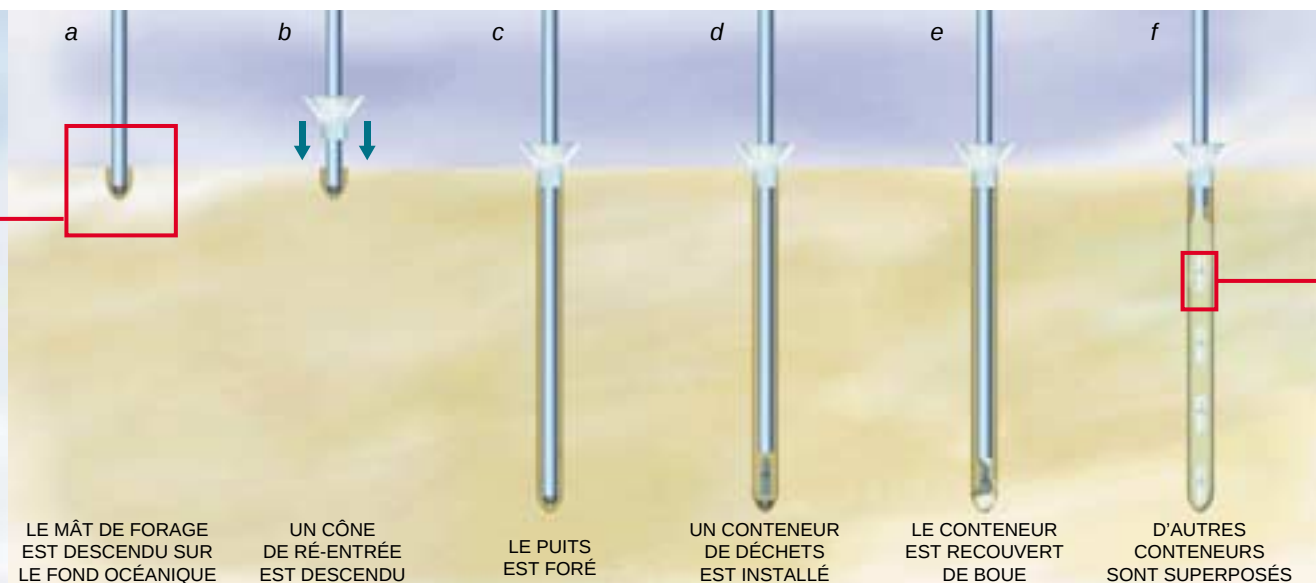
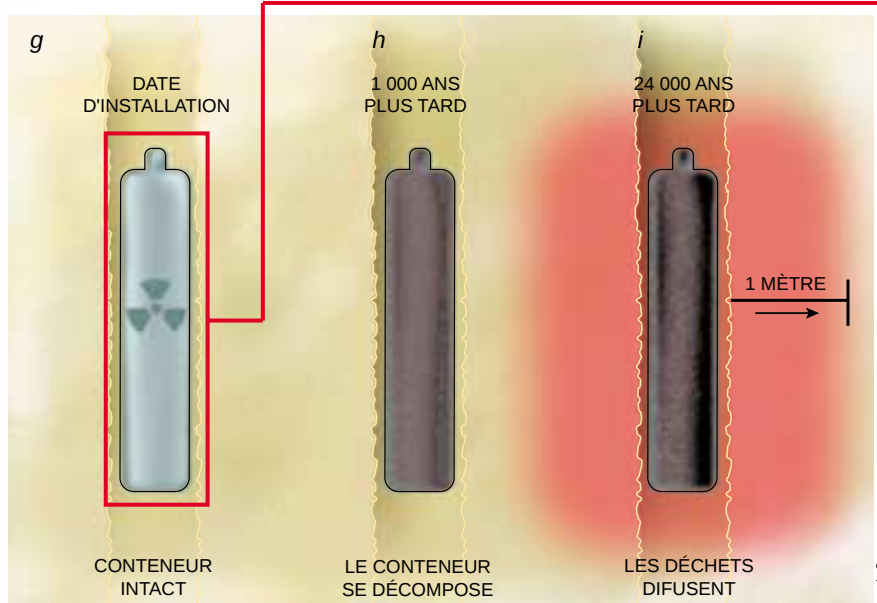




5. LE STOCKAGE SOUS-MARIN s'effectuerait en plusieurs opérations. Après la descente au fond d'une conduite de forage segmentée de plusieurs kilomètres de long (a), on adapterait un «cône de ré-entrée» autour de la conduite (b), qui guiderait jusqu'au puits une éventuelle autre conduite de forage. La rotation de la conduite, à laquelle serait fixée un trépan, creuserait un puits dans le fond de l'océan (c). Après le détachement du trépan, on descendrait dans la conduite un conteneur de déchets accroché à un câble (d). Après le comblement de cette partie du puits avec de la boue pompée à travers la conduite (e), on empilerait d'autres conteneurs (f), celui du dessus reposant à quelques dizaines de mètres au-dessous du fond sous-marin (g). Environ 1 000 ans après, le conteneur métallique serait corrodé, et les déchets radioactifs seraient au contact de la boue (h). Après 24 000 ans, quand la moitié du plutonium 239 radioactif serait désintégré, le plutonium et d'autres éléments lourds auraient migré vers l'extérieur sur moins d'un mètre (i).



Laurie Graze

dans 25 ans : on pourrait profiter de ce délai pour trouver les réponses aux questions scientifiques et techniques dont nous avons dressé la liste et pour évaluer plus précisément les coûts de ce mode de stockage. Si tout se passe bien, la Convention de Londres fournirait alors une base internationale pour un programme de stockage sous-marin.

Ce délai de 25 ans permettrait aussi de convaincre l'opinion publique. Aujourd'hui, des écologistes contestent toutes les mesures de traitement des déchets nucléaires, en particulier leur dépôt dans les océans. Cette position de principe n'est pas raisonnable. Les déchets nucléaires que nous avons produits, et que nous continuerons à produire, auront des conséquences sur l'environnement pendant quelques

centaines de milliers d'années, et il vaudrait mieux fonder les décisions que nous prendrons quant à leur devenir sur des travaux scientifiques sérieux.

À moins d'une avancée scientifique et technique miraculeuse, telle la découverte d'une méthode de transformation simple et rapide des éléments radioactifs en éléments stables ou celle d'un moyen sûr et peu coûteux

de les envoyer dans le Soleil, nous devrions trouver un endroit sur la planète où les entreposer. Les États ne devraient pas mettre tous leurs espoirs dans des projets de stockage souterrain. Ils doivent aux générations futures d'élargir leurs perspectives et d'explorer d'autres possibilités, y compris celles impliquant les épaisses couches de boue sous-marines.

Charles HOLLISTER est vice-président de l'Institut océanographique Woods Hole. Steven NADIS est écrivain.

C.D. HOLLISTER, D.R. ANDERSON et G.R. HEATH, *Subseabed Disposal of Nuclear Wastes*, in *Science*, vol. 213, pp. 1321-1326, 18 septembre 1981.

Management and Disposition of Excess

Weapons Plutonium, National Research Council, National Academy Press, 1994.

Steven NADIS, *The Sub-Seabed Solution*, in *Atlantic Monthly*, pp. 28-39, octobre 1996.

John F. AHEARNE, *Radioactive Waste : The Size of the Problem*, in *Physics Today*, vol. 50, n° 6, pp. 24-29, juin 1997.

Climat de l'Europe et origine des Néandertaliens

JEAN-JACQUES HUBLIN

Il y a plus d'un million d'années, les premiers hommes sont arrivés en Europe. Isolés lors de plusieurs périodes glaciaires, ils sont les ancêtres d'un groupe humain différent des hommes modernes : les Néandertaliens.

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, le débat sur l'ancienneté de l'espèce humaine et sur ses origines animales fait rage. En Europe, centre intellectuel, économique et politique de la planète, il ne fait de doute ni pour les scientifiques ni pour les lecteurs de quotidiens que, si un homme antédiluvien a jamais existé, c'est d'abord sur le vieux continent qu'il faut en chercher les traces. Cet ancêtre mystérieux et inattendu, encore quasi inconnu, suscite l'engouement des artistes et des écrivains : dès l'origine, c'est un objet de fantaisie autant que d'étude. Dans une large mesure, un mythe scientifique se substitue au récit biblique de la Création. L'enthousiasme populaire est accompagné d'une «ruée vers l'os» : archéologues et paléontologues, mais aussi notaires, curés et instituteurs entreprennent la fouille des grottes de leur voisinage, découvrant, exploitant et, bien souvent, détruisant de nombreux sites.

C'est dans cette effervescence que les premiers hommes fossiles sont découverts. L'homme de Néandertal est identifié le premier, en 1856, dans le gisement de Feldhofer, près de Düsseldorf. Des fossiles comparables avaient déjà été exhumés en 1830 à Engis, en Belgique, et en 1848 à Gibraltar, mais leur véritable signification n'avait pas été reconnue. Au fil des découvertes, l'homme de Néandertal est décrit comme un être fruste, qui ne maîtrise que des techniques primitives. Assez vite, en 1868, un autre acteur des temps préhistoriques, qui ressemble beaucoup à l'homme actuel, est révélé : l'homme de Cro-Magnon

(du nom d'un petit abri sous roche éventré par les constructeurs du chemin de fer entre Agen et Les Eyzies).

Cette présence, sur un même territoire, de deux types humains différents soulève des questions qui n'ont cessé d'agiter la paléanthropologie pendant plus d'un siècle. Comment l'homme de Néandertal et l'homme de Cro-Magnon sont-ils apparentés ? Le premier est-il l'ancêtre du second ? Bien peu le pensent, et l'on recherche par conséquent les ancêtres des hommes modernes, d'abord en Europe, bien sûr, où les chercheurs européens sont si actifs et le matériel paléontologique si abondant.

Nous le savons aujourd'hui, les zones de climat tempéré et froid de l'Eurasie n'ont été peuplées que récemment, à l'échelle des temps géologiques, et elles sont restées à l'écart des principales étapes de l'évolution des Hominiidés qui se sont déroulées dans les régions tropicales de l'Afrique, puis de l'Asie. Comme la plupart des primates, les ancêtres de l'homme, apparus en Afrique il y a plus de quatre millions d'années, puis les hommes archaïques qui se sont répandus jusqu'en Asie vivaient dans des milieux chauds : nos ancêtres ont longtemps été incapables d'étendre leur territoire aux latitudes moyennes et élevées.

Quand le peuplement de l'Europe a-t-il commencé et quel en fut le déroulement ? Quelles relations existent entre les premiers habitants de l'Europe et les Néandertaliens ? Enfin, quand et comment la spécificité de ces derniers est-elle apparue ? Depuis quelques années, plusieurs découvertes spectaculaires de restes hu-

mans anciens ont montré que l'arrivée des premiers hommes sur notre continent a été plus précoce qu'on ne le pensait. Mais surtout, le rapprochement des données paléontologiques avec les fluctuations du climat depuis un million d'années permet l'établissement d'un scénario cohérent pour cette colonisation ainsi que pour l'apparition des Néandertaliens : les périodes de réchauffement climatique, qui ont favorisé la venue des hommes archaïques en Europe, ont été entrecoupées de plusieurs longues périodes de climat glaciaire ; ces dernières ont isolé et réduit les groupes humains, dont le génome s'est particularisé et qui sont progressivement devenus les Néandertaliens.

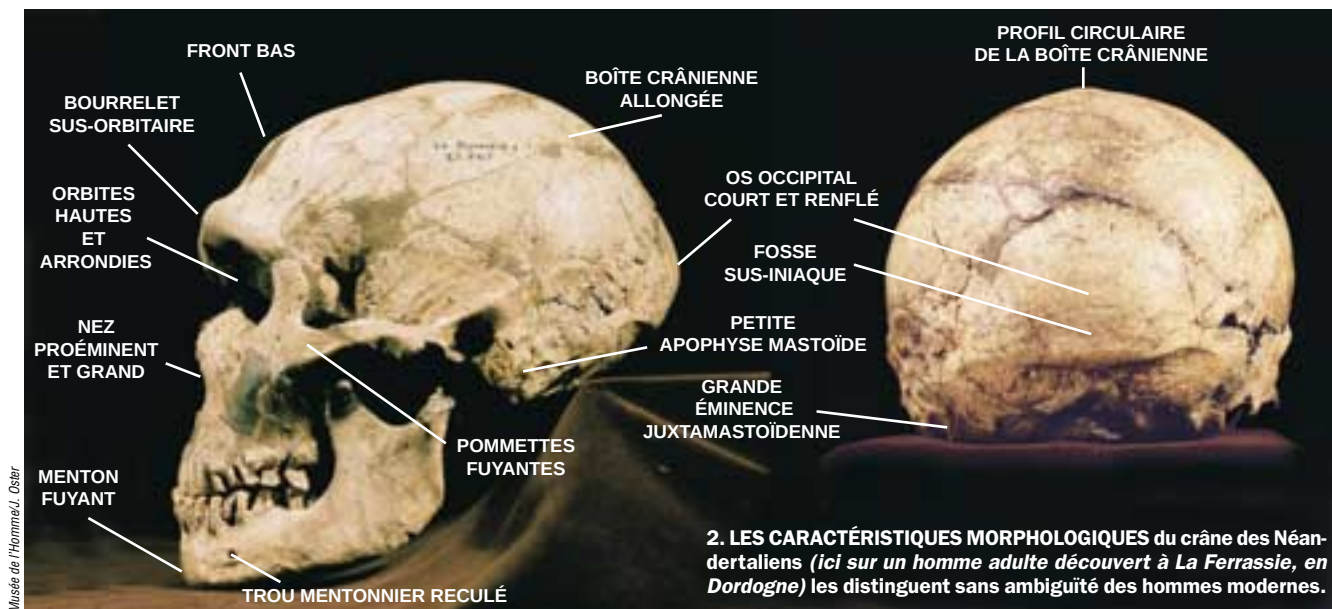
Cro-Magnon et Néandertal : deux morphologies

Les vestiges exhumés depuis 150 ans en Europe indiquent que, il y a 40 000 ans environ, l'Europe a été colonisée par des hommes semblables aux Européens d'aujourd'hui, quoique plus robustes : leur haute taille et leurs proportions corporelles semblables à celles d'Africains actuels témoignent de leur origine tropicale. Pour une part au moins, ils sont nos ancêtres directs (d'autres arrivants modernes leur ont succédé, en particulier au début du Néolithique, il y a environ 7 500 ans). L'arrivée de ces populations venues de l'Est, dont les hommes de Cro-Magnon sont les plus célèbres représentants, coïncide avec les plus anciennes traces d'art connues, sculptures sur os et peintures rupestres.



1. LES RÉGIONS D'EUROPE ACCESSIBLES À L'HOMME ont fortement varié au cours du dernier million d'années. Pendant les périodes glaciaires (*en haut*), les glaciers sur les montagnes et la calotte glaciaire du Nord-Ouest européen (*en blanc*) s'étendent ; sur une bonne partie du continent, le sol reste gelé en permanence ; le niveau des mers baisse, découvrant de nouveaux territoires le long des côtes ; la mer Caspienne s'étend vers le Nord et vers l'Ouest, bloquant les communications avec l'Asie. Les populations humaines, cantonnées dans quelques zones refuges, étaient

peu nombreuses et isolées. On a figuré ici les conditions lors du dernier maximum glaciaire, il y a 18 000 ans. La calotte glaciaire s'est parfois étendue plus au Sud, par exemple au cours de la glaciation longue et humide il y a 130 000 à 190 000 ans (*ligne blanche*). Pendant les périodes interglaciaires, l'Europe a l'aspect que nous lui connaissons aujourd'hui (*en bas*). On a indiqué la position des sites archéologiques mentionnés dans le texte (leur distribution ne reflète pas l'occupation de l'Europe par les populations humaines aux différentes périodes concernées).



Ces envahisseurs ne sont toutefois pas les premiers Européens. Il y a 30 000 ans, à l'époque où ils peignaient félins, chevaux et rhinocéros dans la grotte Chauvet, en Ardèche, les derniers Néandertaliens survivaient encore dans des zones reculées, tel le Sud de l'Espagne. Morphologiquement différents des hommes modernes, ils étaient issus de populations qui avaient évolué en Europe depuis plusieurs centaines de milliers d'années.

Les hommes de Néandertal sont le groupe d'hommes fossiles le mieux connu, l'homme moderne excepté. Plus de 80 sites européens ont livré des restes de Néandertaliens et de leurs ancêtres, et même des individus presque complets, adultes et enfants. On peut donc en dresser un portrait précis. Comme n'importe quelle population vivante, les Néandertaliens présentent des variations morphologiques individuelles, voire régionales : la population la plus nombreuse a été exhumée en Europe occidentale, mais un autre groupe important a vécu au Proche-Orient ; les Néandertaliens étaient aussi présents en Europe centrale et orientale, et un individu a été découvert en Asie centrale, en Ouzbékistan. Mais ils partagent un ensemble de caractères originaux, en particulier du crâne et de la mandibule, qui ne sont rassemblés dans aucun autre groupe d'hommes fossiles.

La silhouette des Néandertaliens est ramassée : ils ne sont pas très grands, mais leur masse corporelle est supérieure à celle de la plupart des hommes actuels. À la robustesse du squelette s'ajoute un puissant système muscu-

laire. Les proportions relatives du tronc et des membres sont celles que l'on rencontre aujourd'hui chez des populations arctiques, tels les Esquimaux : les Néandertaliens étaient adaptés à des environnements froids (voir la figure 3).

Comme chez d'autres formes humaines archaïques, le front est fuyant et un fort bourrelet osseux avance au-dessus des orbites. De même, la mandibule ne possède pas de menton osseux. À côté de ces traits primitifs, les Néandertaliens possèdent de nombreux caractères spécifiques qui permettent parfois de les identifier à partir de restes fragmentaires. La face est très grande, longue, occupée par de vastes orbites et par une grande cavité nasale. De part et d'autre d'un nez proéminent, les côtés de la face sont fuyants. Dans la région de l'os temporal et de l'os occipital, des détails anatomiques sont spécifiques de cette lignée évolutive. De même, le profil presque circulaire de leur crâne en vue postérieure est caractéristique des Néandertaliens. La boîte crânienne allongée renferme un cerveau dont le volume, rapporté à la masse corporelle, est identique à celui d'un cerveau moderne.

Les premiers habitants de l'Europe

Les Néandertaliens ont été identifiés, par l'ensemble de ces caractéristiques morphologiques, dans des niveaux sédimentaires de l'avant dernière glaciation, il y a entre 80 000 et 40 000 ans. Les fossiles européens de la période plus chaude qui a précédé sont recon-

nus comme des Néandertaliens archaïques. Ils possèdent déjà presque tous les caractères spécifiques du groupe. Celui-ci est donc présent dans nos régions il y a 127 000 ans, et il descend des premiers habitants de l'Europe. Quand ces ancêtres y sont-ils arrivés ? Alors qu'en Afrique, des Hominidés fossiles de quatre millions d'années et des outils de pierre taillés de 2,5 millions d'années ont été découverts, en Europe, très peu de sites sont datés d'avant la limite entre le Pléistocène inférieur et le Pléistocène moyen, il y a 780 000 ans.

Pour les partisans de la «chronologie longue», cette rareté des sites du Pléistocène inférieur provient surtout de la dégradation des fossiles au cours du temps et de la faiblesse numérique des populations de l'époque. Quelques auteurs n'ont d'ailleurs pas hésité à dater de plus de 1,7 million d'années, voire 2 millions, des objets de pierre qui semblent taillés, mais dont l'origine est vraisemblablement naturelle. Une série de sites d'environ un million d'années sont en revanche attestés, même si leur datation donne lieu à des polémiques. Dans la région d'Orce, en Andalousie, les sites de Fuente Nueva 3 et de Barranco Leon 5 ont livré des outillages indubitablement taillés qui auraient entre 1 et 1,2 million d'années (voir la figure 5). Il faut aussi mentionner les sites un peu plus tardifs du Vallonet, dans les Alpes-Maritimes, et de Soleihac, dans le Massif central. Ce dernier a livré à E. Bonifay un outillage de silex et des restes de grands mammifères sur les

rives d'un ancien lac. Karlich, en Allemagne, et Stranska Skala, en Moravie, sont deux autres exemples qui restent discutés.

La pénétration précoce de l'Europe est aussi attestée par la découverte, en 1994, de restes humains dans le gisement de la Gran Dolina d'Atapuerca, près de Burgos, en Espagne. Dans un niveau daté de plus de 780 000 ans, 80 fragments osseux ont été mis au jour. Leurs découvreurs, Juan Luis Arsuaga, de l'Université Complutense de Madrid, José Maria Bermudez de Castro, du Musée d'histoire naturelle de Madrid et Eudald Carbonell, de l'Université Rovira i Virgili, à Tarragone, les attribuent à une nouvelle espèce d'hominidés, *Homo antecessor*. Ils soutiennent ainsi, comme d'autres paléontologues, que *Homo erectus*, espèce à laquelle on rattache habituellement l'ensemble des hommes archaïques qui ont couvert une grande partie de l'Ancien Monde avant l'avènement des Néandertaliens et des hommes modernes, était cantonnée à l'Asie. La découverte récente à Ceprano, en Italie centrale, d'un fossile attribué à *Homo erectus* et vieux d'environ 700 000 ans témoignerait toutefois de la présence de ce groupe en Europe à cette époque.

Les tenants de la «chronologie courte» soutiennent au contraire que la colonisation de l'Europe est récente. W. Roebroek, de l'Université de Leyde, a ainsi affirmé qu'aucun site européen ne peut être daté avec certitude de plus de 500 000 ans : il a mis en doute la datation de sites reconnus, aussi bien que la nature humaine des outillages les plus anciens. Pourquoi, en effet, si des Hominidés étaient présents, n'en a-t-on retrouvé aucune trace dans de nombreux gisements paléontologiques, notamment du Massif central, qui ont livré de riches faunes du Pliocène (plus de 1,7 million d'années) et du Pléistocène inférieur (de 1,7 million d'années à 780 000 ans)? Les gisements contemporains d'Afrique du Sud ou d'Afrique de l'Est recèlent une proportion faible, mais significative, de vestiges humains.

La «chronologie longue» et la «chronologie courte» ne sont toutefois pas irréconciliables. D'abord, les tenants respectifs de ces modèles diffèrent par leur origine géographique et par les zones où ils mènent leurs recherches : l'Europe méditerranéenne d'une part, l'Europe du Nord-Ouest et des moyennes latitudes d'autre part. Chacun semble avoir raison dans sa

zone de travail : dans les régions méditerranéennes, on note des incursions sporadiques des hommes aux environs d'un million d'années, tandis qu'une colonisation humaine importante et continue ne se serait pas développée avant 600 000 ou 500 000 ans, en particulier dans les latitudes moyennes et élevées de l'Europe.

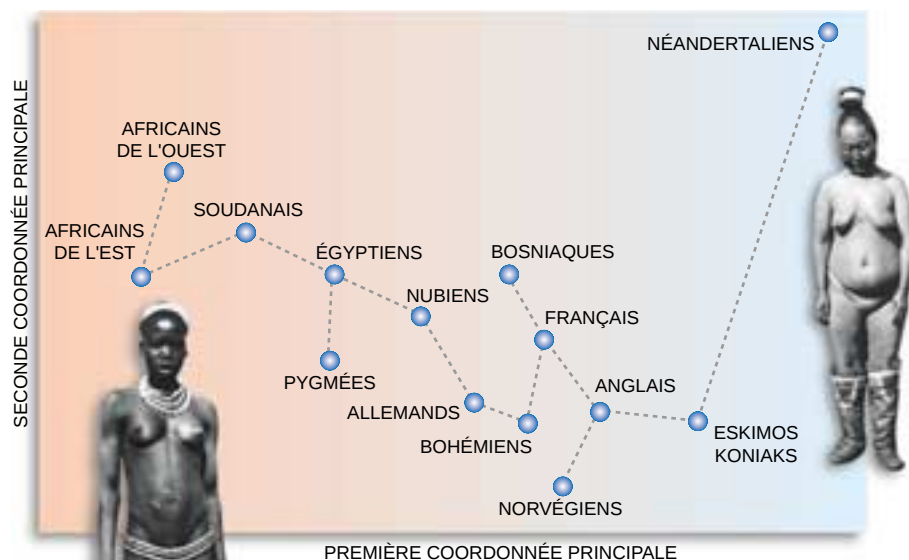
Des précurseurs aux portes de l'Europe

Un point est indubitable : la présence des hommes est démontrée aux portes de l'Europe avant un million d'années. Ainsi, en Algérie, les outillages d'Aïn Hanech seraient plus anciens. Dans le Levant, les sédiments du gisement d'Ubeidiyeh, en Israël, livrent de nombreux outils taillés et une faune de 1,4 million d'années.

Plus proche encore de l'Europe, à Dmanisi, en Géorgie, sur le flanc Sud du Caucase, une équipe d'archéologues allemands et géorgiens a fait une découverte extraordinaire en 1991, en vidant un silo creusé par les occupants d'une cité médiévale perchée sur un éperon rocheux. Ils ont vu apparaître, dans les parois, des ossements de grands mammifères, quelques outils

de pierre primitifs et, finalement, une mandibule indiscutablement humaine. Le basalte sous-jacent est daté de 1,8 million d'années. La composition de la faune présente, ainsi que la polarité magnétique des sédiments suggèrent un âge à peine plus récent pour la mandibule. Son analyse morphologique par G. Brauer, de l'Université de Hambourg, a mis cependant en évidence des caractères relativement évolués. Cette découverte rend très probable la colonisation du Sud de l'Europe il y a plus d'un million d'années, et elle confirme la datation de sites des régions méditerranéennes. Plusieurs vagues de peuplement se seraient ainsi succédé, parfois composées d'effectifs faibles, souvent éphémères et limitant leur avancée aux régions les plus méridionales.

Pourquoi les hommes ont-ils pénétré si difficilement en Europe? Divers facteurs environnementaux ont été évoqués, indépendamment du climat lui-même. Ainsi, selon C. Gamble, de l'Université de Southampton, jusqu'à il y a 500 000 ans, les hommes n'auraient prospéré que dans les milieux ouverts de savane et de prairie, et n'auraient pas pu s'adapter à la forêt tempérée ou froide. Selon A. Turner,



3. LES PROPORTIONS CORPORELLES (rapports du poids à la taille, de la longueur du tronc à celle des membres, des longueurs de l'avant-bras et de la jambe à, respectivement, celles du bras et de la cuisse) des populations actuelles dépendent fortement de la latitude. À mesure que l'on se dirige vers le Nord, la silhouette devient de plus en plus massive, accroissant la résistance au froid. Les Néandertaliens, placés au-delà des Esquimaux actuels sur l'axe horizontal, étaient adaptés à des climats très rigoureux. Les coordonnées utilisées (déterminées par Trenton Holliday, du College of William and Mary, à Williamsburg) sont celles qui caractérisent le mieux les individus (*le trait pointillé indique la proximité morphologique entre les populations*).

Musée de l'homme, Petersen, d'après T. Holliday

de l'Université de Liverpool, la concurrence avec les grands carnivores a joué un rôle déterminant : les hommes, à la fois chasseurs et charognards, n'auraient pas pu rivaliser avec les hyènes et les félidés de grande taille, nombreux en Europe avant les renouvellements fauniques du milieu du Pléistocène moyen.

L'émergence des Néandertaliens

Quand les populations européennes ont-elles commencé à se distinguer des formes contemporaines africaines et asiatiques ? Ni la mandibule de Dmanisi, ni les restes de la Gran Dolina d'Atapuerca, ni l'homme de Ceprano,

quelles que soient les espèces auxquelles ils appartiennent, ne présentent de caractères néandertaliens. Les groupes qu'ils représentent sont antérieurs à la divergence de cette lignée. En revanche, on discerne déjà quelques traits «européens» sur une mandibule d'environ 500 000 ans, découverte à Mauer, en Allemagne, et qui présente surtout des caractères primitifs.

C'est sur des spécimens du milieu du Pléistocène moyen que l'on observe pour la première fois des caractères de la face qui indiquent clairement que le processus évolutif vers les Néandertaliens est déjà en marche. La région infraorbitaire et la mandibule des fossiles de la Caune de l'Arago, à Tautavel, dans les Pyrénées-Orientales, de 450 000 ans, évoquent celles des Néandertaliens, comme la région nasale et infraorbitaire du crâne de Petralona, en Grèce. À côté de ces quelques traits dérivés, ces spécimens, tout comme le tibia de Boxgrove, en Angleterre, vieux de 480 000 ans, présentent toutefois une morphologie surtout primitive, encore proche de celle que l'on observe sur des formes contemporaines africaines.

Une seconde étape est marquée par les fossiles appartenant à la période entre 400 000 et 250 000 ans. Avec les fossiles de Swanscombe, en Angleterre, et de Steinheim, en Allemagne, on voit apparaître des caractères néandertaliens sur l'arrière-crâne, en particulier la «fosse sus-occipitale», une zone déprimée et poreuse de l'occipital, qui est l'un des caractères anatomiques les plus distinctifs de ce groupe (voir la figure 2).

Depuis la fin des années 1980, l'équipe espagnole d'Atapuerca a mis au jour les restes, fragmentés mais parfaitement conservés, d'une trentaine d'individus, principalement de jeunes adultes, dans la Sima de los Huesos (située à 600 mètres environ de la Gran Dolina). Cet ensemble nous livre pour la première fois un instantané d'une population du Pléistocène moyen et nous en montre la diversité morphologique. La combinaison de caractères de la face et de l'occipital est clairement néandertalienne, même si ces caractères sont moins marqués que sur des spécimens plus récents. À ce même ensemble se rattachent sans doute les fossiles de Reinlingen et de Bilzingsleben, en Allemagne. À la vue de toutes ces pièces, on est frappé par le fait que plusieurs morphologies, plus

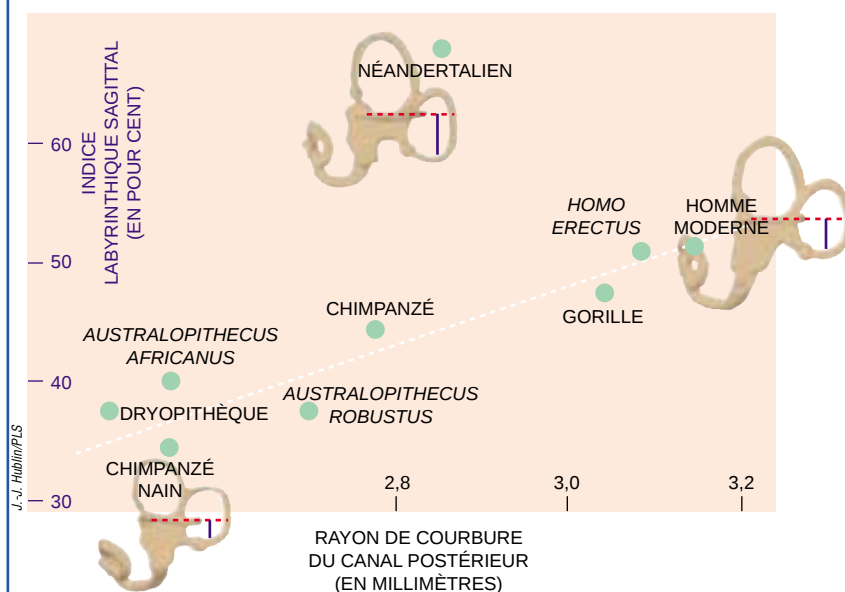
Espèce ou sous-espèce ?

Les Néandertaliens forment-ils une sous-espèce d'*Homo sapiens*, que l'on nommerait *Homo sapiens neanderthalensis*, ou une espèce à part entière, *Homo neanderthalensis* ? Différents critères sont utilisés pour distinguer deux espèces : la capacité, pour deux populations, d'avoir une descendance commune féconde ; des différences morphologiques «suffisantes» ; la dissimilitude de leurs génomes.

Le premier critère est invérifiable pour des espèces disparues. En revanche, de nombreux arguments morphologiques plaident en faveur de la distinction de deux espèces. Ainsi, en 1996, nous avons montré, avec Fred Spoor, de l'University College, à Londres, que la disposition et la forme du canal semi-circulaire postérieur de l'oreille interne distinguent les Néandertaliens de toutes les autres espèces du genre *Homo* (voir la figure. L'indice labyrinthique sagittal, porté en ordonné, est le pourcentage du canal semi-circulaire postérieur situé sous le plan du canal latéral, matérialisé par le pointillé rouge.). D'un point de vue statistique, les différences métriques observées avec les hommes modernes sont du même ordre de grandeur que celles qui séparent les hommes actuels des chimpanzés.

La forme de l'oreille interne est fixée dès que l'embryon a atteint six mois : on distinguerait donc morphologiquement un Néandertalien d'un homme moderne dès le stade fœtal. Chez des antilopes ou des rongeurs fossiles, une telle différence morphologique justifierait sans états d'âme la distinction de deux espèces paléontologiques, mais l'idée que des hommes d'une espèce différente de la nôtre, et en même temps si proche par la culture, ont coexisté avec nos ancêtres est difficilement admise.

La comparaison génétique des Néandertaliens et des hommes modernes a débuté spectaculairement en 1997 : deux équipes de biologistes, en Allemagne et aux États-Unis, ont, pour la première fois, extrait et analysé des fragments d'ADN d'un os de Néandertalien. Toutefois, la conclusion de ce travail quant à l'ancienneté des Néandertaliens et à leur parenté avec les hommes actuels a simplement confirmé ce que les paléontologues avaient déduit de l'étude des fossiles : les génomes des deux groupes présentent des différences, et ils se sont distingués depuis environ 500 000 ans. Il n'existe de toute façon pas d'étalon génétique qui permettrait de choisir entre les deux possibilités, espèces proches ou sous-espèces.



ou moins primitives, de l'occipital en particulier, coexistent à la même époque en Europe. Cette variété dans le degré de «néandertalisation» s'observe même au sein d'une même population, à la Sima de los Huesos et à Bilzingsleben.

Vers 200 000 ans, l'anatomie des fossiles, tel l'homme de Biache, dans le Pas-de-Calais, se rapproche encore un peu plus de celle des Néandertaliens européens, par la forme arrondie de leur voûte crânienne et par la morphologie de leur région temporale. Il y a 125 000 ans, enfin, les fossiles de Saccopastore, en Italie, et de Krapina, en Croatie, appartiennent déjà clairement à l'entité néandertalienne et ne s'en distinguent que par quelques détails. Comme l'a d'ailleurs démontré récemment Erik Trinkaus, de l'Université George Washington à Saint Louis, certains caractères considérés comme néandertaliens sont plus fréquents chez ces formes que chez les Néandertaliens postérieurs. À nouveau, on observe la persistance de traits relativement primitifs, de la mandibule en particulier, sur des individus assez tardifs.

Il est tentant de diviser cette évolution en stades successifs : aux pré-Néandertaliens anciens succéderaient des pré-Néandertaliens récents, puis des Néandertaliens anciens et enfin des Néandertaliens récents. Certains auteurs proposent même le nom spécifique d'*Homo heidelbergensis* pour désigner les premières étapes de cette séquence. Ce découpage est toutefois difficile à mettre en œuvre et rend mal compte des mécanismes évolutifs : l'évolution des Néandertaliens résulte d'une accumulation de caractères dérivés. Elle procède d'un changement de fréquence des caractères au sein des populations, à des vitesses différentes selon les emplacements anatomiques considérés. Ainsi, pour l'occipital, la transformation touche finalement la totalité des individus, tandis que les caractères néandertaliens de la mandibule ne sont pas tous présents chez tous les individus, même dans les populations néandertaliennes les plus récentes.

Les Néandertaliens sont connus uniquement en Europe et dans la proche Asie, où ils n'auraient cependant pénétré qu'à certaines périodes, peut-être même uniquement à la fin de leur histoire. Quelles sont donc les particularités de l'Europe qui ont permis

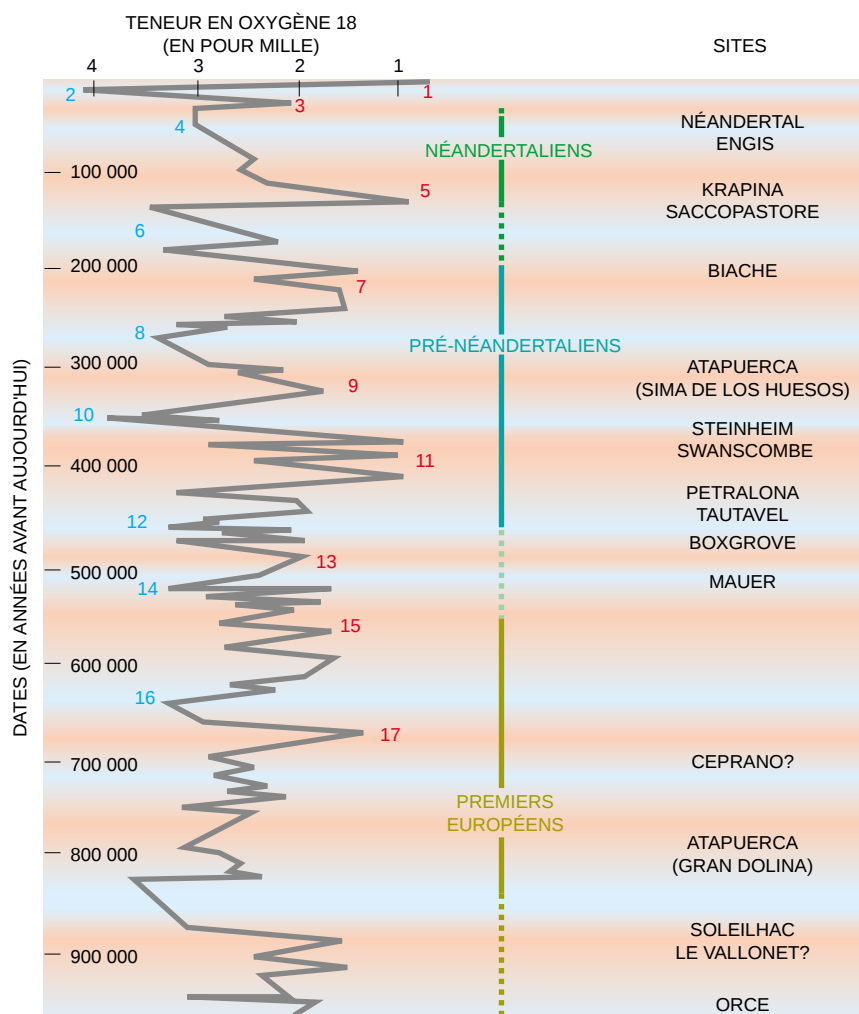
l'évolution des Néandertaliens? Nous savons que l'évolution des Hominidés en Afrique a été fortement influencée par les variations climatiques, locales ou planétaires, à l'origine de l'extension ou de la régression des zones de forêt, de savane et de désert. C'est aussi dans l'histoire de la géographie et du climat de l'Europe qu'il faut rechercher les causes de l'évolution particulière des Hominidés sur ce continent.

Les variations géographiques de l'Europe

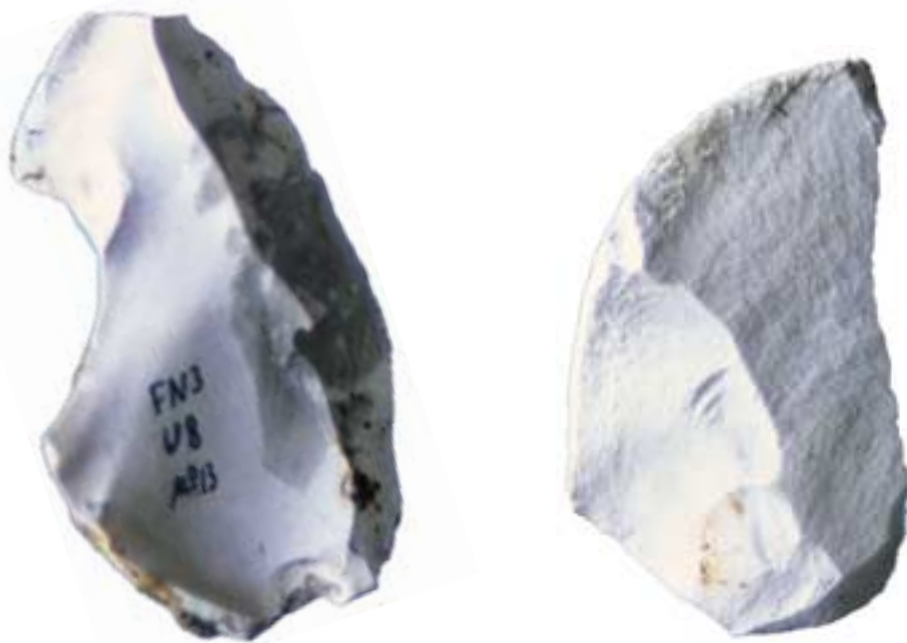
Tout au long du Pléistocène, et encore aujourd'hui, l'Europe est une péninsule longue et étroite, relativement isolée à l'extrémité de l'Eurasie, sous des latitudes moyennes. Elle est limitée à l'Ouest par l'océan Atlantique

et au Sud par la Méditerranée. L'arc alpin sépare une grande plaine, au Nord, des régions méditerranéennes cloisonnées par de nombreux massifs montagneux, au Sud. Les contours du continent et les régions accessibles à l'homme ont toutefois fortement varié au cours de l'alternance de périodes froides, les glaciations, et de périodes de climat tempéré ou chaud, nommées interglaciaires.

Ces variations climatiques, que l'on retrouve sous différentes formes sur tout le globe, sont bien connues depuis que des courbes paléoclimatiques ont été établies par l'analyse des isotopes de l'oxygène dans les sédiments océaniques (les isotopes sont les différentes formes d'un même élément chimique qui contiennent plus ou moins de neutrons) : la teneur en oxygène 18 des



4. L'ALTERNANCE CLIMATIQUE de périodes glaciaires et interglaciaires, numérotées en partant de l'interglaciaire actuel, est connue grâce à la teneur des sédiments marins en oxygène 18 : plus celle-ci est élevée, plus la température était basse au moment du dépôt (courbe à gauche). Les hommes archaïques, qui ont pénétré en Europe il y a plus d'un million d'années ont commencé à se différencier des populations africaines il y a 400 000 à 500 000 ans, à peu près à l'époque de la glaciation du stade 12. Cette évolution s'est poursuivie jusqu'il y a environ 100 000 ans, où les Néandertaliens sont réellement établis.



A. Turq/Musée national de préhistoire des Pyrénées

5. CES ÉCLATS DE SILEX, taillés par des hommes à Orce, en Andalousie, il y a 1 à 1,2 million d'années seraient les plus anciens d'Europe selon les travaux d'Alain Turq et de B. Martínez-Navaro. Ils prouvent que des hommes se sont aventurés en Europe dès cette époque. Comme la plupart des plus anciens gisements pléistocènes européens, ceux du bassin sédimentaire d'Orce ont été fortement controversés. En particulier, la nature humaine de quelques fragments osseux livrés par ses dépôts est douteuse.

coquilles de micro-organismes provenant des forages de fonds océaniques indique avec précision la température des eaux où ces animaux ont vécu. Les périodes successives de température moyenne différente sont nommées «stades isotopiques», et elles sont numérotées à partir du stade actuel, le stade 1, un interglaciaire.

Les conditions actuelles nous donnent une assez bonne idée du sous-continent durant les phases interglaciaires mais, depuis 500 000 ans, les glaciations ont dominé. Une calotte glaciaire s'étendait alors sur le Nord de l'Europe, tandis que des glaciers recouvraient les massifs montagneux les plus élevés. Sur plusieurs centaines de kilomètres de large, une zone de sol gelé en permanence bordait la calotte glaciaire vers le Sud. La mobilisation des eaux océaniques sous forme de glace provoquait une forte baisse des niveaux marins, et des zones aujourd'hui submergées, telles la Manche ou le Nord de la mer Adriatique étaient à sec. L'Europe était ainsi très réduite au Nord et légèrement étendue vers l'Ouest (voir la figure 1). Dans l'ensemble, un climat plus froid et plus continental qu'aujourd'hui a régné pendant le dernier demi-million d'années dans la plupart des régions. Au maximum d'intensité des phases froides, les milieux naturels répartis aujourd'hui entre les rives de la Méditerranée et le cercle polaire arctique étaient resserrés entre le Sud de l'Espagne et la Belgique.

À ces vastes fluctuations climatiques périodiques, expliquées par les fluctuations de l'orbite terrestre autour du Soleil, se sont ajoutées de nombreuses crises, plus courtes mais parfois intenses, révélées par l'étude des glaces du Groenland (comme les sédiments marins, les neiges polaires fixent dans leur composition isotopique la température au moment de leur dépôt) et dont l'origine reste débattue. Notre interglaciaire actuel, depuis 7 000 ans, semble d'une stabilité climatique exceptionnelle par rapport aux périodes précédentes : ainsi, pendant le stade isotopique 5, il y a 128 000 à 73 000 ans, un peu plus chaud à son maximum que le climat actuel, de brefs mais catastrophiques refroidissements se sont produits. Dans les régions Nord-atlantiques, certains de ces refroidissements correspondent à une baisse de la température moyenne de 10 à 14 degrés en quelques générations humaines.

Comment l'homme a-t-il affronté ces variations climatiques ? À la marge de leur niche écologique, les hommes archaïques du Pléistocène inférieur (avant 780 000 ans) n'ont probablement pénétré en Europe que par petits groupes isolés et séparés par de grands intervalles de temps. Cette immigration sporadique fournit une première explication du particularisme des Néandertaliens : «l'effet du fondateur». Seul un petit échantillon des gènes de la population d'hommes archaïques

d'origine est représenté dans la population de pionniers qui parvient en Europe, et leur effet est déterminant dans l'évolution de celle-ci. Par pur hasard, des caractères peu fréquents dans l'espèce sont ainsi fixés.

Plus tard, le climat a grandement conditionné les possibilités d'échanges entre le sous-continent européen et les territoires avoisinants. Tant que les hommes sont restés cantonnés sous les latitudes inférieures à 55 degrés Nord, ce qui fut le cas pendant tout le Pléistocène moyen, les échanges avec l'Asie se faisaient essentiellement à travers le Bosphore, en direction de l'Anatolie. Les périodes interglaciaires ont permis la conquête des latitudes plus élevées : ainsi, au début du Pléistocène supérieur, le stade 5 marque les premiers peuplements de la plaine russe. En revanche, les phases froides ont amplifié l'isolement naturel de l'Europe, notamment de l'Europe occidentale. Tout d'abord par le tassement des milieux naturels vers le Sud. D'autre part, au maximum des glaciations, la mer Caspienne s'étend vers le Nord au-delà de 50 degrés de latitude, alimentée par un système fluvial venu des glaciers du Nord : elle approche l'extrémité Sud de l'Oural. Elle développe aussi périodiquement un chenal dans la dépression de Manytsch, en direction de la mer d'Azov, doublant ainsi vers le Nord la barrière naturelle du Caucase, qui culmine à plus de 5 000 mètres et est alors recouvert de glaciers.

Moins d'hommes pendant les glaciations

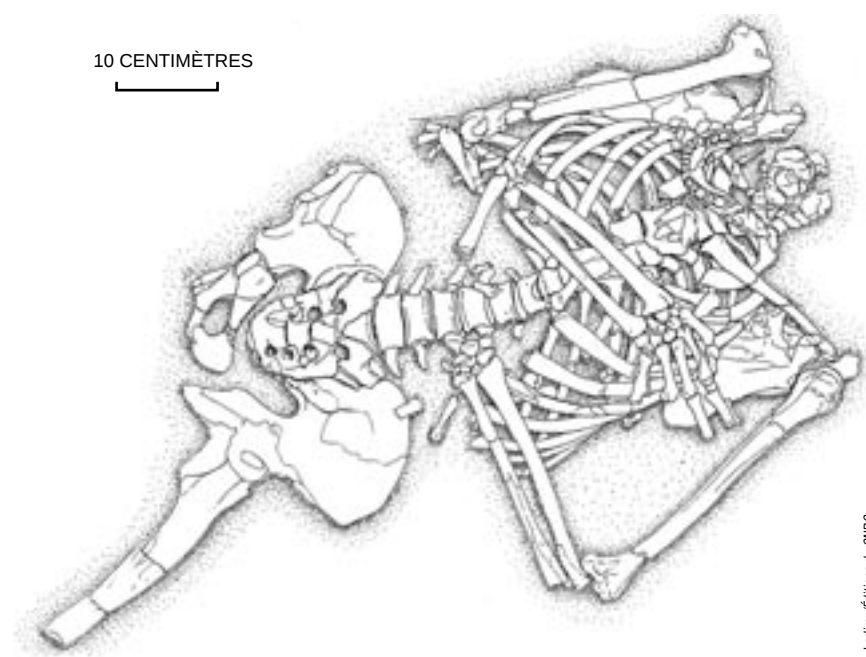
Ces périodes glaciaires n'ont pas seulement isolé les populations européennes, elles les ont aussi considérablement réduites en diminuant la superficie des territoires habitables. Nous en avons la preuve pour les populations d'hommes modernes au cours de la dernière glaciation : au maximum glaciaire, et pendant plusieurs milliers d'années, les territoires situés au Nord des Alpes ont été désertés par les hommes, qui se sont repliés dans des zones refuges. Dans la partie occidentale de l'Europe, elles se réduisent au Sud-Ouest et au Sud-Est de la France, aux contreforts des Pyrénées, et, dans la péninsule ibérique, aux zones proches des côtes. De nouveaux territoires étaient découverts par les régressions marines, mais, même si l'on imagine une concentration de populations dans

les zones habitables, le peuplement européen s'est réduit et s'est divisé en petites unités peu ou pas reliées entre elles. C'est d'ailleurs à partir de ce maximum glaciaire, il y a 18 000 ans, que l'on distingue dans les parties Ouest et Est de l'Europe des différences techniques et culturelles (qui évolueront indépendamment ensuite), ainsi que des faunes différentes.

Si une glaciation a eu de telles conséquences démographiques sur des hommes modernes qui connaissaient l'aiguille à coudre, construisaient des habitats perfectionnés et maîtrisaient bien le feu et ses utilisations, les glaciations précédentes ont *a fortiori* réduit fortement les populations d'hommes archaïques du Pléistocène moyen, qui n'avaient pas la même maîtrise technique. La distribution des gisements archéologiques le confirme : durant les phases froides du Pléistocène, le Sud était plus peuplé que le Nord, et l'Ouest plus que l'Est, l'Europe centrale et la grande plaine du Nord-Ouest européen ayant été en grande partie désertées.

Compte tenu de l'imprécision des datations et du faible nombre de fossiles dont nous disposons pour le Pléistocène moyen, de brèves crises démographiques semblables à celle qui a touché les hommes modernes lors du dernier maximum glaciaire passent totalement inaperçue aux yeux des archéologues. Pourtant, les conséquences évolutives d'un tel événement sont importantes : dans une petite population, le génome des individus fluctue rapidement au hasard, puis une partie seulement des gènes initiaux est préservée et fixée chez tous. Françoise Delpech, de l'Université de Bordeaux 1, a ainsi montré que les populations animales des stades 2 et 6 ont été profondément modifiées : les rennes et les antilopes Saiga du Sud-Ouest de la France ont été séparés des populations d'origine, plus à l'Est, et ont développé des caractères morphologiques particuliers.

Vers le milieu du Pléistocène moyen, à l'époque où apparaissent les caractères spécifiques des Néandertaliens, on observe justement une amplification brutale des fluctuations climatiques. Une glaciation exceptionnelle (le stade 12) isole les populations européennes du reste du monde et, comme nous l'avons vu, les réduit sans doute fortement. L'interglaciaire suivant (le stade 11), exceptionnellement chaud,



D. Ladrail/Éditions du CNRS

6. L'HOMME DE KÉBARA, en Israël, est l'un des Néandertaliens qui ont vécu au Levant il y a entre 80 000 et 50 000 ans. Cette avancée vers le Sud est sans doute liée à des phases de climat très froid en Europe. À l'inverse, lors du fort réchauffement d'il y a 125 000 ans, les Néandertaliens ont étendu leur territoire vers l'Asie Centrale : le plus oriental que nous connaissions a été découvert en Ouzbékistan.

permet probablement une nouvelle expansion géographique. Par la suite, ces populations se sont adaptées à des environnements plus froids qu'aujourd'hui, comme en témoignent leurs proportions corporelles, en particulier au cours des stades 8 et 6, une double glaciation de 150 000 ans, entrecoupée d'un interglaciaire relativement froid, le stade 7.

Tout au long du dernier demi-million d'années, des crises climatiques courtes, mais intenses, ont ainsi favorisé des phénomènes de dérive génique, accentuant le particularisme européen. Une succession de réductions fortes de la population explique la baisse de la diversité morphologique des hommes et la généralisation des caractères néandertaliens originaux.

Le même mécanisme démographique explique peut-être en partie la disparition des Néandertaliens. Il y a environ 40 000 ans, pendant l'interglaciaire du stade 3, un nouveau groupe humain, les Cro-Magnons, fait son entrée en Europe. Les deux populations coexistent environ 10 000 ans mais, à la veille de la glaciation du stade 2, et alors que le climat devient plus rude, la compétition pour l'exploitation des territoires est exacerbée : les hommes modernes, porteurs d'innovations techniques, et sans doute aussi sociales, occupent finalement la quasi-totalité des zones habitables. La crise qui touche alors les Néandertaliens est fatale à cette population, qui disparaît de ses derniers refuges il y a environ 30 000 ans.

Jean-Jacques HUBLIN est codirecteur de l'équipe d'anthropologie biologique du CNRS, au Musée de l'homme.

Les origines de l'homme, Pour la Science, 1989.

Jean-Jacques HUBLIN, *Les peuplements paléolithiques de l'Europe : un point de vue paléobiogéographique*, in *Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France*, 3, 1990.

Jean-Jacques HUBLIN, *The First Europeans*,

in *Archaeology*, pp. 36-44, février 1996.

Jean-Jacques HUBLIN, Fred SPOOR, Marc BRAUN, Frans ZONNEVELD et Silvana CONDEMI, *A late Neanderthal associated with Upper Palaeolithic artefacts*, in *Nature*, vol. 381, pp. 224-226, 16 mai 1996.

Gerhard BOSINSKI, *Les origines de l'homme en Europe et en Asie*, Éditions Errance, Paris, 1996.

Ian TATTERSALL, *Les premiers exodes*, in *Pour la Science*, juin 1997.

