de décors abstraits. Ils sont datés de 60 000 ans.

spécimens apparaissent noircis par un chauffage qui précéderait les traces dues au port des objets. Ils ont donc pu être « cuits » volontairement dans un milieu réducteur en présence de matière organique pour en changer leur couleur. Les artisans pouvaient alors composer des parures avec des perles de différentes couleurs.

Coquillages et art abstrait

Des représentations abstraites apparaissent en Afrique à la même époque que les parures, à partir de 100 000 ans. À Blombos et à Klasies River, elles sont élaborées entre 90 000 et 70 000 ans sur des plaquettes d'hématite. À Diepkloof, aussi en Afrique du Sud, des œufs d'autruche découverts dans des couches datées de 60 000 ans et utilisés pour conserver l'eau portent des décors gravés abstraits.

Remarquons que bon nombre de comportements « modernes » (parures en coquillages, gravures, pointes bifaces taillées par pression, outils en os) disparaissent en Afrique il y a 70 000 ans, au tout début d'une détérioration climatique sévère (celle dite du stade isotopique 4),

pour réapparaître sous des formes très différentes 10 000, parfois 20 000 ans après.

Plusieurs sites habités par des Néandertaliens en Europe ont livré des objets portant des incisions en série. Si certaines de ces marques ont une origine naturelle, d'autres résultent indubitablement d'une action délibérée, probablement à but symbolique. Trois sites étudiés récemment (Fumane, en Italie, Combe Grenal, en Dordogne et Le Fieux, dans le Lot) livrent la preuve convaincante d'une utilisation de serres et de plumes de rapaces, probablement dans un but symbolique.

Deux sites moustériens espagnols datés d'environ 50 000 ans ont livré les traces d'une utilisation symbolique de coquillages marins. À la Cueva de los Aviones, il s'agit d'une valve de *Acanthocardia* et de deux valves de *Glycymeris*, portant des perforations naturelles, et d'une valve de *Spondylus*, avec des traces de colorant rouge à l'intérieur. À la Cueva Anton, un fragment de valve de *Pecten* porte une perforation d'origine non déterminée et des traces de colorant orange sur sa face externe, qui est blanche au contraire de sa face interne rouge.

Plusieurs types d'objets de parure ont été découverts dans les sites occupés par les derniers Néandertaliens en Europe et en particulier dans la grotte du Renne déjà mentionnée. Certains y voient un avant-goût de l'explosion dans les types d'objets de parure que l'on observe avec l'arrivée de l'homme de Cro-Magnon en

contenant des restes humains néandertaliens et des objets symboliques tels que des parures, des outils en os décorés et de grandes quantités de colorants rouges et noirs portant des traces d'utilisation. Des études ont contesté les résultats de la fouille et proposé que cette association soit due à l'intrusion des objets symbo-

Les dernières datations de l'art pariétal et mobilier nuancent sensiblement la vision, autrefois à la mode, d'une explosion artistique au début du Paléolithique supérieur

Europe, au début du Paléolithique supérieur. Pour d'autres, ce sont des témoignages des contacts entre ces derniers et les Néandertaliens.

Des parures néandertaliennes

La grotte du Renne a joué un rôle essentiel dans le débat sur les capacités cognitives des Néandertaliens. Fouillé dans les années 1950 et 1960 par le préhistorien français André Leroi-Gourhan (1911-1986), ce site recèle plusieurs couches archéologiques, attribuées à la culture châtelperronienne,

liques à partir des couches supérieures du Proto-Aurignacien, attribuées à l'homme moderne, ou des restes humains néandertaliens à partir des couches du Moustérien sous-jacentes. En d'autres termes, l'association Néandertal-objets symboliques serait un accident archéologique.

Pourtant, une nouvelle étude à laquelle j'ai contribué au sein d'une équipe internationale composée de chercheurs de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (inria-Bordeaux Sud-Ouest), du Laboratoire De la Préhistoire

à l'actuel: culture, environnement et anthropologie (pacea-cnrs et université Bordeaux 1) et de l'université de Barcelone, démontre la justesse des observations de Leroi-Gourhan.

Cette étude analyse en détail la distribution horizontale et verticale des restes humains et archéologiques et vérifie grâce à des outils statistiques la probabilité que les couches en question soient le résultat d'un mélange. Les conclusions sont sans ambiguïté: les objets symboliques découverts dans les couches châtelperroniennes de la grotte du Renne sont bien l'œuvre des Néandertaliens. Ces derniers étaient donc capables de produire une culture matérielle symbolique en tout point comparable à celle des hommes modernes qui les ont supplantés en Europe il y a 40 000 ans.

Les dernières découvertes en matière de datation de l'art pariétal et mobilier nuancent sensiblement la vision, autrefois à la mode, d'une explosion artistique au début du Paléolithique supérieur. Ainsi, selon une étude récente d'Alistair Pike, de l'université de Bristol, au Royaume-Uni, l'âge révisé des plus anciens motifs peints



© Pedro Saura

À El Castillo, dans le Nord de l'Espagne, de nouvelles analyses ont montré que les empreintes de main et le bison datent d'au moins 37 300 ans : ils sont donc bien plus anciens qu'on ne le pensait. Les disques peints situés en dessous auraient même 3 000 ans de plus ! Dès lors, la question se pose : sont-ils l'œuvre d'hommes modernes, comme on le supposait, ou bien de Néandertaliens ?

(pour certains abstraits) sur les parois des grottes de la côte cantabrique, au Nord de l'Espagne, laisse ouverte la possibilité que les Néandertaliens, plutôt que les hommes modernes, en soient les auteurs. L'art figuratif de la grotte Chauvet, qui est jusqu'à aujourd'hui un art pariétal parmi les plus anciens connus, n'est pas le résultat d'une explosion artistique, mais l'aboutissement d'un processus complexe, encore à élucider.

Le symbolisme néandertalien

En somme, les découvertes archéologiques les plus récentes remettent en question l'idée que l'origine de notre espèce en Afrique coïnciderait avec celle des comportements caractéristiques des cultures humaines actuelles. Ces traits apparaissent à des moments différents, chez des populations distinctes et dans plusieurs régions de la planète à partir de 250 000 ans avant notre ère. L'originalité et la diversité des cultures humaines actuelles ne sont pas la conséquence d'un bouleversement soudain, ni d'une évolution graduelle, mais plutôt celle d'une suite d'adaptations

ponctuées. Ces dernières ont conduit, région par région, les populations préhistoriques à développer une mosaïque d'innovations culturelles, à chaque fois inédites, en réponse à des pressions sélectives distinctes. Pour comprendre les mécanismes de ces changements, on doit mieux connaître les trajectoires culturelles de ces populations dans chaque région de la planète. On a aussi besoin d'outils pour évaluer sur le long terme de quelle façon ces niches «éco-culturelles» ont réagi aux changements environnementaux.

Article publié dans *Pour la Science hors-série*
n° 76 juillet 2012



Francesco D'ERRICO

est directeur
de recherche au CNRS
et professeur à l'université
de Bergen, en Norvège.

BIBLIOGRAPHIE

A. Pike *et al.*, U-series dating of Paleolithic art in 11 caves in Spain, *Science*, vol. 336, pp. 1409-1413, 2012.

F. d'Errico *et al.*, Technological, elemental and colorimetric analysis of an engraved ochre fragment from the Middle Stone Age levels of Klasies River Cave 1, South Africa, *Journal of Archaeological Science*, vol 39(4), pp. 942-952, 2012.

M. Peresani *et al.*, Late Neandertals and the intentional removal of feathers as evidenced from bird bone taphonomy at Fumane cave 44 ky B.P., Italy, *PNAS*, vol. 108, pp. 3888-3893, 2011.

P.-J. Texier *et al.*, A Howiesons Poort tradition of engraving ostrich eggshell containers dated to 60,000 years ago at Diepkloof Rock Shelter, South Africa, *PNAS*, vol. 107(14), pp. 6180-6185, 2010.



La culture, moteur de l'évolution humaine

KEVIN LALAND

Si notre espèce brille par son intelligence et sa créativité, c'est parce que nous sommes avant tout des animaux sociaux. Langage, empathie, enseignement... : ces éléments qui facilitent les interactions sociales et le partage des connaissances auraient été autant de clés du succès évolutif d'« Homo sapiens ».

L'homme est-il un animal comme les autres? Posez la question autour de vous, il y a toutes les chances qu'on vous réponde non. Il existe une croyance largement partagée parmi la population, mais dénuée de tout fondement rationnel, selon laquelle l'espèce humaine est unique en son genre, séparée du reste du monde animal. Curieusement, les scientifiques les mieux placés pour se prononcer sur la question se montrent souvent réticents à reconnaître l'originalité d'*Homo sapiens*, peut-être par crainte de placer l'être humain sur un piédestal comme

le font beaucoup de religions. Pourtant, de l'écologie à la psychologie cognitive, les preuves s'accumulent pour affirmer que les humains sont véritablement une espèce à part.

Pour commencer, l'impact de notre espèce est mondial: elle s'est installée sous tous les climats et maîtrise les ressources en énergie et en matière. Quant à notre intelligence, notre don pour la communication, notre capacité à acquérir et à partager des connaissances, sans parler des chefs-d'œuvre artistiques ou architecturaux que nous construisons, qui pourrait

dire que cela ne fait pas d'*Homo sapiens* un animal particulier?

Expliquer scientifiquement le développement de nos aptitudes cognitives et leur expression dans notre culture représente un défi. C'est ce que j'appelle « la symphonie inachevée de Darwin », pour la simple et bonne raison que Charles Darwin s'est attaqué à cette question il y a cent cinquante ans mais, comme il l'a lui-même confessé, sa compréhension du problème était « imparfaite » et « fragmentaire ». Heureusement, d'autres scientifiques ont repris le flambeau depuis et les chercheurs sont de plus en plus nombreux à penser que nous nous approchons de la clé de l'énigme.

Le consensus qui émerge est que les exploits de l'humanité résultent de notre aptitude à acquérir des connaissances et des compétences d'autrui. Renforcée au fil des générations, cette expérience collective permet d'imaginer des solutions toujours plus efficaces et diversifiées. Être pourvus d'un gros cerveau, d'intelligence et du langage ne nous a pas amenés à la culture, c'est plutôt l'inverse qui s'est produit. La culture est le soubassement de

nos facultés. Elle a orienté notre chemin le long de l'évolution.

Quand on parle de culture, on pense par exemple haute couture ou gastronomie, mais dans l'acception scientifique du terme, il s'agit de l'ensemble des comportements qui sont partagés par les membres d'une communauté et qui sont socialement transmis. Que l'on considère le design d'une

voiture, des styles de musique à la mode, des théories scientifiques ou la quête de nourriture au sein de sociétés tribales, toutes ces «inventions» sont en réalité le résultat de petites incrémentations qui modifient des schémas préexistants. Imiter et innover sans cesse, tels sont les secrets de notre succès.

Pour isoler le «propre de l'homme», il faut évidemment commencer par étudier

les aptitudes des animaux. C'est en procédant ainsi que nous connaissons les qualités dans lesquelles nous excellons et celles, a contrario, que nous partageons avec d'autres espèces. Alors que nous apprend l'éthologie sur le terrain de l'apprentissage social et de l'innovation? Que de nombreux animaux copient le comportement de leurs semblables. Ils emmagasinent



Comme les humains, les chimpanzés savent se servir d'outils. Ils utilisent par exemple des tiges pour attraper des termites et savent enseigner leur technique à leur progéniture. Mais contrairement aux chimpanzés, les humains transmettent leur savoir culturel avec un haut degré de précision, ce qui leur permet de produire et d'utiliser des outils d'une grande complexité.



© Kerstin Geier/GettyImages

ainsi des connaissances sur les plantes comestibles ou celles dont il faut se méfier, sur les façons d'éviter les prédateurs, sur les cris d'appel, les chants... Les traditions d'utilisation d'outils dans les populations de chimpanzés en Afrique sont un exemple célèbre. Au sein de chaque communauté, les jeunes singes apprennent certains comportements – qu'il s'agisse de casser des noix ouvertes en les frappant avec une pierre ou de pêcher des fourmis avec un bâton – en imitant des individus plus expérimentés.

Mais l'apprentissage social ne se limite pas aux primates, aux animaux à gros cerveau ou même aux vertébrés. Des milliers d'études expérimentales attestent de comportements d'imitation chez des centaines d'espèces de mammifères, d'oiseaux, de poissons et d'insectes. On a même constaté que les jeunes drosophiles femelles élisent comme partenaires les mêmes mâles que ceux qu'ont choisis des femelles plus âgées.

Les animaux apprennent au contact de leurs congénères divers types de comportement. Les dauphins se transmettent l'art de chasser à l'aide d'éponges de mer couvrant leur rostre, l'éponge leur servant

à explorer les fonds marins sans se blesser. Les orques ont des traditions de chasse au phoque, l'une d'elles consistant à mener une charge contre les phoques montés sur la banquise et à les faire tomber en créant une grosse vague. Les poulets acquièrent même des habitudes cannibales en imitant d'autres poulets.

Les animaux « innovent » aussi, comme ces corneilles du Japon qui se servent des voitures pour casser des noix

Les connaissances transmises socialement chez les animaux concernent essentiellement la nourriture – ce qu'il est possible de manger et où le trouver –, même s'il existe de curieuses exceptions. Au Costa Rica, un groupe de capucins a ainsi la singulière habitude d'insérer des doigts dans les orbites oculaires ou les narines de leur voisin ou de placer une main dans sa bouche, et de rester assis des heures durant dans cet appariement étrange, tout en se balançant doucement; cette attitude aurait pour rôle de renforcer les liens sociaux.

Les animaux « innovent » aussi. Si je vous demande de me citer une innovation, vous me parlerez peut-être de la pénicilline développée par Alexander Fleming ou du World Wide Web imaginé par Tim Berners-Lee. Les équivalents animaux sont tout aussi fascinants. Mon exemple favori concerne un jeune chimpanzé appelé

Mike, que la primatologue Jane Goodall a observé faire s'entrechoquer avec force deux bidons d'essence vides. Le vacarme intimidait les autres mâles, ce qui a permis à Mike de gravir les échelons sociaux et de devenir un mâle dominant en un temps record. Au Japon, des corneilles se servent des voitures pour casser des noix. N'ayant pas assez de force pour fendre les coquilles avec leur bec, les oiseaux se sont mis à déposer les noix sur la chaussée en attendant que des véhicules les écrasent. Citons aussi les étourneaux de Fredericksburg, en Virginie, qui ont attaqué une machine à pièces dans

une station de lavage de voitures et ont littéralement gagné des centaines de dollars en pièces (les étourneaux décorent parfois leurs nids d'objets brillants récupérés ou chapardés).

La culture aurait fait grandir le cerveau

Loin d'être de simples anecdotes amusantes, de telles histoires illustrent le tableau général brossé par les analyses qui ont comparé les performances d'animaux. Le résultat majeur de ces recherches est que les espèces innovantes, ainsi que celles qui se comportent en «imitateurs», ont des cerveaux inhabituellement grands (tant en termes absolus que par rapport à la taille du corps). La corrélation entre les taux d'innovation et la taille du cerveau a d'abord été observée chez les oiseaux, puis chez les primates. Ces données étayaient une hypothèse connue sous le nom d'«entraînement culturel», proposée pour la première fois dans les années 1980 par le biochimiste Allan Wilson, de l'université de Californie à Berkeley.

Wilson a soutenu l'idée que la capacité à résoudre des problèmes ou à copier les

LES HUMAINS AUX YEUX D'UN EXTRATERRESTRE

Imaginez une intelligence extraterrestre qui observerait la Terre et essaierait de ranger les espèces en catégories. Nul doute qu'elle placerait les humains à part dans sa classification. En voici quelques raisons.

Taille de la population

La démographie humaine est sans commune mesure avec celle des autres vertébrés. Plusieurs ordres de grandeur séparent les 7 milliards d'humains des populations de vertébrés de même taille.

Extension territoriale

L'espèce humaine est présente dans presque tous les milieux naturels de la planète.

Maîtrise de l'environnement

Les humains contrôlent la production et le transport d'énergie et de matière à des échelles sans précédent.

Impact global

Les activités humaines menacent et entraînent l'extinction d'un nombre inégalé d'espèces, tout en provoquant de profonds changements évolutifs dans la biosphère.

Cognition, communication et intelligence

Les humains présentent des performances supérieures à divers tests d'apprentissage et de cognition. Le langage humain est d'une souplesse infinie, contrairement à la communication animale.

Acquisition et partage de connaissances

Les humains acquièrent, partagent et stockent des informations à des échelles inédites et innovent en s'appuyant sur des connaissances culturelles accumulées au fil des générations.

Technologie

Les humains inventent et fabriquent en masse des objets matériels infiniment plus complexes et divers que les autres animaux.

innovations d'autrui confère aux individus un avantage pour survivre. À travers la sélection naturelle, ces aptitudes favoriseraient l'apparition de cerveaux de plus en plus volumineux – processus qui aurait culminé chez les humains, dotés d'un énorme cerveau, chef d'orchestre d'une créativité sans limites et d'une culture généraliste.

Au début, les scientifiques se sont montrés sceptiques vis-à-vis de la théorie de Wilson. Si la mouche du vinaigre, avec son cerveau minuscule, pouvait copier à la perfection, pourquoi la sélection naturelle aurait-elle encouragé le développement de cerveaux gigantesques chez les primates si l'enjeu était simplement d'imiter? L'objection a subsisté durant des années, jusqu'à ce qu'un argument provenant d'une source inattendue ne vienne la balayer.

En 2010, avec mes collègues de l'université St Andrews, en Écosse, nous avons organisé un tournoi d'apprentissage social. Il s'agissait d'une compétition pour désigner la meilleure façon d'apprendre dans un monde complexe et changeant. Même si le tournoi en présentait une version abstraite,

le problème que les compétiteurs devaient résoudre sur ordinateur s'apparentait au dilemme que rencontre un joueur entrant dans un casino empli de machines à sous. À quelle machine vais-je jouer? se demandait-il, sachant que toutes les machines n'offrent pas la même espérance de gain. Une série de choix cruciaux s'offrent à lui: va-t-il tenter des machines au hasard, puis rester sur celle semblant la plus généreuse? À moins qu'il

Si la mouche, avec son cerveau minuscule, pouvait copier à la perfection, pourquoi la sélection naturelle aurait-elle encouragé le développement de cerveaux gigantesques chez les primates alors que l'enjeu était simplement d'imiter?

ne reporte à plus tard sa décision et commence par observer les gains remportés par les autres joueurs? Le choix de ses actions est décisif, car son argent comme son temps sont comptés.

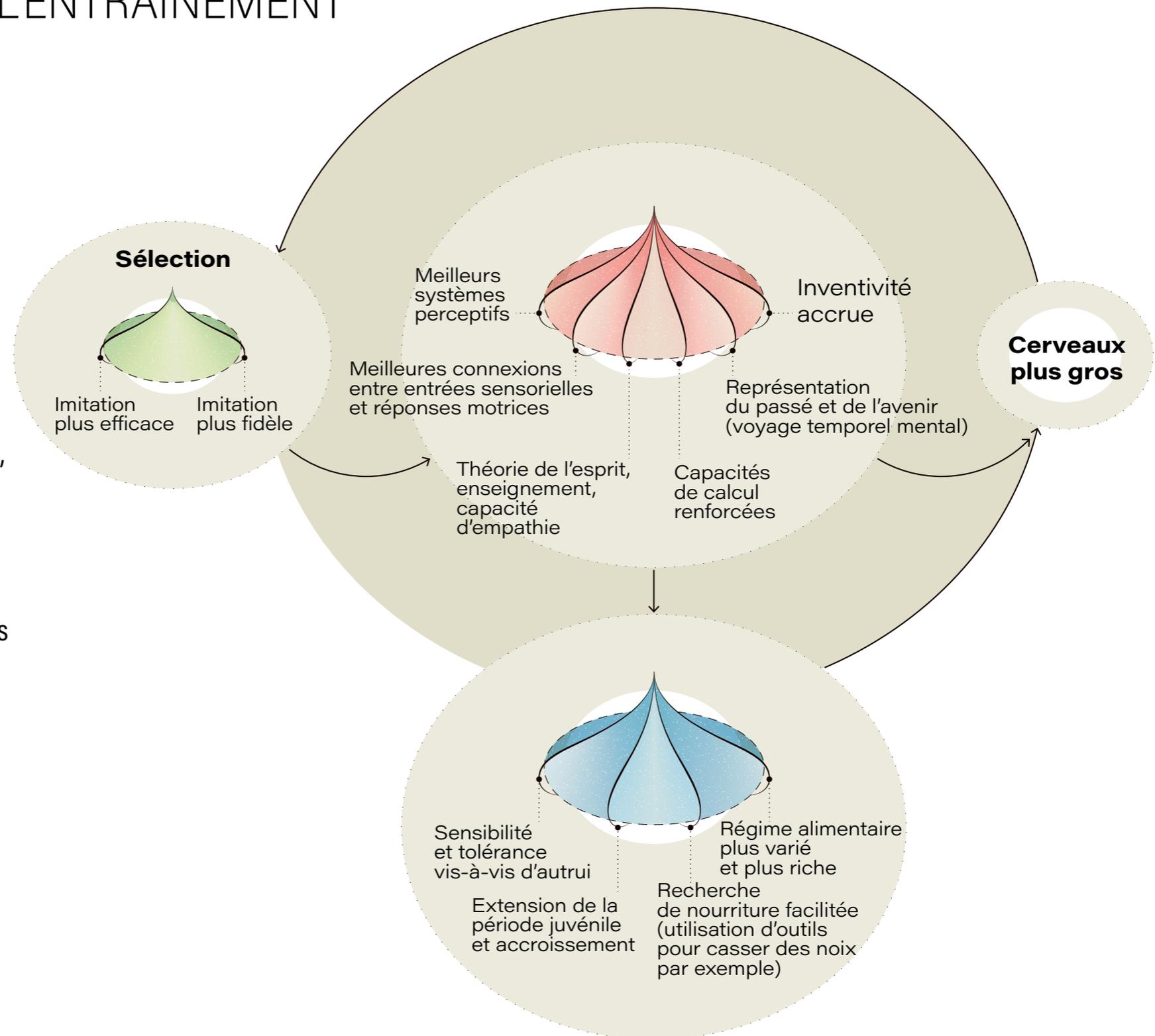
Notre tournoi reposait sur une version de ce problème dans laquelle les espérances de gain des machines changeaient régulièrement afin de produire un environnement fluctuant, plus représentatif

des écosystèmes réels. Tout ce qu'il était demandé aux participants, des professeurs d'université et des étudiants, était de préciser quelles règles de comportement allaient suivre leurs joueurs (appelés agents dans le programme) une fois entrés dans le casino (le jeu mettait en scène non pas un, mais cent agents), chaque comportement procurant un bénéfice spécifique qui évoluait au cours du temps. Le défi

consistait à obtenir le maximum de gains. Les agents avaient le choix entre apprendre un nouveau comportement ou accomplir une action déjà connue, et l'apprentissage se déroulait par essais et erreurs ou par copie de la conduite d'autres individus. Tous les ensembles de règles qui nous ont été soumis ont concouru entre eux dans une simulation informatique, et le meilleur a remporté un prix de 10000 euros.

L'HYPOTHÈSE DE L'ENTRAÎNEMENT PAR LA CULTURE

Les espèces capables d'enseignement et d'innovation acquièrent, de génération en génération, de gros cerveaux: c'est ce que postule l'hypothèse de l'« entraînement par la culture ». Une boucle de rétroaction s'instaurerait entre les comportements sociaux et les gènes, où l'imitation du comportement d'autrui favorise la sélection de meilleures compétences cognitives et de plus gros cerveaux. Il s'ensuit une amélioration des comportements sociaux, du savoir technique et même du régime alimentaire, ce qui se traduit à son tour par des cerveaux plus importants et, en fin de compte, une plus grande efficacité dans l'enseignement et l'imitation. Les humains auraient maîtrisé ce cercle vertueux plus que n'importe quelle autre espèce.



Les résultats ont été très instructifs. Nous avons trouvé une forte corrélation entre la performance d'un ensemble de règles et les capacités d'apprentissage social dont faisaient preuve les agents. L'entrée gagnante n'exigeait pas des agents qu'ils apprennent souvent, mais lorsqu'ils le faisaient, c'était presque toujours en imitant (en copiant de manière précise et efficace le comportement d'un autre agent).

Le tournoi nous a indiqué une interprétation de la relation étroite entre apprentissage social et taille du cerveau chez les primates. Les résultats laissent penser que la sélection naturelle ne favorise pas l'apprentissage social en termes de quantité, mais de qualité. Les animaux ont besoin d'un gros cerveau non pas pour copier, mais pour bien copier.

Ce nouveau regard sur l'apprentissage a stimulé la recherche sur ce qui concrètement chez les espèces permettait l'imitation. Les chercheurs ont naturellement émis l'idée que la sélection naturelle devait favoriser les structures anatomiques ou les capacités fonctionnelles du cerveau des primates qui

Les animaux ont besoin d'un gros cerveau non pas pour copier, mais pour bien copier

privilégient une copie précise et efficace. Par exemple, une meilleure perception visuelle permettrait de mieux copier un comportement à distance ou d'imiter des actions motrices minutieuses. En outre, la sélection devrait avantager une plus grande connectivité entre les aires motrices et perceptives du cerveau, car cela aiderait les individus à traduire en gestes les actions observées chez autrui.

La même hypothèse d'«entraînement culturel» (la culture guide l'évolution et non l'inverse) prévoyait aussi que la sélection de capacités accrues d'apprentissage social devait avoir influencé d'autres aspects du comportement social et de la vie des primates, notamment l'instinct social et l'usage d'outils. Le raisonnement était que plus le groupe est grand et plus le temps investi en société était important, plus les occasions d'apprendre se multiplient. En copiant leurs semblables, les singes acquièrent des compétences en matière de recherche de nourriture, de l'extraction de larves dans l'écorce des arbres jusqu'à des usages élaborés d'outils, comme lorsqu'ils attrapent des termites avec des bâtons.

Si l'apprentissage social facilite la recherche de nourriture, toutes les espèces compétentes en apprentissage social devraient se montrer expertes dans la quête de nourriture et le maniement d'outils. Elles devraient avoir un régime alimentaire plus riche et vivre plus longtemps, puisque cela leur laisserait d'autant plus de temps pour apprendre de nouvelles compétences et les transmettre à leurs descendants. En résumé, l'hypothèse de l'entraînement culturel prédit que le niveau

les analyses statistiques suggèrent même que l'ensemble de ces paramètres varient si étroitement les uns avec les autres que l'on peut aligner les primates le long d'une droite reflétant les performances cognitives générales, que nous appelons l'intelligence des primates (vaguement analogue au QI chez l'homme).

Les chimpanzés et les orangs-outans excellent dans ces mesures de performance et ont de ce point de vue une grande intelligence, tandis que des prosimiens

connectées entre elles, ce qui facilite les mouvements précis. Cela nous aide à comprendre pourquoi les animaux à gros cerveau présentent une cognition complexe et utilisent des outils.

Chez quelles espèces de primates l'évolution a-t-elle sélectionné une intelligence supérieure? Chez quatre groupes distincts: les capucins, les macaques, les babouins et les grands singes – précisément les espèces connues pour leur apprentissage social et leurs traditions culturelles. Cette corrélation est exactement ce à quoi il faut s'attendre si les processus culturels pilotent vraiment l'évolution du cerveau et de la cognition. Des analyses supplémentaires, utilisant des données plus précises et des méthodes statistiques de pointe, ont renforcé cette conclusion, tout comme les modèles qui prédisent quantitativement la taille du cerveau et du corps à partir de l'estimation des coûts métaboliques du cerveau.

L'entraînement culturel n'est pas l'unique moteur de l'évolution du cerveau: le régime alimentaire et l'instinct social jouent aussi un rôle important, car

Les singes d'intelligence supérieure sont ceux ayant un apprentissage social et des traditions culturelles

d'apprentissage social doit être corrélé non seulement à la taille du cerveau, mais aussi à une série de paramètres liés aux performances cognitives.

Des analyses comparatives rigoureuses ont confirmé ces prévisions. Les primates qui excellent en apprentissage social et en innovation ont le régime alimentaire le plus varié, utilisent des outils pour se nourrir, et présentent le comportement social le plus complexe. En fait,

(des primates jugés plus primitifs que les grands singes, les lémuriens en font partie) nocturnes sont à la peine. Selon une constatation faite par les neurobiologistes, les composants du cerveau sont représentatifs de la taille générale de l'organe. Dans les cerveaux des grands primates, les régions qui exercent le contrôle des actions (situées dans le néocortex et le cervelet) et se projettent vers les neurones moteurs des membres sont plus grandes et mieux

L'ESPÈCE HUMAINE EST INTELLIGENTE, PAS LES INDIVIDUS

Les populations humaines exploitent des technologies remarquablement complexes et efficaces. Les nomades des steppes d'Asie centrale chassent par exemple à l'aide d'arcs recourbés très courts (maniabiles à cheval) produits à partir de matériaux naturels (bois, corne, colle animale...). Fabriquer un arc à la fois maniable, robuste et efficace à partir de ces seuls composants constitue un défi d'ingénierie !

Il est généralement admis que notre capacité à produire des technologies complexes témoigne de l'intelligence de notre espèce : armés de nos imposants cerveaux, nous sommes individuellement plus ingénieux et plus inventifs que les autres espèces.

Cette vision est de plus en plus remise en cause. Selon les anthropologues évolutionnistes, les technologies complexes résulteraient non pas de notre intelligence mais de notre propension à copier les autres membres de notre groupe.

Ainsi, l'arc recourbé n'aurait pas été inventé par un individu inspiré ou persévérant, mais aurait été le fruit de copies successives où chaque génération aurait reproduit l'arc le plus efficace. Au cours du temps, l'accumulation de petites améliorations conduirait à l'émergence de technologies complexes... et pourtant incomprises par les individus.

Nous avons récemment voulu tester cette théorie. Pour ce faire, nous avons demandé

à des participants d'optimiser une roue lestée, de façon à ce qu'elle descende un rail le plus vite possible. Chaque participant disposait de cinq essais pour produire la configuration la plus efficace. Afin de simuler la succession des générations humaines, les deux derniers essais de chaque participant étaient transmis au participant suivant, au sein de chaînes de cinq individus. Après ses essais, chaque participant devait répondre à des questions évaluant sa compréhension des mécanismes physiques en jeu.

Les résultats ont montré que la roue gagnait en vitesse au fil des « générations », bien que la compréhension des mécanismes restait médiocre tout au long de l'expérience.

En d'autres termes, il n'y avait pas de lien entre la performance de la roue et l'intelligence des participants ! La combinaison des tâtonnements plus ou moins aléatoires et de l'imitation des configurations les plus rapides a suffi à optimiser les roues.

Cette expérience illustre l'importance des processus culturels : notre aptitude à copier et à apprendre des autres individus permet de faire émerger des technologies que nul n'aurait su inventer de lui-même. Notre cognition est certes exceptionnelle, mais c'est bien notre culture qui fait de nous une espèce à part.

Maxime DEREK, chercheur à l'université catholique de Lille et à l'université d'Exeter

les singes qui mangent des fruits et ceux vivant dans de grands groupes complexes ont de gros cerveaux. Il est cependant difficile de ne pas conclure qu'une intelligence supérieure et une vie plus longue ont coévolué chez certains primates parce que leurs aptitudes culturelles leur permettaient d'exploiter des ressources alimentaires de qualité mais difficiles d'accès, les nutriments ainsi glanés contribuant à la croissance du cerveau. Les cerveaux sont des organes énergétiquement coûteux, et l'apprentissage social est d'une importance primordiale pour tout animal cherchant à assurer l'apport correspondant en calories.

L'enseignement est crucial

Pourquoi alors aucun autre primate n'a-t-il une culture aussi complexe que la nôtre? Pourquoi les chimpanzés n'ont-ils pas séquencé des génomes ou construit des fusées? La clé réside dans la fidélité de la transmission d'informations.

La taille et la durée de vie du répertoire culturel que se partage une population augmentent de manière exponentielle avec la qualité de l'apprentissage. Sans

transmission précise, il ne peut y avoir de culture cumulative. Mais une fois qu'un seuil est dépassé, même des quantités modestes d'innovations et d'amélioration des comportements entraînent un changement culturel massif. Les humains sont la seule espèce à avoir franchi ce seuil.

Nos ancêtres l'ont atteint grâce à l'enseignement. Tandis que l'imitation est une faculté largement répandue dans la nature, celle d'enseigner est rare. Elle est

Le langage humain est peut-être unique parce que les humains ont été les seuls à construire une société culturelle suffisamment diverse et dynamique pour qu'il y ait matière à jaser

en revanche universelle dans les sociétés humaines, une fois prises en compte toutes les formes subtiles qu'elle peut prendre. Des modélisations mathématiques ont montré que l'enseignement et la culture cumulative ont coévolué chez nos ancêtres. Dans l'histoire de la vie, c'était la première fois que les membres d'une espèce enseignaient une grande variété de compétences à d'autres membres.

Le savoir que se transmettaient les hominins (les humains et les genres éteints apparentés) portait sur la recherche de nourriture, la transformation des aliments, les cris d'alerte ou d'appel, la fabrication d'outils, etc., et a fourni le terreau sur lequel le langage est apparu. Pourquoi nos ancêtres se sont-ils mis à parler? C'est l'une des grandes énigmes de la science. Une possibilité est que le langage ait servi à réduire les coûts, à améliorer la précision et

à étendre les domaines de l'enseignement. Le langage humain est peut-être unique parce que les humains ont été les seuls à construire une société culturelle suffisamment diverse et dynamique pour qu'il y ait matière à jaser.

L'histoire du langage a commencé par une série de symboles partagés parmi les hommes. Mais une fois lancé, l'usage d'un protolangage a imposé une sélection sur le

cerveau des hominés en faveur du cerveau le plus apte à apprendre, mais aussi sur le langage lui-même en faveur des structures linguistiques les plus faciles à maîtriser. Que les activités culturelles de nos ancêtres aient fait peser une pression de sélection sur leurs corps et leurs esprits – un processus de coévolution gène-culture – est maintenant bien étayé. Des analyses théoriques, anthropologiques et génomiques concordent pour indiquer que le savoir transmis socialement, notamment celui permettant la fabrication et l'usage d'outils, a engendré en retour une sélection naturelle qui a transformé l'anatomie et la cognition. Cette influence mutuelle des

À la façon d'une réaction chimique qui s'auto-entretient, un processus de fuite en avant a conduit à l'essor de la cognition et de la culture humaines

gènes et de la culture a été le creuset dans lequel la psychologie humaine moderne s'est forgée, avec tout ce qu'elle renferme de curiosité, d'envie d'apprendre, d'imiter, de partager les objectifs et les intentions des autres. Elle a aussi conféré aux humains

des aptitudes à l'apprentissage et au calcul.

L'enseignement et le langage ont complètement rebattu les cartes pour notre lignée. La coopération à grande échelle est apparue dans les sociétés humaines grâce à nos facultés uniques d'apprentissage social et d'enseignement, comme l'attestent les données théoriques et expérimentales. La culture a entraîné les populations humaines vers de nouvelles voies évolutives, parce qu'elle a créé les conditions propices à la mise en place de mécanismes de coopération déjà présents chez d'autres animaux et d'autres totalement inédits. En particulier, elle a permis l'émergence d'interactions et d'associations au niveau d'un

groupe entier d'individus pour s'entraider ou rivaliser avec un autre groupe (afin par exemple de construire un système d'irrigation ou de former une armée).

À chaque fois qu'une innovation apparaissait chez nos ancêtres, ceux-ci étaient

en mesure d'exploiter avec plus d'efficacité leur environnement. Ce perfectionnement a été le moteur de l'augmentation de la taille du cerveau comme celui de l'essor démographique. L'accroissement des effectifs humains et la complexité sociale ont suivi la domestication des animaux et des plantes. L'agriculture a libéré les sociétés des contraintes inhérentes à la vie nomade des chasseurs-cueilleurs, contraintes qui limitaient la taille de leurs groupes et leur propension à innover. Les sociétés ont alors prospéré, à la fois parce que l'agriculture offrait des capacités supérieures de production alimentaire et parce qu'elle a entraîné dans son sillage tout un lot d'innovations techniques (la charrue ou les techniques d'irrigation, notamment) et sociétales (cités-États, religions...). En outre, dans les sociétés toujours plus grandes, le bénéfice tiré d'une invention avait plus de chances de se diffuser parmi la population et d'être retenu.

En résumé, les recherches sur l'évolution cognitive humaine nous dépeignent comme des êtres qui sont en partie le produit d'eux-mêmes. Nous avons tendance

à voir l'évolution comme un processus dans lequel des modifications exogènes de l'environnement, telles que l'apparition de prédateurs, de maladies ou des bouleversements climatiques, déclenchent des adaptations évolutives dans les traits des individus. Pourtant, l'esprit humain n'a pas évolué en suivant cette voie.

Non, nos aptitudes mentales ont plutôt été le fruit de processus en boucle au cours desquels nos ancêtres investissaient constamment de nouvelles niches (des aspects de leurs environnements physique et social) qui, en retour, imposaient une sélection sur leur corps et leur esprit, dans une série de cycles sans fin. Les scientifiques voient maintenant la séparation entre les humains et les autres primates comme le résultat de nombreux mécanismes de rétroaction survenus dans la lignée des hominins. À la façon d'une réaction chimique qui s'autoentretient, un processus de fuite en avant a conduit à l'essor de la cognition et de la culture humaines. L'espèce humaine est peut-être l'un des millions de rameaux que porte l'arbre de la vie. Mais notre capacité à penser, à apprendre

et à contrôler notre environnement nous rend vraiment uniques et différents de tous les autres animaux.

Article publié dans *Pour la Science*
n° 493 - novembre 2018



Kevin LALAND

professeur de biologie
évolutive et
du comportement
à l'université St Andrews,
en Écosse

BIBLIOGRAPHIE

J. Heinrich, *The Secret of Our Success: How Culture is Driving Human Evolution, Domesticating Our Species, and Making Us Smarter*, Princeton University Press, 2015.

L. G. Dean et al., Identification of the social and cognitive processes underlying human cumulative culture, *Science*, vol. 335, pp. 1114-1118, 2012.

L. Rendell et al., Why copy others? Insights from the social learning strategies tournament, *Science*, vol. 328, pp. 208-213, 2010.

S. M. Reader et K. N. Laland, Social intelligence, innovation, and enhanced brain size in primates, *PNAS*, vol. 99(7), pp. 4436-4441, 2002.

L'homme s'est-il autodomestiqué ?

HERVÉ LE GUYADER



L'homme a été domestiqué, a récemment confirmé une étude de génomique. Par qui, c'est toute la question ?

L'archéologue Jean Guilaine définit le Néolithique comme une seconde naissance de l'homme. Il y a 10 000 ans en effet a débuté une croissance exponentielle de la population. Les innovations techniques et la sédentarisation, contemporaine de l'agriculture naissante, ont entraîné l'apparition d'un nouvel espace, la maison: «En prenant la décision de se fixer, l'homme a créé l'engrenage de sa propre domestication. [...] Cette socialisation de l'individu, secondairement complétée par la domestication des plantes et des animaux, a finalement fait de lui un être totalement

dépendant de ses propres choix culturels», écrit-il en 2011 dans son livre *Caïn, Abel, Ötzi, l'héritage néolithique*.

L'homme se serait-il domestiqué lui-même? L'idée n'est pas nouvelle, et l'archéologue rejoint ici les zoologistes. Déjà Darwin, en 1871, dans *La Filiation de l'homme*, montrait que la socialisation, avec ses paradoxes biologiques particuliers – soins aux blessés, vieillards? –, change la nature des processus évolutifs. Habituellement, la sélection naturelle agit à l'échelle des organismes; or, chez l'humain, la vie sociale, qui a été sélectionnée, s'oppose à la sélection

naturelle au plan individuel par l'assistance aux plus faibles.

Si, jusqu'à la fin du xx^e siècle, il n'existait cependant aucune preuve de cette autodomestication, les choses ont changé. En une vingtaine d'années, les connaissances sur ce phénomène, issues de différentes disciplines, se sont accumulées et, récemment, une explication novatrice a pu être proposée. En effet, l'étude de la domestication a conduit à répertorier les traits héréditaires présents chez les organismes domestiqués et absents chez leurs apparentés sauvages, rassemblés sous le nom de syndrome de domestication. Et l'étude précise des mammifères suggère fortement que l'homme a connu un tel syndrome, comparable à celui du chien.

En 2003, notamment, Helen Leach, anthropologue à l'université d'Otago, en Nouvelle-Zélande, a dressé la liste des caractères connus liés à la domestication des mammifères. Elle soulignait ensuite que, durant le Pléistocène supérieur (126 000 ans à 12 000 ans avant notre ère), le squelette de certains groupes d'hommes modernes avait subi des changements

EN CHIFFRES

400

millions d'humains peuplaient la Terre durant le haut Moyen Âge. Il y a 40 000 ans, ils n'étaient que 800 000.

71 %

des renards argentés de Dmitri Belyaev avaient un comportement plus docile avec les humains à la 42^e génération, en 2002. À la 6^e génération, en 1965, ils n'étaient que 1,8 %.

semblables à ceux des animaux domestiques, lesquels avaient continué durant la période géologique suivante (la nôtre), l'Holocène. Ces arguments suggéraient que les hommes modernes avaient été physiquement domestiqués, mais, pour Helen Leach, ils étaient insuffisants, car indirects.

Les renards de Belyaev

Des renards ont cependant mis les chercheurs sur la piste d'une preuve plus directe. En 1959, le biologiste russe Dmitri Belyaev avait débuté, à l'Institut de cytologie et de génétique de Novosibirsk, une domestication de renards argentés élevés,

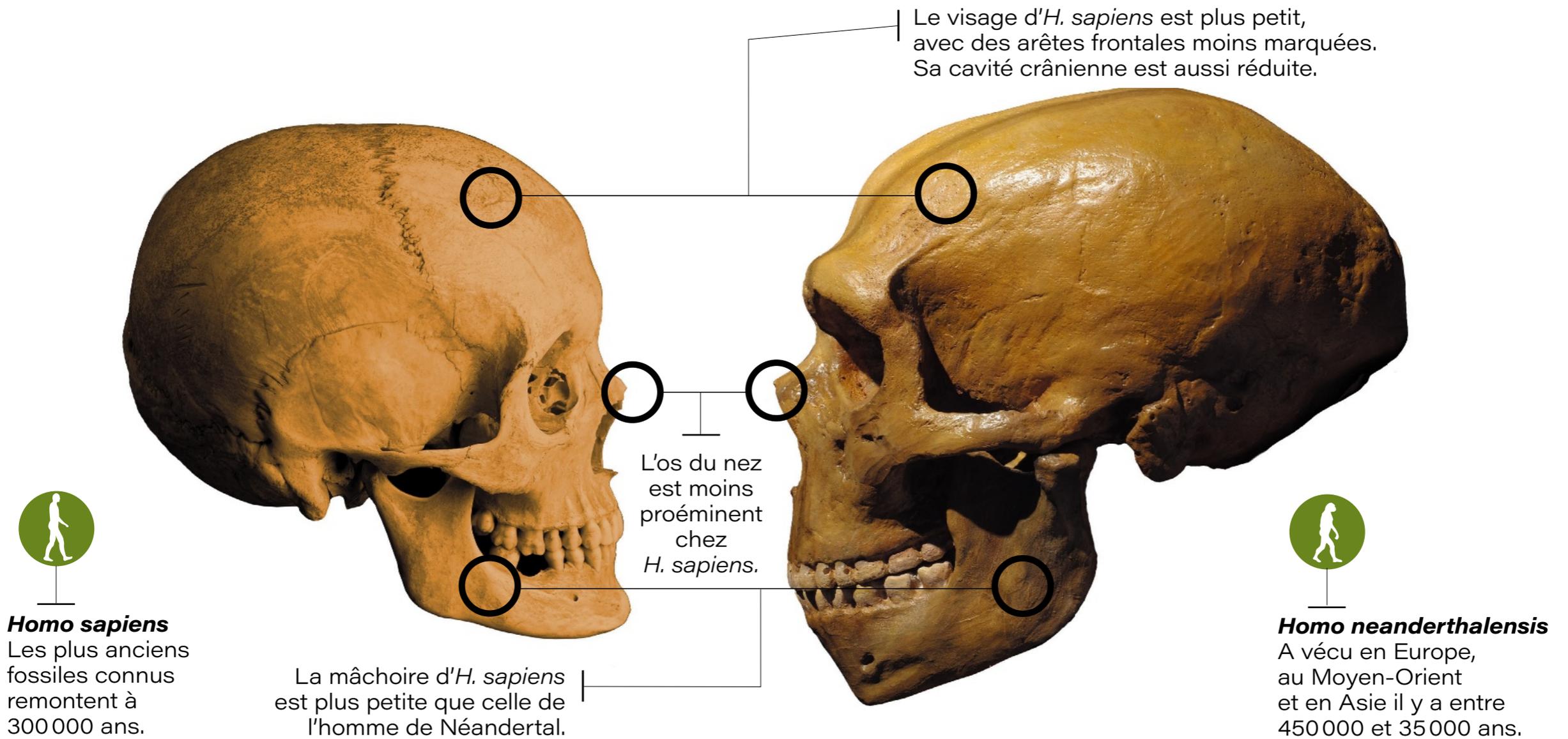
au départ, pour leur fourrure. La sélection portait sur un seul critère comportemental, la docilité, c'est-à-dire la possibilité d'établir une relation non agressive avec l'homme. Si, en 1965, à la 6^e génération, 1,8% des animaux présentaient une familiarité avec l'homme, en 2002, à la 42^e génération, ils étaient 71,2%.

Quelle ne fut pas la surprise de Belyaev et de Lyudmila Trut, qui poursuivait l'expérimentation, de voir surgir des caractères phénotypiques classiques des chiens domestiqués ! Pelage aux taches blanches, oreilles tombantes, queue en tire-bouchon ? Puis, après des années de sélection,

raccourcissement du museau et élargissement du neurocrâne. Or, chez les chiens, les généticiens avaient déjà remarqué que les races de compagnie, comme l'épagneul King Charles, exhibent des faces plates, tandis que les races de berger ou de défense ont encore un long museau identique à celui du loup – comme si la docilité était inversement corrélée à la longueur des mâchoires, phénomène retrouvé chez les bovins et les porcins.

La clé : la crête neurale

Les deux chercheurs eurent l'idée de suivre parallèlement l'exploration de l'espace chez les jeunes et la concentration sanguine du cortisol, une hormone libérée lors d'un stress physique ou psychologique, afin d'évaluer leur comportement joueur. Chez les mammifères, le jeu des jeunes est en effet décisif dans l'apprentissage des relations sociales. Les animaux sélectionnés pour leur docilité se sont révélés joueurs et non stressés, explorant bien plus longtemps l'espace, avec un taux de cortisol sanguin bien plus bas que chez les animaux sauvages. De plus est apparue une dérégulation de la saison de reproduction,



la période de rut passant de moins d'un mois à plusieurs. Ainsi, la sélection portant sur un seul caractère, la docilité, s'était répercutée sur nombre de traits morphologiques et physiologiques qui, au premier abord, ne paraissaient pas corrélés.

Un généticien y voit immédiatement de la pléiotropie, c'est-à-dire le fait qu'un

gène détermine plusieurs caractères. Mais comment trouver de tels gènes? Trois pistes ont été explorées.

En 2004, Elena Jazin, de l'université d'Uppsala, en Suède, a cherché, dans certaines parties du cerveau du chien, du loup et du coyote des gènes présentant des différences d'expression. Les expressions de

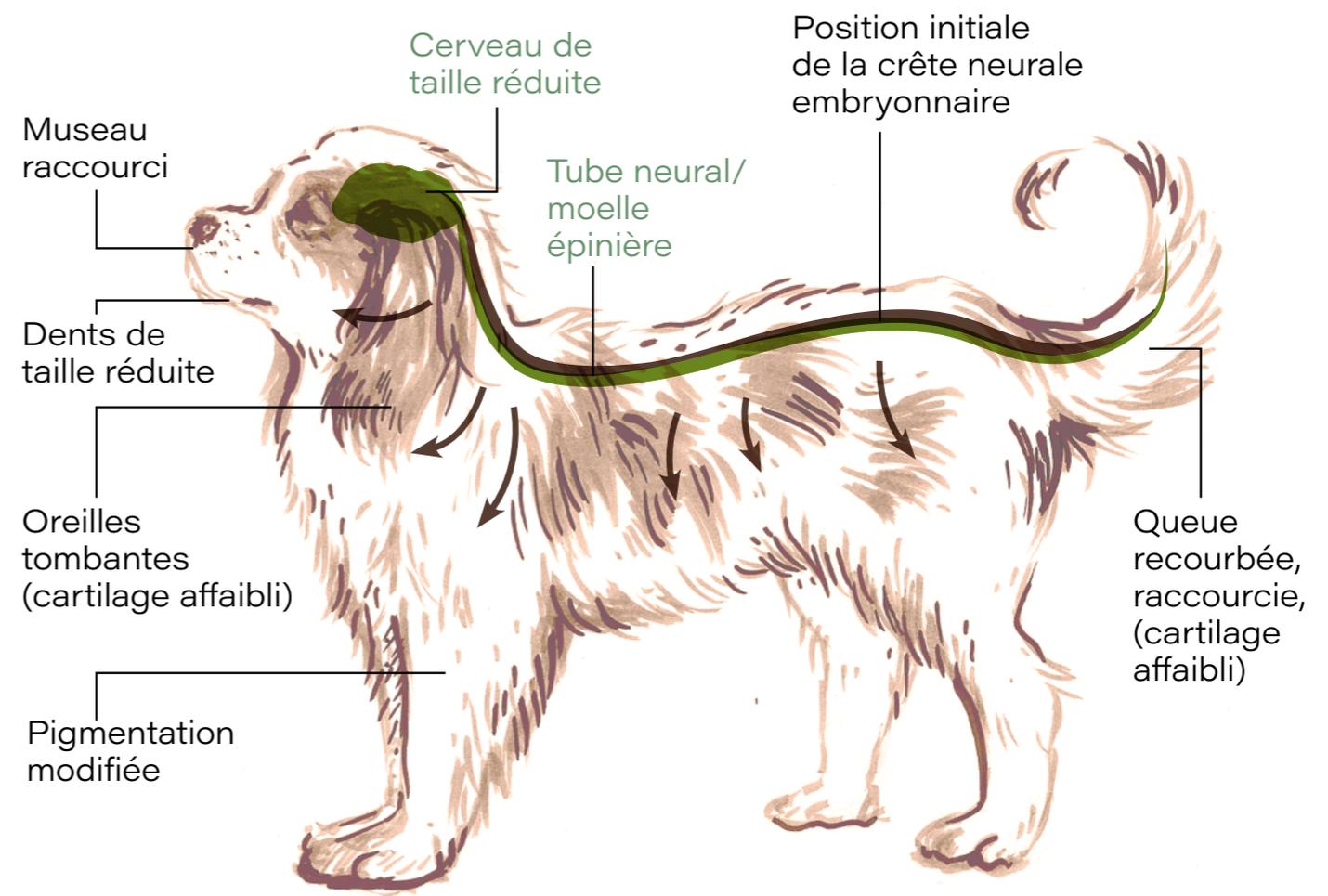
deux gènes particuliers, *NPY* et *CALCB*, présentent des différences notables entre le chien et les animaux sauvages. Or ils sont impliqués dans le contrôle de l'appétit, de l'anxiété et de la régulation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien, qui commande la sécrétion du cortisol, ce qui est cohérent avec les données de Belyaev.

Plus récemment, en 2014, Adam Wilkins, théoricien de l'évolution à l'université Humboldt, à Berlin, a réalisé une véritable percée conceptuelle en proposant une explication unitaire embryologique: la plupart des caractères morphologiques et physiologiques partagent un développement dépendant des cellules de la crête neurale. Ces dernières sont des cellules souches multipotentes qui proviennent, dans l'embryon des vertébrés, de la partie dorsale du tube neural, puis qui migrent ventralement, dans le crâne ou dans le tronc, pour constituer, à des endroits précis, des cellules précurseurs de tissus particuliers: crâne (en particulier les mâchoires), cartilage des oreilles, ganglions sympathiques, glandes surrénales, mélanoblastes donnant la pigmentation de la peau, odontoblastes précurseurs des dents, cartilage de la queue. Bref, si on reprend la liste des traits du syndrome de domestication, on comprend qu'un léger déficit de migration de cellules de la crête neurale suffit à les engendrer.

Enfin, en 2017, Cedric Boeckx, de l'université de Barcelone, a généralisé de

LES TRAITS DE LA DOMESTICATION

Certains affectent le squelette : corps plus petit, squelette moins robuste, capacité crânienne réduite, face raccourcie, dents resserrées, dimorphisme sexuel amoindri. D'autres, invisibles pour l'archéologue, ne touchent que les tissus mous, la biochimie ou le comportement : pelage de couleurs variées, meilleur stockage des graisses et lactation, sexualité précoce et saisons de reproduction plus longues, comportement juvénile à l'âge adulte, activité motrice réduite, information moins bien acquise, agressivité diminuée au sein de l'espèce - surtout chez les mâles -, docilité accrue.



Un léger déficit de migration de cellules de la crête neurale suffit à produire les traits du syndrome de domestication.

manière astucieuse une étude de génomique. On avait déjà comparé les génomes entiers de chiens et de loups, afin de repérer les gènes qui, sous sélection chez les premiers mais pas chez les seconds, sont ceux corrélés à la domestication. Cedric Boeckx a étudié de cette manière le cheval, le chat, le porc... et l'homme. Mais, si trouver les pendants sauvages pour les animaux est aisé, comment faire pour l'homme? Il a eu l'idée géniale de prendre les génomes des hommes de Néandertal et de Denisova. Il a tout d'abord cherché les gènes sous sélection de domestication, c'est-à-dire qui diffèrent entre *Homo sapiens* et les hommes de Néandertal et de Denisova, puis, parmi eux, ceux communs aux autres animaux. Il en sort 5, dont 3 semblent cruciaux: si *RNPC3* joue un rôle dans le fonctionnement de l'hypophyse, *NR2F1* et *BRAF* régulent des gènes impliqués dans le développement et le fonctionnement des crêtes neurales. Quelle confirmation pour l'hypothèse de Wilkins!

L'homme s'est donc autodomestiqué – sans doute en deux étapes, au Paléolithique et au Néolithique. Certes, la

maison a dû être le lieu de l'autodomestication humaine la plus récente. Mais n'y aurait-il pas eu un effet coopératif entre homme, animaux et végétaux? Raisonçons d'un point de vue biologique. Imaginons des paysans travaillant dans leurs champs, avant la toute récente mécanisation, par exemple les Asiatiques assujettis à leurs rizières, et demandons-nous qui a domestiqué qui. Un biologiste assurerait que le riz a domestiqué l'homme? Et il en est de même pour les autres grandes cultures vivrières (blé, maïs, pommes de terre, manioc, etc.), dont l'expansion et la productivité ont décuplé, même si fruits, graines ou tubercules sont mangés par l'homme?

Article publié dans *Pour la Science*
n° 483 janvier 2018



Hervé Le Guyader

est professeur émérite de biologie évolutive à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.

BIBLIOGRAPHIE

C. Theofanopoulou et al., Self-domestication in *Homo sapiens*: Insights from comparative genomics, *Plos One*, vol. 12(10), e018 5306, 2017.

B. Hare, Survival of the friendliest: *Homo sapiens* evolved via selection for prosociality, *Ann. Rev. Psychol.*, vol. 68, pp. 155-186, 2017.

L. Trut et L. A. Dugatkin, Comment transformer un renard en chien, *Pour la Science*, n° 479, pp. 64-71, 2017.

A. Wilkins et al., The "domestication syndrome" in mammals: a unified explanation based on neural crest cell behavior and genetics, *Genetics*, vol. 197, pp. 795-808, 2014.

H. M. Leach, Human domestication reconsidered, *Current Anthropology*, vol. 44(3), pp. 349-368, 2003.

Le jour où l'humanité a failli disparaître

CURTIS MAREAN



Les conditions climatiques qui ont suivi de peu l'apparition d'«*Homo sapiens*» étaient si rudes qu'elles ont menacé la survie de notre espèce. Grâce aux ressources de la côte sud de l'Afrique, une toute petite population a survécu : ces rescapés sont sans doute nos ancêtres.

Terminator, Malevil, La Route, L'Armée des douze singes, Mad Max, Wall-E, Ravage, Lost, La Planète des singes... dans de nombreuses œuvres de fiction, un groupe d'humains, survivant d'une catastrophe, tente de reconstruire un avenir à l'humanité. Quelle que soit leur qualité, ces productions feraient presque oublier qu'un tel scénario s'est réellement produit : il y a moins de 200 000 ans, l'humanité a failli disparaître.

Les plus anciens ossements d'*Homo sapiens* sont deux crânes éthiopiens vieux de 195 000 ans. Le climat terrestre était alors

doux et la nourriture, abondante. Puis vint une période glaciaire qui ne s'acheva que 70 000 ans plus tard. Pendant cette phase très froide et, par conséquent, très sèche, les déserts africains devaient être plus étendus qu'aujourd'hui et une grande partie du continent était sans doute inhabitable.

Or, pendant que la planète était sous les glaces, notre espèce serait passée par un goulot d'étranglement génétique. En effet, la diversité génétique d'*Homo sapiens* est bien inférieure à celle de plusieurs autres espèces, dont la taille des populations et les aires de répartition sont plus petites que

les nôtres. Le nombre de reproducteurs de l'espèce *Homo sapiens* serait passé pendant cette période glaciaire de plus de 10 000 à quelques centaines. Les chiffres varient selon les études, mais la plupart suggèrent que nous descendons d'une toute petite population qui vivait alors en Afrique.

Où avait-elle trouvé refuge ? Les paléanthropologues en débattent encore. Seules quelques régions ont pu avoir assez de ressources pour répondre aux besoins de chasseurs-cueilleurs. La côte sud de l'Afrique, si riche en ressources marines et végétales, me semblait une hypothèse plausible. Aussi décidai-je, en 1991, de me rendre sur place.

Je cherchais des abris-sous-roche proches de la paléocôte (donnant accès aux coquillages) et assez élevés pour que les sédiments n'aient pas été détruits par la remontée de la mer après que le climat a commencé à se réchauffer, il y a quelque 123 000 ans. En 1999, avec mon collègue sud-africain Peter Nilssen, nous avons exploré des grottes sur le promontoire rocheux Pinnacle Point, près de Mossel Bay. C'est là que nous avons découvert la

caverne aujourd'hui notée PP13B. Elle nous est apparue prometteuse, car des vestiges préhistoriques étaient visibles à l'entrée de la grotte au sein de strates érodées. On y apercevait des restes de foyer et d'outils lithiques.

Depuis, les fouilles ont livré un riche tableau des activités des habitants de la région il y a entre 164 000 à 35 000 ans, donc pendant le déclin de population lié à la période glaciaire. Nous en avons tiré un scénario plausible de la façon dont les habitants de la région ont survécu au froid et à la sécheresse.

Des géophytes au déjeuner

Pour se nourrir, ils ont exploité les ressources de l'extraordinaire biotope de la côte Sud de l'Afrique. Autour du Cap, une étroite bande de terre qui longe la côte abrite la plus dense biodiversité végétale du monde. Cette région de 90 000 kilomètres carrés comprend 9 000 espèces végétales, dont 64% sont endémiques. Deux types de végétation, où les arbustes dominant, occupent la majorité de la zone: le *fynbos* («fin maquis», en afrikaner) et le

renosterveld («champs à rhinocéros»). Ces deux biotopes comportent la plus grande variété de géophytes, des plantes dont les bulbes ou tubercules sont enterrés.

Aptes à résister aux conditions climatiques difficiles, les géophytes représentent encore une source de nourriture importante pour les chasseurs-cueilleurs d'aujourd'hui. De fait, elles contiennent beaucoup de sucres; elles ont peu de prédateurs, contrairement aux fruits, aux

La côte sud de l'Afrique n'est qu'un médiocre terrain de chasse, car les grands mammifères y sont rares. Elle offrait néanmoins une source importante de protéines: ses coquillages

graines... En outre, les plantes à bulbe qui prédominent dans la région florale du Cap sont notablement moins fibreuses que la plupart des géophytes, ce qui les rend plus digestes. Les géophytes étant adaptées à l'aridité, elles ont sans doute constitué une ressource alimentaire pendant les phases glaciaires arides.

Pour autant, la côte sud de l'Afrique n'est qu'un médiocre terrain de chasse, car

les grands mammifères y sont rares. Elle offrait néanmoins une source importante de protéines: ses coquillages. La rencontre le long des côtes sud de l'Afrique des eaux froides et riches en nutriments du courant de Benguela et des eaux chaudes du courant des Aiguilles crée de nombreux remous froids et chauds. Ces courants alimentent en nutriments d'immenses bancs de coquillages découverts à marée basse. Or les coquillages constituent une source

de protéines et d'acides gras insaturés (les oméga-3). Et, à l'instar de ce qui se passe pour les géophytes, un climat froid ne réduit pas leur nombre, puisque des eaux plus froides favorisent le développement des coquillages!

Les coquillages et les géophytes procuraient un régime alimentaire idéal aux premiers hommes modernes qui vivaient sur la côte sud de l'Afrique pendant la



UN SANCTUAIRE CÔTIER. Il y a 195 000 ans commence une période froide et aride qui, pendant plus de 70 000 ans, fait disparaître de l'Afrique les végétaux et les animaux dont se nourrissaient les hommes. Seules quelques régions où subsistait une végétation arbustive de type méditerranéen ont pu aider notre espèce à survivre. La côte sud de l'Afrique fut sans doute une oasis pour ces hommes, leur offrant des plantes comestibles nutritives (une flore de type *fynbos*) et des coquillages favorisés par le courant des Aiguilles et par les eaux froides et riches en nutriments du courant de Benguela.

période glaciaire. Notons en outre que ces ressources étaient facilement accessibles aux femmes, qui s'affranchissaient ainsi des hommes pour leur subsistance et celle de leurs enfants. Nous ignorons encore si les occupants de la grotte PP13B consommaient des géophytes, mais nous savons qu'ils appréciaient les coquillages. Antonieta Jerardino, de l'université de Barcelone, a montré que les habitants de PP13B pêchaient sur le rivage des moules et les escargots de mer qu'en afrikaner on nomme *alikleukel* (*Turbo sarmaticus*). À l'occasion, ils mangeaient aussi de la chair de phoque ou de baleine.

Coquillages sans crustacés

Avant la découverte de PP13B, nous connaissions des groupes humains ayant exploité les ressources marines, mais ils avaient vécu il y a moins de 120 000 ans. Or les datations effectuées par Miryam Bar-Matthews, du Service géologique israélien, et par Zenobia Jacobs, de l'université de Wollongong, en Australie, prouvent qu'à PP13B, les ressources de la mer étaient exploitées depuis 164 000 ans. Il y a quelque

110 000 ans, le menu semble s'être enrichi de diverses espèces, telles les patelles et les moules.

Ramasser des coquillages sur la côte rocheuse proche de PP13B était plus difficile qu'il n'y paraît. Moules, patelles et escargots de mer vivent sur les rochers dans la zone d'estran, où les vagues, à marée montante, peuvent submerger un pêcheur imprudent. Le long de la côte, le ramassage des coquillages est surtout efficace pendant les marées basses de printemps. Or, il y a 164 000 ans, le niveau de la mer était plus bas, de sorte que PP13B se trouvait de deux à cinq kilomètres à l'intérieur des terres. Comme la marée avance de cinquante minutes chaque jour, les habitants de PP13B avaient probablement un moyen de situer dans le temps la hauteur des marées.

Nous avons également trouvé un nombre important de toutes petites lames, de petits éclats de pierre deux fois plus longs que larges. Le fait qu'ils soient trop petits pour être tenus en main suggère que ces lamelles étaient des armatures: elles servaient à armer une hampe en bois, utilisée

ensuite comme arme de jet. On sait, pour l'avoir étudié aux époques ultérieures, que pareille production d'outils composites exige un savoir-faire technique notable. Les indices de la fabrication de pareilles armes de jet, il y a 164 000 ans dans la région de Pinnacle Point, représentent l'un des plus anciens témoignages de la maîtrise par l'humanité de ce savoir-faire. Mais nous avons vite découvert que ces minuscules outils étaient encore plus complexes que nous ne le pensions.

La silcrète de la côte

La plupart des outils lithiques préhistoriques retrouvés sur les côtes de l'Afrique du Sud sont fabriqués à partir de quartzite. Cette roche à gros grains convient parfaitement au débitage de gros éclats, mais pas à celui de lamelles. Pour les obtenir, les habitants des sites de la côte sud ont utilisé une roche nommée silcrète, sorte de conglomérat de grains fins cimentés par de la silice. Kyle Brown, de l'université d'État d'Arizona, a passé des années à étudier de la silcrète de la côte. Or il a été surpris par l'aspect des outils en silcrète de Pinnacle Point et

des sites voisins: leur coloration brillante rouge et grise était tout à fait inhabituelle. Par ailleurs, il est quasi impossible de débiter la silcrète brute en lamelles. D'où venait ce silcrète de qualité supérieure?

Un indice nous a mis sur la voie. Nous avons retrouvé un gros morceau de silcrète dans de la cendre. La roche avait la même couleur et le même brillant que la silcrète découverte dans d'autres dépôts archéologiques de la région. Les anciens tailleurs avaient-ils traité la silcrète par le feu? Pour le vérifier, Kyle Brown a «cuit» de la silcrète brut, puis tenté de la tailler. Il a effectivement réussi à débiter de fins éclats, dont les surfaces avaient le même aspect brillant que les artefacts provenant de nos sites. Pendant la période glaciaire, les habitants de la région de PP13B ne taillaient le silcrète qu'après traitement thermique.

Convaincre nos confrères fut rude. En effet, une sorte de dogme attribuait aux Solutréens l'invention du traitement thermique des pierres à tailler. Cette population (du site de Solutré, en Saône-et-Loire) était censée avoir développé cette technique il y a seulement 20 000 ans.

Afin d'étayer notre hypothèse, nous avons utilisé trois approches indépendantes. Chantal Tribolo, du CNRS et de l'Université de Bordeaux, a effectué une analyse par thermoluminescence pour déterminer si les outils en silcrète provenant de Pinnacle Point avaient été chauffés. Puis Andy Herries, alors à l'université de New South Wales, en Australie, a fait des mesures de susceptibilité magnétique. Cette grandeur physique,

Une sorte de dogme attribuait aux Solutréens – il y a seulement 20 000 ans, en France – l'invention du traitement thermique des pierres à tailler

qui caractérise la capacité d'un matériau à s'aimanter, est modifiée par la chaleur. Enfin, Kyle Brown a étudié le lustre produit sur les outils lithiques en silcrète supposée chauffée, et l'a comparé avec la même microcouche sur les outils fabriqués par ses soins. Les résultats obtenus suggèrent que le traitement thermique des roches fut employé de façon intermittente à Pinnacle Point depuis 164 000 ans, et qu'il est devenu une technique usuelle il y a 72 000 ans.

L'emploi de traitements thermiques révèle deux capacités cognitives caractéristiques des hommes modernes. En premier lieu, les habitants de la région de Pinnacle Point ont compris qu'ils pouvaient modifier par le feu les propriétés d'un matériau. Par ailleurs, ils ont inventé et optimisé la série complexe des étapes nécessaires à la production de lamelles de silcrète: construire un foyer dans le sable,

maîtriser la température afin de parvenir doucement jusqu'à 350 °C, maintenir cette température, puis la faire diminuer progressivement. La création et la mise au point de ce processus, puis sa transmission de génération en génération ont probablement impliqué le langage. Après avoir acquis ces capacités, nos ancêtres ont sans doute pu rivaliser avec les autres espèces humaines rencontrées lorsqu'ils ont migré. Leur maîtrise du feu a pu en particulier les

avantager quand, parvenus dans les pays froids, ils sont entrés en contact avec les Néandertaliens.

En plus d'être avancés sur le plan technique, les habitants préhistoriques de Pinnacle Point l'étaient aussi sur le plan artistique. Dans les couches les plus anciennes de PP13B, nous avons mis au jour des dizaines de morceaux d'ocre rouge (oxyde de fer), diversement gravés, que l'on devait moudre pour créer une fine poudre. Celle-ci était ensuite probablement mélangée à un liant, telle une graisse animale, afin d'obtenir une peinture. Les peintures corporelles et les décorations informent en général sur l'identité sociale ou d'autres traits culturels importants, puisque ce sont des informations symboliques. Cette ocre constituerait le plus ancien témoignage sans équivoque d'un comportement symbolique.

Des hommes d'esprit

Des indices d'activité symbolique existent aussi pour des périodes plus tardives dans la séquence des dépôts de PP13B. Des dépôts datant d'il y a 110 000 ans



Des microlames (les deux rangées en bas à gauche) se trouvent parmi les outils lithiques utilisés à PP13B il y a 164 000 ans. Elles étaient sans doute fixées sur une hampe de bois pour obtenir une arme de jet. Ceux qui fabriquaient ces outils semblent avoir traité thermiquement la pierre pour la rendre plus facile à tailler, une technique que l'on croyait avoir été inventée seulement 144 000 ans plus tard, en France !

environ renferment à la fois de l'ocre rouge et des coquillages qui ont manifestement été ramassés sur la plage pour leur beauté, étant donné qu'il s'agit de coquillages ne vivant qu'en eau profonde. La mer jouait donc un rôle primordial dans les rituels des habitants de la région.

Tant la maîtrise technique des habitants de Pinnacle Point que les indices de l'existence d'une forme de pensée symbolique éclairent les origines de notre espèce. Les fossiles OMO 1 et OMO 2, trouvés en Éthiopie, montrent que des hommes anatomiquement modernes existent depuis au moins 195 000 ans. L'apparition du cerveau moderne est cependant difficile à situer dans le temps. Les paléontologues recherchent divers marqueurs dans les témoignages archéologiques pour repérer le début d'une forme de cognition avancée (moderne). Les outils fabriqués par des techniques impliquant de mettre en relation des phénomènes apparemment sans rapport et la mise en œuvre de longs processus de fabrication – comme les traitements thermiques – constituent de tels marqueurs. Les activités artistiques et

LA PRÉHISTOIRE MÉCONNUE DE L'AFRIQUE AUSTRALE

Se fondant sur la faible diversité génétique de notre espèce établie par plusieurs études, C. Marean avance que nous descendons tous d'une petite population qui dans sa migration de survie serait venue buter sur les confins océaniques de l'immense Afrique. La thèse est plausible, mais plusieurs éléments de sa démonstration sont encore fragiles.

En pleine renaissance, la Préhistoire de l'Afrique du Sud a souffert d'un long isolement. Le Paléolithique moyen y est représenté par des sites nombreux, mais souvent mal fouillés et mal datés. On manque donc de certitudes chronologiques pour déterminer vers quelle date les premiers groupes d'*Homo sapiens* sont parvenus au bout de l'Afrique. De même que nous manquons de données fiables sur les climats qui ont régné en Afrique, particulièrement équatoriale et tropicale, durant la période glaciaire décrite dans l'article. L'Afrique du Sud était-elle alors vraiment inhabitable ? On l'ignore.

Les restes humains du Paléolithique moyen mis au jour dans ce vaste pays sont encore rares. Quelques sites (Border Cave, Blombos cave...) ont livré les séries de restes

d'*Homo sapiens* les plus importantes et « parlantes ». Force est de constater que les populations africaines pléistocènes nous sont encore mal connues.

Nombre de sites du Paléolithique moyen d'Afrique du Sud, souvent plus récents que Pinnacle Point, sont sur sa frange littorale. Toutes les populations correspondantes ont exploité les ressources marines, ce qui est logique, car c'est plus facile que de partir pour de longues chasses. Dès lors, la consommation de coquillages était-elle une question de survie ou, plus probablement, de facilité ?

S'agissant de la taille des pierres, les préhistoriens européens avaient montré que depuis 20 000 ans, la chauffe modérée de certains silex a été utilisée pour les rendre aptes à être façonnés ou débités par pression. Cette technique d'appoint a-t-elle été utilisée à Pinnacle Point beaucoup plus tôt ? C'est possible, mais les traces de feu étant omniprésentes pour la période, la chauffe accidentelle de blocs est aussi envisageable. Accidentelle ou pas, elle modifie la couleur d'origine du matériau et sa susceptibilité magnétique.

La démonstration de l'intentionnalité de la chauffe est aisée pour le silex, elle l'est moins pour la silcrète. Son traitement thermique est une hypothèse séduisante qui constituerait une avancée importante si elle était confirmée. Notons que la taille expérimentale montre que la fabrication de lames et lamelles dans ce type de roche ne pose aucun problème si l'on taille des silcrètes non traitées de bonne qualité.

Pour leur part, les pigments minéraux rouges sont largement attestés dans de nombreux sites d'Afrique du Sud, ainsi que tout au long de la séquence de Diepkloof, qui va de il y a 121 000 à 45 000 ans. Cette dispersion est sans aucun doute une preuve presque directe et très ancienne d'expression symbolique.

Pierre-Jean TEXIER,
CNRS-PACEA,
Université de Bordeaux-1

symboliques en sont d'autres, de même que le repérage du temps qui passe grâce aux phases lunaires. Les plus anciens exemples de ces comportements ont été découverts en Europe et remontent à moins de 40 000 ans. Se fondant sur ces seules découvertes, les préhistoriens avaient conclu qu'un long décalage existait entre l'origine de notre espèce et l'émergence des capacités cognitives de l'homme moderne.

Toutefois, au cours des dernières années, de nombreux sites en Afrique du Sud ont livré des exemples de comportements complexes précédant de loin ceux qui ont été observés dans des sites européens. Ian Watts, un archéologue travaillant en Afrique du Sud, a par exemple décrit des centaines de morceaux d'ocre, travaillés ou non, provenant de sites datant de 120 000 ans. Tout comme celle de Pinnacle Point, cette ocre est souvent rouge, ce qui suggère que les hommes privilégiaient cette couleur. Dans la grotte de Blombos, à 100 kilomètres à l'ouest de Pinnacle Point, Christopher Henshilwood, de l'université de Bergen, en Norvège, a découvert des morceaux d'ocre comportant des gravures

Au cours des dernières années, de nombreux sites en Afrique du Sud ont livré des exemples de comportements complexes précédant de loin ceux qui ont été observés dans des sites européens

régulières, des colliers de perles faits avec des coquillages et des outils en os, datant tous de 71 000 ans. Toutes ces découvertes contredisent l'idée selon laquelle la cognition moderne ne serait apparue que tardivement dans notre lignée.

Nous pensons qu'une forte pression de sélection a dû exister, qui explique l'évolution de la cognition moderne: sans doute fallait-il, pour que survive à sa lignée, pouvoir mémoriser les emplacements et les cycles végétatifs de nombreuses espèces de végétaux dans des environnements arides, puis transmettre cette connaissance. Cette faculté a conduit à de nombreux autres progrès, par exemple la capacité de comprendre le lien entre les phases de la Lune et les marées. Les coquillages et les géophytes ont procuré à ces hommes un régime alimentaire de qualité qui leur a permis de limiter leur nomadisme, d'accroître leur taux de fécondité et de réduire la mortalité infantile. L'augmentation de la taille des groupes humains résultant de ces changements a favorisé la complexité sociale et, partant, la pensée symbolique et le savoir technique.

En modélisant l'évolution du «paléolittoral» autour de PP13B, Erich Fisher, alors à l'université de Floride, a montré que le rivage a souvent changé rapidement à cause du banc des Aiguilles, un large plateau continental en pente douce situé face à la côte sud-africaine. Ce plateau se découvrait largement dès que, la glaciation s'accroissant, le niveau des mers baissait, ce qui éloignait l'océan jusqu'à 95 kilomètres de Pinnacle Point. Quand, le climat se réchauffait, la mer revenait, les eaux marines recouvraient de nouveau le banc des Aiguilles, de sorte que les grottes se retrouvaient encore au bord de la mer.

Suivre la mer

Les enregistrements obtenus à partir des stalagmites couvrant la période comprise entre il y a 350 000 et 50 000 ans révèlent que le fynbos a probablement suivi le retrait de la côte sur la plaque continentale actuellement submergée; les géophytes et les coquillages étaient ainsi toujours proches. Quant aux hommes, en ces temps de faible densité de population, ils avaient la liberté de s'installer à l'endroit le plus favorable.

Les témoignages génétiques, fossiles et archéologiques concordent pour indiquer que la première vague de migration des hommes modernes s'est produite il y a environ 50 000 ans. Quels en ont été les déclencheurs? Cette question reste ouverte. Par exemple, nous ignorons si, à la fin de la période glaciaire, il subsistait une ou plusieurs populations d'hommes anatomiquement modernes en Afrique. Ces questions nous invitent à rechercher d'autres zones de survie, et à préciser notre connaissance des climats qui se sont succédé pendant cette période. L'enjeu est important, car l'histoire de ces hommes modernes qui ont survécu à la grande glaciation, puis conquis l'Afrique et le monde, est la nôtre.

Article publié dans *Pour la Science*
n°94 octobre 2010



Curtis MAREAN

est professeur à l'Institut d'étude de l'évolution humaine et des changements sociaux de l'université d'État d'Arizona.

BIBLIOGRAPHIE

C. Marean, The transition to foraging for dense and predictable resources and its impact on the evolution of modern humans, *Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci.*, vol. 371(1698), 20150239, 2016.

K. Brown et al., Fire as an engineering tool of early modern humans, *Science*, vol. 325, pp. 859-862, 2009.

C. Marean et al., Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene, *Nature*, vol. 449, pp. 905-908, 2007.

C. Henshilwood et C. Marean, The origin of modern human behavior: Critique of the models and their test implications, *Current Anthropology*, vol. 44, n° 5, pp. 627-651, 2003.



L'homme, une évolution en marche

JOHN HAWKS

Au cours des 30 000 dernières années, les sociétés humaines ont connu de profonds changements qui ont accéléré l'évolution génétique de l'homme. Et ce n'est pas fini.

L'espèce humaine maîtrise son destin comme nulle autre: nous avons appris à nous protéger des éléments et des prédateurs; nous avons développé des traitements contre de nombreuses maladies mortelles; nous avons transformé les petits jardins de nos lointains ancêtres en vastes champs agricoles; et nous avons spectaculairement augmenté nos chances de mettre au monde des enfants en bonne santé. Beaucoup concluent de ces succès que l'évolution de l'homme est arrivée à son terme. En d'autres termes, la sélection naturelle n'aurait plus prise sur nous. Ce n'est pas le cas.

Nous avons évolué dans notre passé récent, et nous continuerons à le faire

tant que nous existerons. Les 30 000 dernières années paraissent dérisoires comparées aux sept millions d'années qui nous séparent de notre dernier ancêtre commun avec le chimpanzé. Et pourtant, même pendant cette courte période, d'importants changements se sont déroulés: de vastes groupes humains ont migré vers de nouveaux environnements, notre alimentation s'est notablement modifiée et la population mondiale a été multipliée par plus de mille. En conséquence, le nombre global de mutations génétiques s'est accru, alimentant une sélection naturelle rapide. L'évolution humaine ne stagne pas, elle accélère.

L'analyse des squelettes anciens suggère que certains caractères humains ont récemment évolué de façon rapide. Il y a environ 11 000 ans, l'homme est passé du statut de chasseur-cueilleur à celui d'agriculteur, et s'est mis à faire cuire ses aliments, ce qui les ramollit. Dès lors, son anatomie a changé. Il y a 10 000 ans, par exemple, ses dents étaient en moyenne 10% plus grosses qu'aujourd'hui.

Du pain et du lait

La tolérance au lactose est un autre exemple d'adaptation alimentaire. Presque tous les humains naissent avec la capacité de produire la lactase, une enzyme qui décompose le lactose, ce qui est essentiel pour la survie d'un enfant nourri au sein. À l'âge adulte, la plupart des gens perdent cette capacité. À cinq reprises au moins depuis que les hommes ont adopté les laitages, une mutation génétique a prolongé l'activité du gène de la lactase à l'âge adulte dans plusieurs populations. Trois des mutations se sont produites dans des parties différentes de l'Afrique subsaharienne, siège d'une longue tradition de pastoralisme. Une autre

est courante dans la péninsule arabe et semble être apparue dans les populations anciennes de chameliers et de chevriers.

La cinquième mutation (la plus commune) se rencontre aujourd'hui de l'Irlande à l'Inde et c'est en Europe du Nord qu'elle est la plus fréquente. Elle s'est d'abord produite chez un individu unique il y a quelques huit milliers d'années. En 2011, l'analyse de l'ADN prélevé sur Ötzi, un homme retrouvé momifié dans un glacier du nord de l'Italie, et qui vivait il y a environ 5 500 ans, a montré qu'il n'avait pas le variant génétique conférant la tolérance au lactose. Ce variant n'était donc pas encore répandu dans cette région 2 000 ans après sa première apparition.

Par ailleurs, des chercheurs ont séquencé l'ADN de fermiers vivant en Europe il y a plus de 5 000 ans. Aucun ne portait la mutation du gène de la lactase. Pourtant, cette mutation est aujourd'hui présente chez plus de 75% des Européens. Ce n'est pas un paradoxe, mais une conséquence mathématique de la sélection naturelle. Une nouvelle mutation soumise à la sélection se répand à un rythme

exponentiel: il faut d'abord de nombreuses générations pour qu'elle acquière une certaine fréquence dans une population, puis sa croissance s'accélère et elle finit par dominer.

De nombreux habitants de l'Est asiatique ont du cérumen sec, qui ne colle pas. Une mutation datant de 20 à 30 000 ans en est responsable

De nombreux traits physiques actuels sont aussi le fruit d'une évolution récente. Ainsi, l'épaisse chevelure noire et lisse dont sont dotés presque tous les Asiatiques de l'Est est apparue il y a moins de 30 000 ans, à la faveur d'une mutation du gène EDAR. Ce variant génétique a été exporté en Amérique par les premières vagues de colonisateurs, venues de l'Est asiatique.

Des yeux bleus de 9 000 ans

Les chercheurs se sont aussi penchés sur le cérumen sécrété dans les oreilles. Aujourd'hui, la plupart des gens ont du cérumen collant. Cependant, de nombreux habitants de l'Est asiatique ont un cérumen

sec, qui s'écaille et ne colle pas. Comment expliquer cette différence? Le cérumen sec résulte d'une mutation relativement récente du gène *abcc11*. Vieille de 20 000 à 30 000 ans, cette mutation touche aussi

les glandes sudoripares dites apocrines, qui produisent la sueur. Si vous avez des aisselles qui sentent la transpiration et du cérumen collant, vous êtes probablement porteur de la version originale d'*abcc11*.

Une mutation contre le paludisme

Nous nous représentons souvent l'évolution comme un processus où les «bons» gènes remplacent inexorablement les «mauvais», mais les adaptations humaines les plus récentes attestent de la part essentielle du hasard. Les mutations bénéfiques ne persistent pas toujours. Tout dépend du moment où elles se produisent et de la taille de la population.



Cette leçon m'a été enseignée pour la première fois par l'anthropologue Frank Livingstone, qui a longuement étudié les fondements génétiques de la résistance au paludisme. Il y a plus de 3 000 ans en Afrique, une mutation s'est produite dans le gène codant l'hémoglobine, protéine qui transporte l'oxygène dans le sang. Quand un individu avait hérité de la mutation par ses deux parents, il développait une anémie falciforme, une maladie où des globules devenus rigides et en forme de faucille ne peuvent plus se faufiler dans les minuscules capillaires et bouchent

les vaisseaux. Or ce changement de forme a aussi entravé la capacité du parasite du paludisme à infecter les globules rouges.

La protéine codée par le gène muté a été nommée hémoglobine S. Une autre variante de l'hémoglobine intéressait Frank Livingstone : l'hémoglobine E. Aujourd'hui répandue en Asie du Sud-Est, cette variante confère une résistance notable au paludisme, mais sans les graves effets secondaires de l'hémoglobine S. Pourquoi les Africains n'ont-ils pas la version E, largement préférable, plutôt que la S ?

De nombreux traits répandus sont apparus il y a peu. La peau claire, les yeux bleus, les cheveux lisses et noirs des Asiatiques, ainsi que la capacité à digérer le lait à l'âge adulte ont tous émergé pendant les 30 000 dernières années.

Frank Livingstone répondait: «Le hasard en a décidé autrement.» Je supposais que la sélection naturelle était la force la plus puissante dans l'arsenal de l'évolution. Puisque les Africains vivaient depuis des milliers d'années avec le parasite meurtrier du paludisme, j'étais convaincu que la sélection naturelle aurait dû éliminer les mutations les moins avantageuses et faire émerger la plus intéressante.

La solution était que la préexistence de l'hémoglobine S dans une population compliquait la pénétration de l'hémoglobine E. Chez des individus dotés d'une hémoglobine normale, le paludisme fait des ravages et une nouvelle mutation conférant un léger avantage peut se répandre rapidement. Mais une population déjà équipée de la mutation protectrice qui crée l'hémoglobine S aura une mortalité moindre. Les porteurs de cette mutation sont toujours confrontés à la menace redoutable de l'anémie falciforme, mais l'hémoglobine E est un avantage relatif moins important dans une population qui a déjà cette forme imparfaite de résistance au paludisme. L'expansion d'une mutation ne dépend

pas juste de sa probabilité de survenir, mais aussi du moment où elle survient. Une adaptation partielle avec des effets secondaires délétères peut l'emporter sur une meilleure version, au moins pendant quelques milliers d'années.

Depuis que les humains sont confrontés au paludisme, des dizaines de modifications génétiques ont augmenté la résistance à cette maladie dans diverses régions.

Une adaptation partielle avec des effets secondaires délétères peut l'emporter sur une meilleure version, au moins pendant quelques milliers d'années

Chaque fois, une mutation aléatoire est parvenue à se maintenir dans une population locale en dépit de sa rareté initiale. Toutes ces mutations avaient peu de chances de perdurer, mais nos ancêtres étaient si nombreux et se sont multipliés si vite qu'elles ont été pérennisées. L'importance numérique des populations humaines explique

aussi qu'elles se sont rapidement adaptées à leurs nouveaux habitats quand elles sont parties à la conquête du globe.

L'évolution humaine se poursuit aujourd'hui. Les chercheurs peuvent l'observer «en direct», souvent en étudiant les tendances sanitaires et la natalité. Si les techniques médicales, l'hygiène et la vaccination ont considérablement allongé la vie, la natalité reste fluctuante pour nombre de populations.

En Afrique subsaharienne, les femmes enceintes au moment du pic de fréquence du paludisme ont légèrement plus de chances d'arriver à terme quand elles ont un certain variant du gène *flt1*, qui diminue le risque que leur placenta soit infecté par les parasites. Nous ignorons encore les mécanismes en cause, mais l'effet est important et mesurable.

Stephen Stearns, de l'université Yale, aux États-Unis, et ses collègues ont examiné les archives des études de santé publique, à la recherche d'éventuels caractères corrélés aux taux de reproduction actuels. Pendant les 60 dernières années, aux États-Unis, les femmes relativement petites et fortes,

ayant peu de cholestérol, ont eu un peu plus d'enfants en moyenne que les autres. Le lien entre ces caractères et la taille de la famille reste à expliquer.

De nouvelles études de santé publique, tel le projet britannique *UK Biobank*, analysent les génotypes (les caractéristiques génétiques) de centaines de milliers de personnes et suivent leur santé tout au long de leur vie. Les interactions des gènes sont complexes, de sorte que nous devons examiner des milliers de cas pour comprendre quels changements génétiques influent sur la santé humaine. Retracer la généalogie des mutations permet d'observer l'évolution sur des centaines de générations, mais le déroulement précis est parfois masqué: nous voyons les gagnants sur le long terme, tel le variant génétique autorisant la persistance de la lactase, mais nous pouvons passer à côté de la dynamique à court terme.

Un brassage sans précédent

Dès lors, on pourrait croire que les caractères additifs (modulés par divers gènes aux effets indépendant) se mélangeront un peu partout, au point de

s'uniformiser sur la planète. Deviendrons-nous donc tous identiques? Non, car tous les caractères qui varient entre les populations humaines ne sont pas additifs, et beaucoup ne le sont pas. Même si la couleur de la peau est additive, les mécanismes de la pigmentation sont plus complexes, comme l'illustrent bien les populations métisses des États-Unis, du Mexique et du Brésil: elles ne sont pas constituées d'une masse indistincte de clones café au lait, mais de groupes panachés, où des blondes à peau sombre et taches de rousseur côtoient des hommes à la peau mate et aux yeux verts. Chacun de nos descendants sera une mosaïque vivante de l'histoire humaine.

Article publié dans *Pour la Science*
n°445 novembre 2014



John HAWKS
est anthropologue
à l'université
du Wisconsin, à Madison,
aux États-Unis

BIBLIOGRAPHIE

D. Swallow et J. Troelsen, Escape from epigenetic silencing of lactase expression is triggered by a single-nucleotide change, *Nat. Struct. Mol. Biol.*, vol. 23(6), pp. 505-507, 2016.

Y. Itan et al., The origins of lactase persistence in Europe, *PLoS Computational Biology*, vol. 5, pp. 1-13, 2009.

S. Tishkoff et al., Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe, *Nature Genetics*, vol. 39, pp. 31-40, 2006.



Dites-nous ce que vous en pensez

Avez-vous apprécié les articles
présentés dans ce numéro ?

En répondant à un bref questionnaire, vous pouvez
nous aider à améliorer les *Thema*

Donnez votre avis