

> nous savons avec certitude qu'*H. sapiens* a croisé ces autres espèces humaines au cours de la transition entre le Paléolithique moyen (350 000 à 45 000 ans avant le présent) et le Paléolithique supérieur (de 45 000 à 12 000 ans avant le présent). Comment? Parce que nous portons leurs gènes en nous.

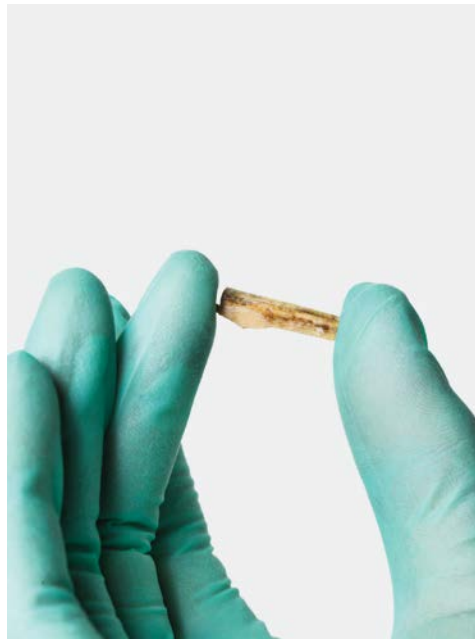
Ce que, en revanche, nous ignorons et aimerions savoir, c'est où et quand nos divers ancêtres se sont croisés, avec quelle fréquence et s'ils se sont influencés culturellement. Certes, nous disposons de nombreux sites archéologiques regorgeant d'outils lithiques et d'autres artefacts datant de la période de transition. Pour autant, la plupart – et c'est le cas de la grotte de Denisova – n'ont pas livré de fossiles humains assez complets pour qu'il soit possible de leur assigner une espèce sur la seule base de leurs caractères osseux. Cette limite a malheureusement empêché de déterminer quelles espèces ont fait quoi, où et quand. Mais c'est en train de changer.

La datation directe d'un fossile nécessite de sacrifier une partie de l'os. Les conservateurs de musées rechignent donc à donner en datation les os relativement complets que contiennent leurs collections. Ils n'ont pas les mêmes réserves s'agissant de débris. Quand des os fossiles sont trouvés en association avec des objets – comme à Denisova et dans bien d'autres sites –, il est particulièrement intéressant de les dater directement. Pour nombre de chercheurs, l'usage d'ornements et d'autres objets symboliques, que l'on tend à considérer comme un trait cognitif moderne, serait propre à *H. sapiens*. Mais certains sont d'avis que les Néandertaliens, et éventuellement d'autres espèces humaines, ont aussi eu ce genre de comportements symboliques. Ces chercheurs envisagent même que ces humains dits archaïques auraient transmis une partie de leurs traditions à *H. sapiens*.

Cet exemple illustre l'importance d'identifier et de dater les fragments osseux trouvés dans les grottes, afin de restituer de façon assez détaillée le cadre chronologique des sites préhistoriques. C'est encore plus vrai s'agissant des sites de la période de transition.

LA GROTTE DE DENISOVA, SITE D'IMPORTANCE MAJEURE

Les archéologues russes fouillent la grotte de Denisova depuis les années 1980. Ce site majeur n'est toutefois devenu vraiment célèbre qu'après 2010. Cette année-là, autour de Johannes Krause, de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste de Leipzig, une équipe de paléogénéticiens est parvenue à extraire et à séquencer l'ADN de Denisova 3, un petit morceau de phalange découvert dans la grotte sibérienne en 2008. Or cet ADN a révélé qu'il appartenait à une espèce humaine



Ce fragment osseux provenant de la grotte de Denisova est le plus récent spécimen à avoir été identifié comme étant celui d'un hominidé grâce à la technique ZooMS.

inconnue, plus proche des Néandertaliens que de nous. La phalange, détruite par l'extraction d'ADN, était celle d'une petite fille. Longtemps nommée «femme X», cette petite fille faisait partie d'une population disparue, les Denisoviens. Depuis cette découverte spectaculaire, on a mis au jour plusieurs dents et os humains, qui se sont révélés soit d'enisoviens, soit néandertaliens.

Ces découvertes illustrent le grand intérêt des données que l'on extrait désormais des (fragments de) fossiles grâce aux techniques paléobiologiques modernes, dont la ZooMS. Ces techniques sont non seulement aptes à révéler des espèces humaines ignorées, mais renseignent aussi sur leurs interactions avec *H. sapiens*. La paléogénétique, par exemple, nous a appris qu'au cours des 100 000 dernières années, les Néandertaliens se sont métissés au moins trois fois avec nos ancêtres *sapiens*. Nous avons également mis en évidence que les Denisoviens se sont métissés non seulement avec les Néandertaliens, mais aussi avec nos ancêtres *sapiens*.

C'est ainsi que l'ancienne vision d'un *H. sapiens* sortant d'Afrique et éliminant tous les autres humains rencontrés sur son chemin est désormais écartée, et remplacée par un scénario bien plus compliqué d'échanges génétiques entre groupes préhistoriques.

Toutefois, la plupart des fossiles découverts à Denisova sont si incomplets que nous ne savons discriminer ceux qui sont humains; les strates du site sont en outre notoirement difficiles à dater. C'est pourquoi, il y a six ans, en tant que spécialistes de la datation, nous avons voulu contribuer aux recherches sur Denisova.

La datation de vestiges du Paléolithique moyen et du Paléolithique supérieur est en

HOMINIDÉS ET HOMININÉS

Ici, le terme d'hominidés regroupe la lignée des humains et des grands singes (humains, orangs-outans, chimpanzés, gorilles et formes disparues). Le terme d'homininés désigne la lignée des formes humaines et préhumaines depuis le dernier ancêtre commun avec les chimpanzés.

À Denisova, tous les vestiges d'hominidés sont minuscules

effet d'autant plus importante que les outils pouvant être associés à des périodes précises manquent dans les sites préhistoriques. Nous avons donc recherché un moyen systématique d'obtenir des chronologies fiables pour Denisova et d'autres sites.

En 2014, lors d'une réunion de l'équipe de Denisova, nous avons eu l'idée d'une nouvelle approche à même de donner une vision nuancée des échanges entre *H. sapiens*, Néandertaliens et Denisoviens. À Denisova, tous les vestiges humains sont minuscules: ils ne mesurent généralement que de 3 à 5 centimètres. Le morceau de phalange de la femme X, par exemple, avait la taille d'une lentille et pesait moins de 40 milligrammes! Beaucoup des vestiges osseux du site ont en effet été réduits en petits morceaux par les prédateurs tels que les hyènes, qui aiment mâchouiller des os quand elles allaitent.

Depuis 2008, plus de 135 000 ossements divers ont été mis au jour à Denisova, mais 95% d'entre eux sont trop fragmentaires pour être identifiés visuellement. En revanche, dans ces fragments, des macromolécules biologiques, dont de l'ADN, sont remarquablement

préservées, grâce aux températures négatives qui règnent toute l'année. De fait, les deux génomes complets les plus anciens jamais retrouvés proviennent tous deux de fossiles de Denisova.

D'où un défi essentiel: construire un crible capable d'identifier des fragments humains perdus dans un amas de milliers de petits os, comme une aiguille l'est dans une botte de foin. Y parvenir signifie aussi obtenir plus de nouvelles données génétiques et chronologiques, voire, comme cela est déjà arrivé, identifier une nouvelle espèce. C'est en menant ces réflexions que nous avons compris que la ZooMS était la bonne technique pour atteindre nos objectifs.

UNE TECHNIQUE D'ANALYSE DU COLLAGÈNE DES OS

La zooarchéologie par spectroscopie de masse pourrait aussi être nommée «prise de l'empreinte peptidique du collagène». Grâce à cette technique, les chercheurs peuvent identifier à partir des protéines d'un os le groupe taxonomique (la famille d'espèces) auquel appartient l'individu dont l'os provient. La taxonomie consiste en effet à classer les organismes vivants en «taxons», c'est-à-dire en groupes définis par une série de traits communs. L'un de ces traits est la composition du collagène.

Rappelons que les collagènes sont des protéines particulières, c'est-à-dire des macromolécules polypeptidiques (les peptides sont des polymères d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons peptidiques), qui jouent dans les organismes animaux un important rôle structural. Le collagène des os, plus particulièrement, est constitué de centaines de peptides, qui varient légèrement ➤



Les deux auteurs et des collègues étudient comment prélever au mieux des échantillons dans les strates de la grotte de Denisova, en vue de les analyser par ZooMS et de les dater par le radiocarbone.