

> espoir, l'ADN étant très bien conservé à Denisova. Avant que Samantha n'emporte le fragment DC1227 à Leipzig dans le laboratoire de Svante Pääbo pour extraction et analyse de l'ADN, nous avons photographié en haute résolution cet os, l'avons scanné aux rayons X et extrait des échantillons en vue de le dater et d'analyser sa composition isotopique.

Quelques semaines plus tard, les résultats de la datation sont arrivés : l'absence de tout carbone radioactif dans l'échantillon signifiait que ce petit bout d'os avait plus de 50000 ans. Puis nous avons appris de Svante Pääbo que son ADN mitochondrial – l'ADN contenu dans les mitochondries (des organites des cellules), qui est transmis par la mère – indiquait que la mère de l'individu était néandertalienne.

L'équipe de Svante Pääbo a aussitôt entrepris d'extraire de DC1227, appartenant à un individu que l'on a désormais dénommé « Denisova 11 » ou « Denny », de l'ADN nucléaire (ADN des noyaux des cellules). Pendant qu'elle se livrait à cette tentative hautement technique et délicate d'obtention de cet ADN tellement plus riche en informations que l'ADN mitochondrial, nous avons décidé de tester notre approche sur un autre site.

ZOO MS SUR LA GROTTÉ DE VINDIJA

La grotte de Vindija, en Croatie, est un site clé pour comprendre le sort des Néandertaliens tardifs en Europe. Les datations par le radiocarbone ont longtemps suggéré que certains d'entre eux étaient encore présents en Europe il y a quelque 30000 ans. Cela laissait donc ouverte la possibilité d'une très longue cohabitation entre *H. neanderthalensis* et *H. sapiens*, puisque ce dernier a pénétré en Europe il y a quelque 43000 ans. Une coexistence aussi longue suggérait que, plutôt que d'être acculés à l'extinction par les humains modernes, les Néandertaliens ont été assimilés au sein de leur population.

Pendant que nous réexaminions la chronologie de Vindija, nous avons pensé qu'il pourrait être intéressant d'étudier avec ZooMS les os non identifiés du site. Les recherches déjà menées sur les os les plus complets de Vindija avaient montré que 80% d'entre eux provenaient d'ours des cavernes. Nous ne nous attendions donc pas à une faune aussi variée que celle de Denisova. C'est Cara Kubiak, une autre de nos étudiantes, qui a pris le projet en charge.

Le 28^e fragment des 383 que nous analysons nous fit la surprise de révéler une signature peptidique hominidée. L'étude paléogénétique que l'équipe de Svante Pääbo a ensuite menée a établi que le fragment correspondant appartenait à un Néandertalien. Curieusement, cet os d'environ 7 centimètres



À gauche : un échantillon de 20 milligrammes doit être prélevé dans chaque minuscule fragment, afin de pouvoir en établir la signature peptidique avec ZooMS. À droite : des échantillons sont en cours de préparation afin de les dater par le radiocarbone.

de long portait des entailles et d'autres traces d'intervention humaine. Les os néandertaliens présentent parfois ces marques, qui pourraient bien être des traces de boucherie, donc de cannibalisme.

Noté Vi-28, ce spécimen s'est révélé jouer un rôle majeur dans nos travaux chronologiques. Dans le passé, les archéologues et les préparateurs croates avaient traité les os de Vindija avec des produits conservateurs afin de les protéger. Malheureusement, cette pratique avait ajouté du carbone aux os, ce qui a rendu très difficile leur datation par le radiocarbone. Mais comme on le croyait non humain, Vi-28 n'avait pas été traité ainsi. Son âge exact pouvait donc être déterminé. La méthode du radiocarbone nous a ainsi indiqué que Vi-28 appartenait à un Néandertalien qui avait vécu il y a plus de 47000 ans.

Publiée en 2017 avec les dates obtenues pour d'autres Néandertaliens, cette découverte montre qu'*H. neanderthalensis* a disparu de Vindija il y a plus de 40000 ans, donc avant l'arrivée d'*H. sapiens* sur le site. Les précédentes datations, qui indiquaient 30000 ans, étaient donc fausses, à cause du carbone ajouté aux os par le traitement de conservation et qui n'avait pu être retiré correctement. ZooMS, une fois de plus, avait prouvé son utilité.

D'autres équipes ont aussi obtenu de très bons résultats avec ZooMS. En 2016, Frido Welker, aujourd'hui au Muséum d'histoire



BIBLIOGRAPHIE

V. Slon *et al.*, **The genome of the offspring of a Neanderthal mother and a Denisovan father**, *Nature*, vol. 561, pp. 113-116, 2018.

T. Deviese *et al.*, **Direct dating of Neanderthal remains from the site of Vindija Cave and implications for the Middle to Upper Paleolithic transition**, *PNAS*, vol. 114 (40), pp. 10606-10611, 2017.

F. Welker *et al.*, **Palaeoproteomic evidence identifies archaic hominins associated with the Châtelperronian at the Grotte du Renne**, *PNAS*, vol. 113 (40), pp. 11162-11167, 2016.

S. Brown *et al.*, **Identification of a new hominin bone from Denisova Cave, Siberia using collagen fingerprinting and mitochondrial DNA analysis**, *Scientific Reports*, vol. 6, article 23559, 2016.

naturelle du Danemark, et ses collègues ont utilisé la technique pour identifier 28 fossiles d'homininés parmi les fragments d'os d'espèce indéterminée de la grotte du Renne, en Bourgogne. Il y a plusieurs décennies, des chercheurs y ont en effet découvert des os néandertaliens en association avec un ensemble d'objets étonnamment élaborés, dont des outils en os ainsi que des pendentifs et d'autres ornements corporels, autant d'artefacts de la culture châtelperronienne censée avoir marqué la transition entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur en Europe occidentale.

Cette découverte allait à l'encontre de l'idée ancienne selon laquelle seul *H. sapiens* avait pu produire de tels objets. La controverse est allée bon train, entre ceux qui croyaient les Néandertaliens vraiment associés à ces objets perfectionnés et ceux qui avançaient qu'une perturbation des strates archéologiques du site était à l'origine d'un mélange dans les mêmes couches d'os néandertaliens et d'objets plus récents dus à *H. sapiens*.

Les 28 fragments osseux que Frido Welker et ses collègues ont identifiés comme humains grâce à ZooMS venaient tous clairement de la même couche que les outils et ornements perfectionnés. Quand ils ont séquencé les os, les résultats étaient sans équivoque : les spécimens étaient néandertaliens et non *sapiens*. Ainsi, ZooMS a clairement mené à la conclusion que l'industrie châtelperronienne et d'autres industries de la période de transition étaient bien le fait de Néandertaliens : les capacités cognitives de ces derniers étaient supérieures à l'idée que l'on s'en faisait.

DE MÈRE NÉANDERTALIENNE ET DE PÈRE DÉNISOVIE

Pendant toute la durée de nos travaux à Vindija, nous avons continué à analyser des échantillons de Denisova dans l'espoir que nous pourrions ajouter au corpus de « nouveaux » fossiles humains. Nos efforts ont payé. Nous avons découvert deux fragments supplémentaires associés à des hominidés : DC3573, qui s'est révélé appartenir à un Néandertalien d'il y a plus de 50000 ans, et DC3758, un os vieux de 46000 ans dans lequel l'ADN ancien n'avait malheureusement pas été préservé. Plus de 5000 fragments osseux nous ont à ce jour livré un total de 5 os d'homininés qui, sans ZooMS, seraient probablement restés à jamais ignorés.

Toutefois, le résultat le plus passionnant dû à cette technique devait encore venir. En mai 2017, nous nous sommes rendus à l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste afin de rencontrer Matthias Meyer et Janet Kelso, des membres éminents du laboratoire de Svante Pääbo. La rencontre était

organisée afin de nous informer sur ce qu'il en était de Denisova 11. L'extraction d'ADN nucléaire s'était-elle révélée possible ? Avait-elle livré des informations sur cet individu ?

Il n'arrive pas souvent en science d'apprendre quelque chose de renversant, mais c'est exactement ce que Matthias Meyer et Janet Kelso nous réservaient. L'ADN nucléaire, nous ont-ils appris, était curieusement composé : la moitié correspondait à un Néandertalien, et l'autre moitié semblait provenir d'un Denisovien. Ils pensaient que Denisova 11 était un hybride à 50/50. Pour exclure toute possibilité d'erreur, l'équipe était en train de refaire les tests pour vérifier cet extraordinaire résultat.

Quelques mois plus tard, les chercheurs ont confirmé ce résultat initial. L'ADN mitochondrial ne nous avait révélé que la moitié du tableau : l'individu humain que nous avions identifié était bien une métisse dont la mère était néandertalienne et le père denisovien – en d'autres termes, un hybride de première génération, comme disent les généticiens. L'équipe de Denisova a publié cette incroyable découverte en septembre 2018, dans la revue *Nature*.

Nous savons donc grâce à l'ADN que Denisova 11 était un individu féminin qui vécut il y a entre 90000 et 100000 ans. Une analyse de la densité osseuse du fragment à l'aide de notre scanner a permis à notre collègue Bence Viola, de l'université de Toronto, d'estimer que Denisova 11 était âgée d'au moins 13 ans à sa mort. Son père denisovien avait lui-même un lointain ancêtre néandertalien, qui vécut plusieurs centaines de générations avant lui.

Nous ne pourrions bien sûr jamais savoir comment ces unions mixtes se produisaient pendant la Préhistoire, mais nous savons avec certitude qu'elles ont bien eu lieu. Nous ne pouvons pas davantage établir de quelle façon Denisova 11 est morte, mais nous savons que ses restes ont probablement été déposés dans les sédiments de la grotte par un prédateur, une hyène peut-être.

Denisova 11 est-elle morte parmi les siens, qui l'ont ensuite enterrée lors d'une cérémonie, pour être ensuite déterrée par une hyène ? Ou bien a-t-elle été tuée par un prédateur ? Pendant des dizaines de millénaires, ce minuscule morceau de son corps est resté intact dans l'obscurité de la grotte, et il aurait bien pu y rester très longtemps encore. Les techniques d'avant-garde de la zooarchéologie par spectroscopie de masse, de la spectrométrie de masse par accélérateur appliquée à la datation et du séquençage de l'ADN fossile ont permis d'établir quelques éléments de sa vie. Ce succès nous porte à espérer que ZooMS nous livrera encore de très nombreux autres secrets cachés dans les ossements. ■