

Numérisation des restes humains néandertaliens belges Préservation patrimoniale et exploitation scientifique

Patrick SEMAL, Michel TOUSSAINT, Bruno MAUREILLE, Hélène ROUGIER, Isabelle CREVECOEUR, Antoine BALZEAU, Linda BOUCHNEB, Stéphane LOURYAN, Nora DE CLERCK & Léon RAUSIN

Résumé

Les progrès récents de l'imagerie médicale et l'utilisation de μ -scanners de plus en plus précis autorisent la réalisation de numérisations à haute résolution des fossiles humains. Les reconstructions virtuelles et les reproductions obtenues, notamment par stéréolithographies, sont telles qu'elles peuvent aujourd'hui se substituer aux pièces originales pour de nombreuses études et présentations muséologiques limitant ainsi les manipulations directes. La possibilité d'accéder aux structures internes des pièces permet également d'explorer de nouvelles approches scientifiques non destructives. Un programme complet de numérisation des restes néandertaliens belges a été entrepris dans le cadre du projet européen TNT et de différents programmes de numérisation et de recherche nationaux. La mise à disposition de ces données virtuelles par les conservateurs permettra d'optimiser l'exploitation scientifique des fossiles tout en favorisant la préservation des originaux.

Mots-clés : Anthropologie, Néandertalien, *Computed-Tomography*, μ -CT, réalité virtuelle, collections, préservation du patrimoine.

1. Introduction

Les restes humains fossiles sont très rares et doivent, de fait, faire l'objet d'attentions particulières afin de leur assurer une conservation à long terme, chaque manipulation représentant un risque réel de dommages irréparables. La limitation des manipulations des originaux et la conservation dans des conditions optimales de température, de lumière et d'humidité peuvent être une réponse à cet impératif. Toutefois, l'interdiction totale de l'accès aux fossiles est en contradiction avec leur raison d'être, c'est à dire leur exploitation scientifique et la plus-value culturelle qu'elle engendre. La rareté des spécimens, l'évolution des techniques, la diversité des problématiques et bien d'autres éléments expliquent les demandes fréquentes d'accès pour étude, acquisitions selon diverses méthodologies, réalisation de prélèvements ou de moulages. Un fossile vit s'il est étudié et accessible par l'ensemble de la communauté scientifique, sinon il risque de disparaître dans un conservatoire pour des décennies.

Il est de la responsabilité des conservateurs de collections de gérer au mieux ces contraintes apparemment antagonistes et de trouver un équilibre entre la préservation et la mise en valeur scientifique et/ou muséologique des précieux fossiles.

Le projet européen TNT (*The Neanderthal Tools*) (<http://www.the-neanderthal-tools.org/>) propose une solution et des outils technologiques afin de rencontrer ce double impératif : mieux conserver et mieux exploiter. Sélectionné en 2004 dans le cadre du programme Digicult du sixième programme cadre européen, TNT regroupe huit partenaires techniques, scientifiques et

médiatiques. L'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB) est le partenaire belge de ce projet. L'objectif est de développer la plus grande plate-forme scientifique collaborative relative au peuplement néandertalien et ce tant au niveau anthropologique qu'archéologique ou environnemental. Une base de données accessible via Internet centralise l'ensemble des informations ainsi que des modèles 3D de fossiles néandertaliens provenant, jusqu'ici, de France, de Belgique, d'Allemagne et de Croatie. Chaque partenaire scientifique (*Neanderthal Museum*, IRSNB, Université de Poitiers et Musée d'Histoire naturelle de Croatie) a entrepris la numérisation complète des fossiles néandertaliens auxquels il a accès afin de les déposer dans la base de données NESPOS (*Neanderthal Studies Professional Online Service*). Des espaces publics et privés au sein de la base de données autorisent une gestion complète des informations selon des règles d'accès définies par les conservateurs de collections.

2. Les Néandertaliens belges

Les découvertes anthropologiques faites en Belgique au XIX^{ème} siècle ont eu un rôle prépondérant dans le développement des idées relatives à la « genèse » et l'évolution de l'Homme (Toussaint, 2001). Les découvertes de Ph.-Ch. Schmerling, notamment celles des crânes d'Engis en 1829-1830 (Schmerling, 1833-1834) ont jeté les bases de l'acceptation de l'idée même d'Hommes fossiles contemporains des grands mammifères disparus. Elle ne sera réellement admise qu'un quart de siècle plus tard à la suite des

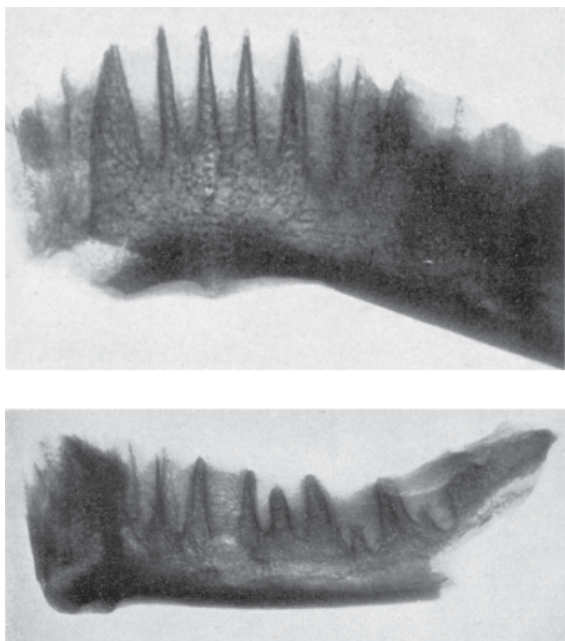


Fig. 1 — Radiographies de la mandibule de *La Naulette* en 1903 par O. Walkoff.



Fig. 3 — Radiographies des fémurs de Spy et de Fonds-de-Forêt. De gauche à droite : Spy 16, Spy 8 et Fonds-de-Forêt (St. Louryan, ULB).

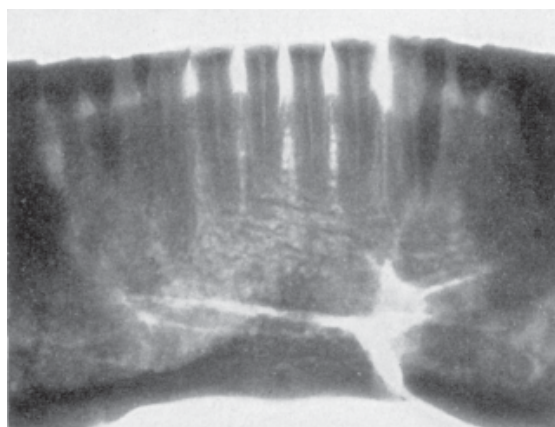


Fig. 2 — Radiographie de la mandibule de Spy I en 1903 par O. Walkoff.

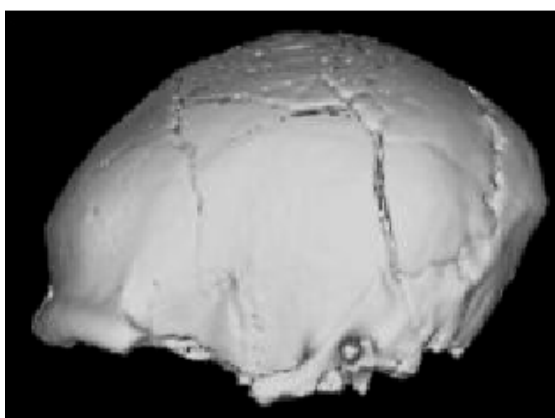
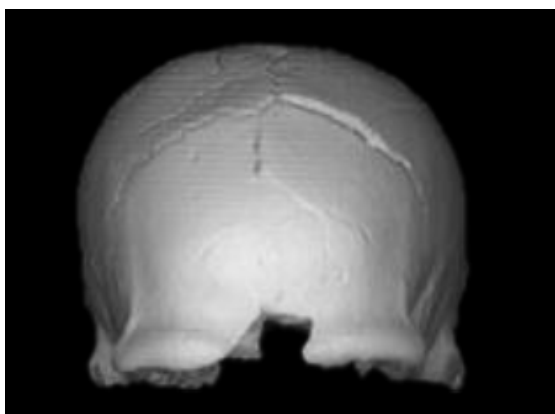


Fig. 4 — Scanographie de Spy II : Reconstruction 3D du crâne de Spy II en vues antérieure et latérale gauche (St. Louryan, ULB 1994).

travaux de Boucher de Perthes, de Lyell, de Darwin et de nombre de leurs contemporains. Deux autres sites karstiques belges ont ensuite contribué à montrer, et c'est la seconde phase du développement de la paléoanthropologie, que les Hommes fossiles les plus anciens présentaient des caractères anatomiques distincts de ceux des Hommes modernes. La mandibule découverte en 1866 à *La Naulette* (Dupont, 1866) a, à cet égard, été à l'époque de sa découverte, considérée comme le premier élément en faveur des théories de Darwin. La fouille de M. De Puydt, M. Lohest et J. Fraipont à la grotte de Spy en 1886 (De Puydt & Lohest, 1886, 1887; Fraipont & Lohest, 1887) a, enfin, démontré l'existence de l'homme de Néandertal, encore largement contestée suite à la découverte effectuée sur le site éponyme du taxon en 1856. Notons que la publication de Fraipont et Lohest (1887) est la première monographie relative aux Néandertaliens. Elle est, en effet, antérieure à celle de Schaaffausen sur la découverte de Néandertal (1888).

D'autres découvertes plus récentes ont conforté la place privilégiée occupée par la Belgique dans la problématique de l'étude des Néandertaliens. En 1895, un fémur est découvert aux grottes de Fonds-de-Forêt, à Trooz (Tihon, 1898; Twiesselmann, 1961).

Depuis 1993, la grotte *Scladina*, à Andenne, livre les restes crâniens et dentaires d'un enfant d'une dizaine d'années éparpillés dans une couche datée d'environ cent mille ans (Toussaint *et al.*, 1998). En 1997, une dent a été mise au jour dans une couche moustérienne de la grotte *Walou*, à Trooz (Draily *et al.*, 1999).

D'autres fossiles néandertaliens inédits provenant de fouilles anciennes ou récentes doivent s'ajouter à cet inventaire. Citons une incisive supérieure et un fragment de mandibule découverts par É. Dupont à Goyet (1872) ou la molaire déciduale exhumée en 1984 au *Trou de l'Abîme* à Couvin (Cattelain & Otte, 1985). Enfin, de nombreuses nouvelles pièces « néandertaliennes » ont été identifiées lors de la réétude des collections de la grotte de Spy menées dans le cadre des projets MARS (Semal *et al.*, 2004a), TNT (Semal *et al.* 2004b) et Action 1 de l'IRSNB (Rougier *et al.*, 2004).

Tous ces fossiles, tant les découvertes récentes que les grands classiques du XIX^{ème} siècle, font partie des pièces à inclure dans toute nouvelle étude relative à la problématique néandertalienne. À l'opposé de nombreuses collections étrangères qui sont difficilement accessibles, les collections de Spy, de *La Naulette*, d'Engis et de Fonds-de-Forêt ont toujours été ouvertes à la communauté scientifique internationale. Cette tradition d'accueil reste valable pour les découvertes les plus récentes puisque même les fossiles de Sclayn, dont l'étude monographique est encore en cours,

peuvent être intégrés à des études plus générales, sous certaines conditions. À nouveau, cette politique de « libres accès et diffusion » pose le problème de la conservation des originaux dont les impératifs de préservation sont en opposition avec une étude scientifique soutenue.

C'est dans cette volonté d'allier préservation des fossiles originaux et amélioration de l'exploitation scientifique de ces derniers que l'IRSNB, dans le cadre du projet TNT, et la Direction de l'Archéologie de la Région wallonne ont entrepris un programme complet de numérisation à l'aide de scanners médicaux de dernière génération et/ou de μ -scanner.

3. Techniques radiographiques de numérisation et d'enregistrement des fossiles

L'utilisation de la radiographie dans l'étude des fossiles humains est quasi contemporaine de l'invention de la technologie. Quelques semaines après sa découverte accidentelle par Konrad Wilhelm von Roentgen le 8 novembre 1895, récompensée en 1901 par le premier prix Nobel de Physique, le dentiste O. Walkhoff réalise la première radiographie dentaire. Au début du XX^{ème} siècle, ce dernier entreprend l'étude de fossiles humains. D. Gorjanovic-Kramberger se rend chez O. Walkhoff pour apprendre la technique et l'appliquer aux fossiles de Krapina (Gorjanovic-Kramberger, 1902). En 1903, O. Walkhoff publie l'examen radiologique de la mandibule de *La Naulette* et des mandibules et maxillaires de Spy (Walkhoff, 1903). Cette étude inclut des radiographies des pièces analysées (fig. 1 et fig. 2), ainsi que des photographies qui sont à notre connaissance les plus vieux clichés détaillés des mandibules et maxillaires de Spy. Très vite, l'utilisation de la radiographie va se généraliser dans l'étude des fossiles humains. Ce type de données fera dans certains cas l'objet de publications spécifiques, comme le catalogue des fossiles humains (Skinner & Sperber, 1982) ou celui de Krapina (Kricun *et al.*, 1999). Une série de radiographies des os longs de Spy et de Fonds-de-Forêt a été réalisée durant les années quatre-vingt (Louryan *et al.*, 1985) (fig. 3). De nouvelles radiographies seront ensuite réalisées, par St. Louryan, à la demande de E. Trinkaus (Trinkaus & Ruff, 1989).

Les techniques plus récentes de *Computed Tomography* ont été développées par G. N. Hounsfield et A. McLeod Cormack au début des années septante (e.g. Hounsfield, 1973), ce qui leur a valu le prix Nobel de Médecine en 1979. Comme lors de l'invention de la radiographie, la technique sera très vite appliquée aux spécimens fossiles. En 1976, la première étude tomographique de l'os temporal de Spy est publiée



Fig 5 — Reconstruction du crâne et de la mandibule de Spy I réalisée par Ch. Zollikoffer pour les animations multimédias de la salle de Préhistoire de l'IRSNB.

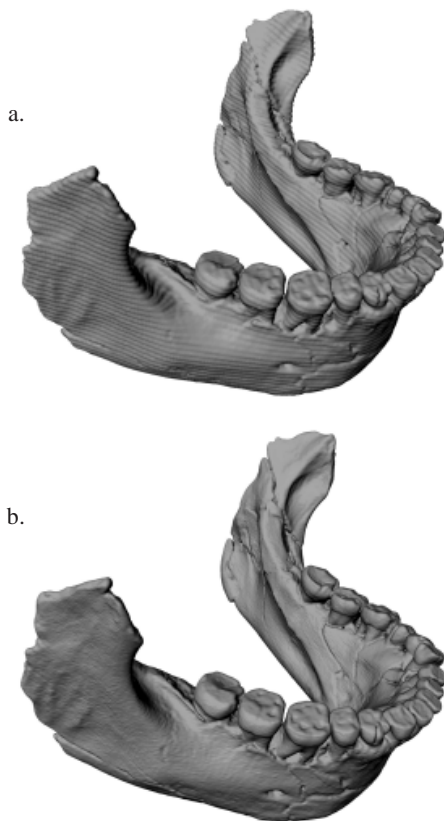


Fig. 6 — Comparaison de la résolution de deux reconstructions de la mandibule de Spy I. a. 2003, un scanner Siemens Volume Zoom 4 barrettes et reconstruction à 0,5 mm; b. 2005 scanner Siemens Somaton 64 barrettes et reconstruction à 0,1 mm. Reconstruction à l'aide d'Amira® 3.1 sans lissage (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

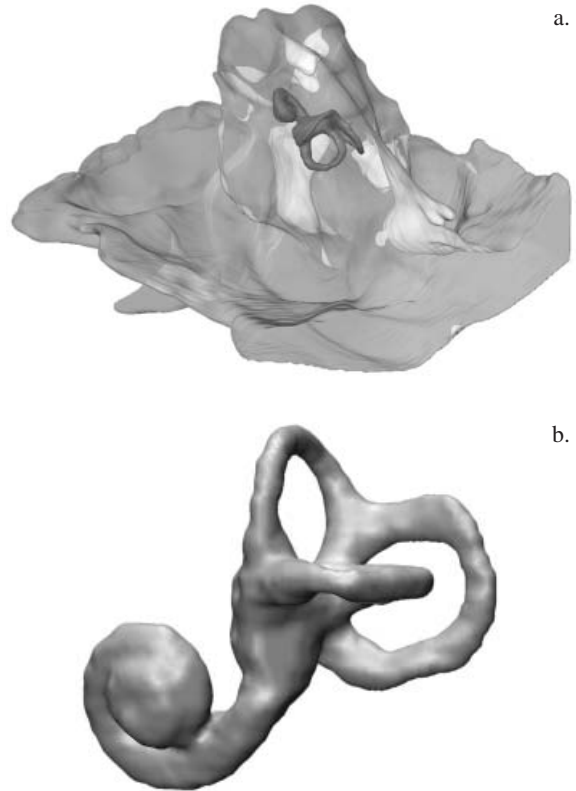


Fig. 7 — Étude de l'oreille interne : a. temporal gauche de Spy I avec reconstruction des canaux semi-circulaires; b. reconstruction des canaux semi-circulaires et de la cochlée de l'os temporal gauche de Spy II en vue latérale gauche. Reconstruction à l'aide d'Amira® 3.1 (L. Bouchneb, IRSNB/TNT 2004).

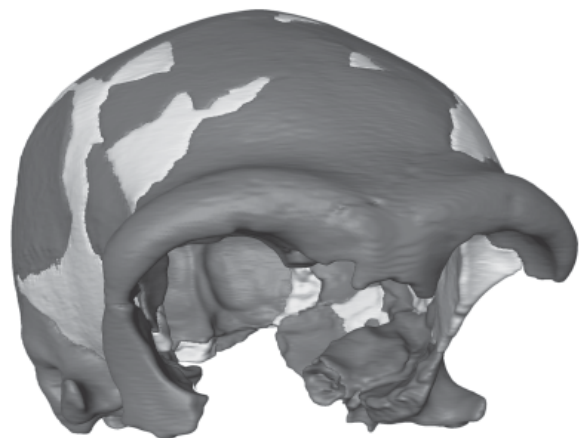


Fig. 8 — Reconstruction du crâne de Spy I. Identification de l'os (en sombre) et du plâtre (en clair). Reconstruction à l'aide d'Amira® 3.1 (A. Balzeau, IRSNB/TNT 2005).

dans le *Journal belge de radiologie* (Hotton *et al.*, 1976). En 1983 ou 1984, une première scanographie du crâne de l'enfant d'Engis est réalisée à l'Hôpital Saint-Pierre de l'ULB mais aucune publication ne suivra cette première acquisition, à l'inverse de celle du fémur de Trinil (Hotton *et al.*, 1984a, 1984b). L'intérêt de l'utilisation de la scanographie comme technique d'investigation pour l'étude de fossiles a été très vite démontrée (Maier et Nkini, 1985; Vannier *et al.*, 1985; Nkini, 1986; Ruff & Leo, 1986). En particulier, les structures internes des fossiles, inaccessibles par les méthodes classiques, peuvent être enfin réellement étudiées. Citons par exemple les morphologies coronaires, maxillofaciales et gnathiques des hominidés de la formation de Hadar (Ward *et al.*, 1982); la forme du canal du nerf facial (Wind, 1984), le système auditif, les canaux semi-circulaires et la pneumatisation des os (Zonneveld & Wind, 1985; Zonneveld, 1987), ou la structure osseuse de restes post-crâniens (Tate & Cann, 1982; Ruff, 1987). Toutefois, si la résolution et la qualité des images de l'époque permettent d'aborder des problématiques scientifiques, elles n'autorisent pas une numérisation « patrimoniale » et ne peuvent se substituer à l'original ou même à un moulage de bonne qualité. On pourra se référer à deux articles de synthèse qui présentent de manière plus détaillée le développement des techniques d'imagerie médicale dans les études paléanthropologiques (Spoor *et al.*, 2000a, 2000b).

4. Numérisation des restes néandertaliens belges par Computed Tomography médicale

Durant les années nonante, plusieurs acquisitions des crânes de Spy I et Spy II sont réalisées par le Pr. St. Louryan de l'ULB. La première est effectuée en 1994 afin de tester les possibilités de la méthode sur les fossiles (Louryan *et al.*, 1995) (fig. 4), la seconde est réalisée en 1995 à la demande de J.-J. Hublin avec des reconstructions plus détaillées des rochers (1995). Une nouvelle acquisition de l'ensemble des ossements crâniens (fig. 5) et post-crâniens néandertaliens de l'IRSNB et de l'Université de Liège est ensuite effectuée avec Ch. Zollikoffer et M. P. de León, en 1997, mais l'exploitation scientifique restera limitée à cause d'un problème d'importation des données brutes (*raw-data*) du scanner Siemens sur une autre console. Chaque scanographie a permis une amélioration de la qualité des images et de la résolution spatiale des reconstructions. Le fossile d'Engis 2 sera également scanné en 1999 dans le cadre d'une véritable problématique scientifique relative à la suture prémaxillaire (Maureille, 1994). L'analyse scannographique permettra de mettre en évidence une possible croissance

prolongée de la région médiale de la face chez les enfants néandertaliens par rapport aux Hommes actuels (Maureille & Bar, 1999).

De nouvelles acquisitions, des crânes et de la mandibule de Spy sont réalisées avec une reconstruction à 0,5 mm en 2003 dans le cadre d'études spécifiques. La mandibule de Sclayn est également numérisée en 2004 en vue de la publication originale. Même si la qualité est largement supérieure aux acquisitions précédentes, elles restent toutefois insuffisantes pour effectuer des modèles 3D de grande qualité.

En avril 2004, Siemens commercialise une nouvelle génération de scanner équipé de 64 barrettes. Outre la qualité des images obtenues et une résolution spatiale inégalée pour les scanners médicaux, les consoles de ces nouveaux scanners permettent de reconstruire des coupes très rapidement. Ainsi, nous avons pu effectuer de nouvelles acquisitions à l'aide de cet équipement début 2005. Si la résolution des coupes de 0,6 mm n'est pas meilleure par rapport aux acquisitions précédentes, l'incrément de 0,1 mm dans les reconstructions permet d'obtenir des modèles 3D de qualité nettement supérieure sans utiliser de lissage particulier (fig. 6).

C'est cette technologie que nous avons employée dans le cadre du projet TNT pour numériser les fossiles de Spy, de Fonds-de-Forêt et de *La Naulette*. Les numérisations des fossiles d'Engis ont été effectuées au CHR de la Citadelle en collaboration avec le Pr. L. Rausin.

Les conditions taphonomiques rencontrées dans les grottes belges sont reconnues pour avoir permis une excellente conservation des ossements, tant au niveau de la fraction organique (protéines et ADN) que de la structure osseuse. Le degré de minéralisation de ces ossements fossiles est supérieur à celui des ossements non fossilisés, mais ne nécessite pas de modifier les paramètres du scanner comme c'est parfois le cas pour des ossements plus anciens et/ou plus minéralisés. Lors de nos applications, nous avons testé plusieurs protocoles de reconstruction en fonction des informations théoriques, mais aussi et surtout en fonction de la qualité des images obtenues. Plusieurs protocoles ont été testés afin de définir les réglages optimaux, en fonction des limitations techniques de la méthode d'imagerie et de nos attentes spécifiques. C'est ainsi que le protocole spécifique de l'os temporal a été utilisé pour les crânes et les os longs, alors que le protocole *dental* a été préféré pour les mandibules et les petits ossements car le précédent produisait des artéfacts en étoile pour les petites pièces osseuses comme les os des mains et des pieds.

Les reconstructions, selon une matrice de 512 x 512 pixels, ont été effectuées tous les 0,3 ou 0,2 mm pour les crânes et os longs et tous les 0,2 et 0,1 mm

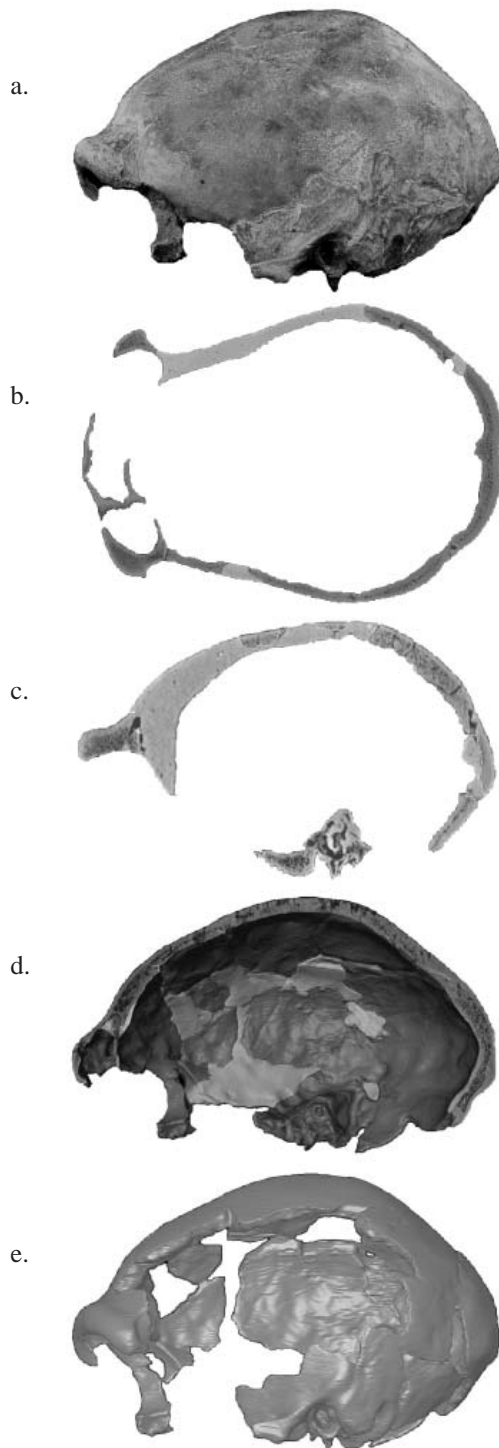


Fig. 9 — Illustration du protocole de segmentation de l'os fossilisé et du plâtre à partir des données scanographiques sur le fossile Spy I. a. fossile original en vue latérale gauche; b. et c. coupes scanographiques longitudinale et para-sagittale, illustrant l'os et le plâtre (en gris clair) qui ont été virtuellement délimités à l'aide d'Amira ® 3.1; d. coupe sagittale médiane et reconstruction 3D de la moitié droite du fossile et du plâtre. e. reconstruction 3D en vue latérale gauche du fossile de Spy I sans le plâtre (A. Balzeau & P. Semal, IRSNB/TNT 2005).



Fig. 10 — μ -scanner de la première prémolaire supérieure droite de Spy II (Spy 113a) et projections radiographiques permettant de visualiser et mesurer l'épaisseur de l'émail dentaire à l'aide d'Amira ® 3.1 (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

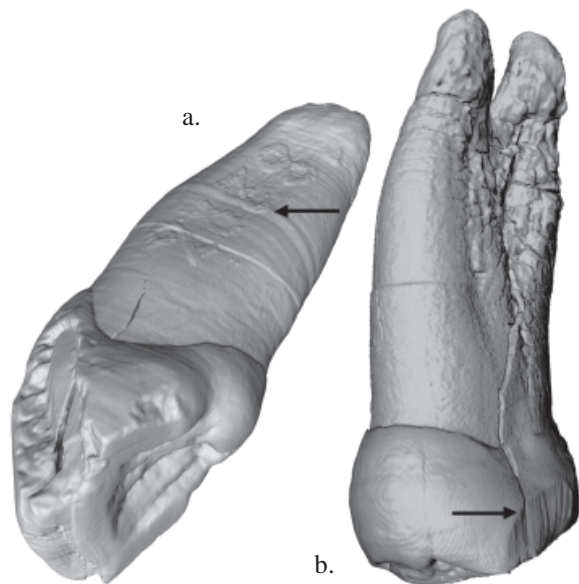


Fig. 11 — μ -scanner : a. reconstruction de l'incisive supérieure latérale gauche de Goyet, on remarque le relief de l'encre utilisée pour marquer la pièce; b. reconstruction de la première prémolaire supérieure droite de Spy II (Spy 113a), on distingue les sillons subverticaux sur la facette de contact. Reconstruction à l'aide d'Amira ® 3.1 (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

pour les petits ossements. La taille de la fenêtre de reconstruction varie entre 25 et 10 cm, ce qui permet d'obtenir une taille d'environ 0,5 mm par pixel pour les crânes et d'environ 0,2 mm pour les petites pièces osseuses. Des acquisitions ont été réalisées dans plusieurs plans afin d'obtenir la meilleure résolution dans les différentes orientations. Les données ont été sauveées au format DICOM ce qui garantit leur compatibilité avec toutes les applications spécialisées.

La qualité des images obtenues lors de ces acquisitions et l'état exceptionnel de préservation des fossiles analysés sont tels que des analyses scientifiques précises ont pu être menées sur la structure fine des canaux semi-circulaires des individus de Spy et d'Engis (Bouchneb *et al.*, 2005) (fig. 7), la variation de l'épaisseur et des proportions des os du crânes dans le plan sagittal (Balzeau *et al.*, 2005) ou encore la μ -structure de l'os spongieux au niveau du plateau tibial (Mazurier *et al.*, 2005a, 2005b; Mazurier & Macchiarelli, comm. pers).

De même, les crânes de Spy I et Spy II ont pu être virtuellement nettoyés par A. Balzeau de tout ce qui n'était pas osseux (fig. 8). Cela permet de mieux comprendre le travail de restauration effectué par Fraipont et Lohest (1887) et offrira la possibilité de tester le remontage de pièces inédites provenant des fouilles de l'IRSNB à Spy durant les années cinquante. La figure 9 résume le processus de déplâtrage (virtuel) adopté. Les images DICOM sont travaillées, à l'aide de Amira® 3.1, de manière à créer plusieurs matériaux séparés par leur texture et leur densité. La segmentation ne peut être effectuée de manière automatique car le plâtre et l'os fossilisé ont des valeurs de densité qui peuvent varier et dont les valeurs moyennes sont très proches. De plus, les interfaces entre os et plâtre ne sont pas toujours simples à identifier. En effet, les valeurs Hounsfield peuvent ne pas être discriminantes. Par ailleurs, dans certaines régions, le plâtre a non seulement été utilisé pour reconstituer les parties manquantes mais aussi pour consolider directement la matière osseuse et peut ainsi s'y trouver mêlé. Le détournage des matériaux nécessite donc de travailler dans les différents plans de reconstruction, en utilisant des valeurs de seuillage adaptées, et de vérifier chaque étape sur le fossile original.

5. Numérisation des restes néandertaliens belges par μ -computed Tomography

Si la résolution obtenue à l'aide des scanners médicaux est satisfaisante pour un grand nombre de sujets d'étude et pour la réalisation de modèles 3D virtuels, elle reste insuffisante pour une étude détaillée de petites pièces composées de différents tissus comme

les dents. L'utilisation de la μ -computed Tomography permet alors d'obtenir une résolution incomparable. Dans notre cas, les dents de Spy (fig. 10), Goyet, Engis, Sclayn et Couvin, ainsi que certaines petites pièces osseuses ont été μ -scannées dans le laboratoire de μ -computed Tomography de l'Université d'Anvers, dirigé par le Pr. N. De Clerck à l'aide d'un SkyScan-1072 ou -1076 High-resolution micro-CT system. La résolution obtenue est de 18 μ m pour les dents isolées et de 18 ou 36 μ m pour les dents incluses dans un fragment osseux. Si la résolution est impressionnante (fig. 11), le nombre de coupes obtenues l'est aussi puisqu'une reconstruction produit plus de 1.000 images de 1.000 x 1.000 pixels pour une dent. Ceci rend la technique inappropriée pour des ossements de plus grande taille en raison des limites actuelles des stations informatiques et des logiciels existants dans la majorité des structures de recherches travaillant en Paléanthropologie. De plus, la taille maximum des objets pouvant être numérisés par cet équipement n'excède pas 6 cm de diamètre et 20 cm de longueur.

Nous projetons de réaliser des μ -scans des crânes de Spy I et II ainsi que de la mandibule de Spy I à l'aide d'un μ -scanner Digisens en collaboration avec le Pr. R. Macchiarelli de l'Université de Poitiers et ce dans le cadre du projet TNT.

Le tableau 1 résume les différentes pièces numérisées à l'aide des scanners médicaux et/ou μ -scannées en date du 20 novembre 2005 ainsi que le nombre de coupes, la résolution des pixels, l'épaisseur de coupe et l'incrément de la reconstruction. Le reste des pièces de Spy, de Sclayn et de *La Naulette* sera scanné ou μ -scanné pour le début 2006.

6. Difficultés techniques dans le traitement des données

Plusieurs difficultés techniques et éthiques existent dans l'exploitation et la diffusion des données digitales à haute résolution. D'un point de vue technique, la non standardisation des données brutes (*raw-data*) et la très grande taille des données obtenues est une limite réelle. A titre d'exemple, un petit fragment de mandibule comprenant 3 dents μ -scannées à 18 μ m correspond à près de 12 Gb de données. Un crâne complet ou un os long intégralement numérisé à cette résolution fournirait une quantité de données inutilisable à ce jour. Hormis de petites pièces comme les dents ou les petits os, l'ensemble des données à haute résolution d'un os ne peut être traité intégralement et doit être réduit à une résolution inférieure ou simplifiée. De plus, le traitement de ce type de données nécessite des connaissances spécifiques et l'emploi de logiciels adaptés, souvent difficiles d'utilisation.

Afin de favoriser l'utilisation de ces données

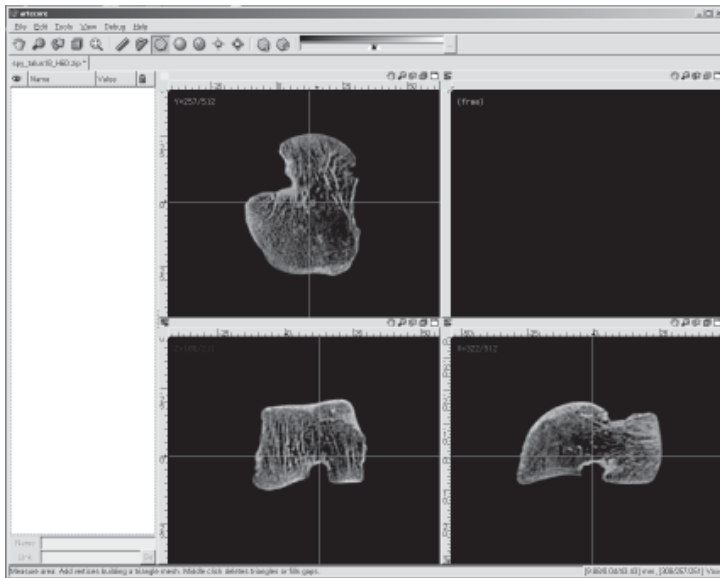


Fig. 12 — ARTECORE : *computed Tomography* du talus gauche Spy 18. Vues dans les 3 axes (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

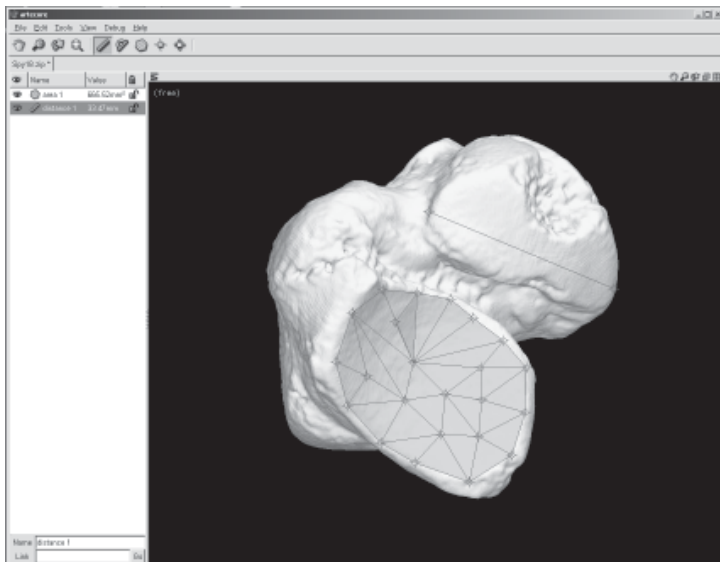


Fig. 13 — ARTECORE : modèle STL du talus gauche Spy 18. Vue libre et mesure d'une surface. (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

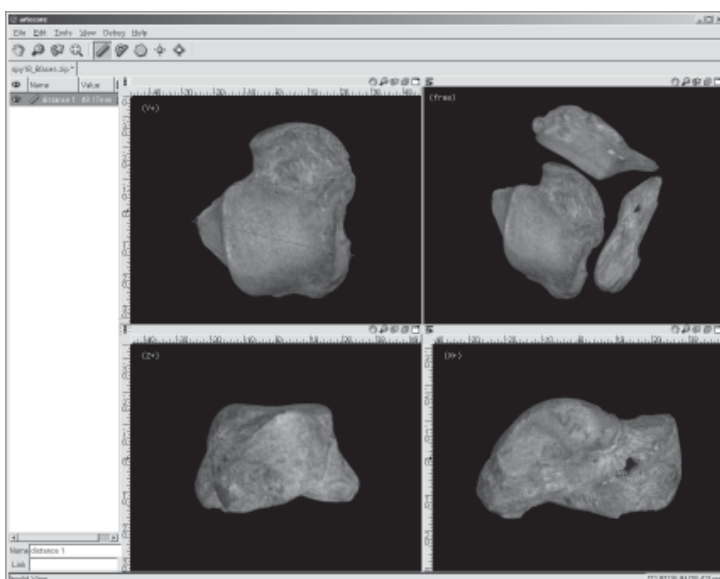


Fig. 14 — ARTECORE : modèle 6 faces du talus gauche Spy 18. Vues dorsale, distale et médiale ainsi qu'une vue pseudo 3D (P. Semal, IRSNB/TNT 2005).

par la communauté scientifique, nous avons réalisé des modèles 3D au format STL à l'aide du logiciel AMIRA ® 3.1 et/ou de l'application ARTECORE du projet TNT. À l'inverse des applications spécialisées, ARTECORE est d'une utilisation très simple et permet de visualiser et d'étudier les données numérisées sous forme de données scanner et μ -scanner (DICOM, TIFF et PNG) (fig. 12), de modèles 3D polygonaux (STL et X3D) (fig. 13) ou de modèles simplifiés obtenus à l'aide de 6 photographies digitales (PNG et JPG) (fig. 14). L'utilisateur peut alors définir des points remarquables (*landmarks*) et effectuer des mesures de distances, d'angles et de surfaces. Pour les données tomographiques, des volumes peuvent également être définis à l'aide d'une segmentation automatique ou manuelle des images. L'ensemble des points et des mesures peut être exporté dans un fichier externe ce qui permet de les réutiliser dans une autre application informatique et d'assurer la traçabilité des mesures. La validation des outils ARTECORE développés dans le cadre du projet TNT est en cours sur base de la comparaison de mesures standardisées sur les modèles virtuels, sur des moulages et sur les fossiles originaux. Les différents types d'acquisitions scanners et μ -scanners sont testés afin de déterminer au mieux les limites de l'approche virtuelle.

7. Problèmes éthiques

Des difficultés éthiques se surimposent aux problèmes techniques qui viennent d'être évoqués. En effet, les législations relatives aux copyrights et à la propriété intellectuelle régissent également les fossiles numérisés. Les règles d'utilisation des données et des images sont donc identique à celle en vigueur pour les pièces originales. Toutefois, les fichiers STL générés permettent la réalisation de stéréolithographies qui pourraient facilement faire l'objet d'un piratage à des fins commerciales. Seule une utilisation stricte par les scientifiques peut garantir la bonne utilisation des données, aucune solution technique ne garantissant leur protection absolue. C'est pourquoi les informations et modèles produits dans le cadre de ce programme seront gérés par les conservateurs des fossiles originaux même s'ils seront stockés sur les serveurs MARS et NESPOS. De même les données haute résolution ne seront pas en accès libre mais feront l'objet d'une demande spécifique auprès du conservateur.

Dans le cas des fossiles récemment mis au jour, le souci de ne pas contaminer les pièces originales impose de limiter les traitements de consolidation. Dans cette perspective, la manipulation des fossiles à des fins scientifiques ou leur exposition au public,

engendrent un risque accru. La réalisation de μ -CT et de stéréolithographies à haute résolution permettrait de dupliquer les pièces originales sans devoir les mouler.

Toutefois nous voulons insister sur le fait que cette approche n'a une réelle valeur de protection patrimoniale que si les données obtenues sont partagées au sein de la communauté scientifique. Au contraire, la réalisation de numérisations par un opérateur ayant une exclusivité d'utilisation aura l'effet pervers et contraire de multiplier les demandes d'acquisitions et donc de manipulations et pourrait conduire à la non disponibilité des données et/ou de fossiles pour de longues périodes. À nouveau, le rôle des conservateurs est essentiel pour assurer la préservation optimale des originaux tout en améliorant l'exploitation scientifique et muséologique de ceux-ci.

8. Perspectives

L'avènement des techniques de numérisation à haute résolution permet de considérer les modèles virtuels comme une réelle alternative à la manipulation des originaux dans le cadre de nombreuses études scientifiques et de présentations muséologiques. La combinaison des données scanners, des modèles polygonaux et des photographies digitales offre d'ailleurs une information qui peut être supérieure à celle obtenue directement sur la pièce originale. Ceci n'exclut pas pour autant la manipulation de celle-ci pour son étude monographique ou des recherches très spécifiques, car l'étude directe du fossile peut apporter des données que l'on ne peut apprécier ou déterminer autrement.

L'utilisation d'outils de visualisation et d'analyse unifiés, comme ARTECORE, améliore la reproductibilité des mesures et les comparaisons inter/intra utilisateur et favorise la collaboration entre chercheurs. Intégrées dans le programme européen TNT et dans la Société NESPOS dès 2006, ces données digitales numérisées à l'aide de protocoles d'acquisition et de reconstruction optimisés, accessibles via une plate-forme collaborative, mesurées par des outils analytiques originaux et validés, permettront la réalisation de nouvelles études, impossibles auparavant, tout en favorisant la protection des spécimens originaux.

Développées pour des pièces anthropologiques, nous pensons que la méthodologie peut s'appliquer avec succès aux pièces archéologiques fragiles pour lesquelles les manipulations répétées peuvent aussi représenter un risque majeur. De plus, les données des structures internes et des surfaces sont susceptibles de fournir des informations inestimables

Collection	Pièce	N° Inventaire	Propriété	Taille de pixel (mm)	Épaisseur de coupe (mm)	Reconstruction (mm)	Scanner
<i>Spy</i> Spy I	Voûte	Spy 1	IRSNB/Lohest	0,465	0,6	0,3	(1)
	Temporal g.	Spy 1	IRSNB/Lohest	0,195	0,6	0,3	(1)
	Temporal d.	Spy 1	IRSNB/Lohest	0,195	0,6	0,3	(1)
	Mandibule	Spy 3	IRSNB/Lohest	0,299	0,6	0,1	(1)
	Mandibule détail	Spy 3	IRSNB/Lohest	0,15	0,5	0,5	(2)
	Maxillaire d.	Spy 2a	IRSNB/Lohest	0,223	0,6	0,1	(1)
	Maxillaire g.	Spy 2b	IRSNB/Lohest	0,223	0,6	0,1	(1)
<i>Spy</i> II	Voûte	Spy 10	IRSNB/Lohest	0,461	0,6	0,3	(1)
	Temporal g.	Spy 10	IRSNB/Lohest	0,199	0,5	0,2	(2)
	Temporal d.	Spy 10	IRSNB/Lohest	0,199	0,5	0,2	(2)
	Mandibule g.	Spy 11a	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	Mandibule g.	Spy 11b	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	P1 sup. g.	Spy 11f	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	P2 sup. g.	Spy 11e	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	C sup. d.	Spy 11g	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	P2 inf. g.	Spy 11h	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	I2 sup. g.	Spy 11i	IRSNB/Lohest	0,018	0,018	0,018	(5)
	P1 sup. d.	Spy 113a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,035	0,035	(5)
Postcrânien	Humérus g.	Spy 14a	IRSNB/Lohest	0,195	0,6	0,3	(1)
	Humérus d.	Spy 14b	IRSNB/Lohest	0,195	0,6	0,3	(1)
	Fémur d.	Spy 8	IRSNB/Lohest	0,313	0,6	0,3	(1)
	Fémur (épiphyse prox)	Spy 8	IRSNB/Lohest	0,313	0,6	0,1	(1)
	Tibia g.	Spy 9	IRSNB/Lohest	0,209	0,6	0,3	(1)
	Talus g.	Spy 18	IRSNB/Lohest	0,191	0,6	0,3	(1)
	Phalange pied PP1 d.	Spy 425n	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,018	0,018	(5)
	Phalange main PP2 g.	Spy 264a	IRSNB/T wiesselmann	0,225	0,6	0,1	(1)
	Sacrum	Spy 572a	Ulg/Lohest	0,203	0,5	0,5	(3)
	Omoplate g.	Spy 573a	Ulg/Lohest	0,178	0,5	0,5	(3)
	Omoplate d.	Spy 574a	Ulg/Lohest	0,234	0,5	0,5	(3)
	Phalange main PP4 g.	Spy 24a	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
	Phalange main PP5 d.	Spy 24b	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
	Phalange main PP2 g.	Spy 24c	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
	Phalange pied PP1 g.	Spy 25g	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
	Phalange pied PP1 d.	Spy 25f	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
	Phalange main PP1 d.	Spy 25h	IRSNB/Lohest	0,19	0,6	0,1	(1)
Dents isolées	I1 sup. g.	Spy 92b	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,035	0,035	(5)
	Germe P2 inf. d.	Spy 33a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,035	0,035	(5)
	C sup. d. (?)	Spy 86a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,018	0,018	(5)
Juvéniles	Hémi-mandibule g.	Spy 194a	IRSNB/T wiesselmann	0,123	0,6	0,3	(1)
	Hémi-mandibule g.	Spy 194a	IRSNB/T wiesselmann	0,035	0,035	0,035	(5)
	Hémi-mandibule d.	Spy 646a	IRSNB/T wiesselmann	0,035	0,035	0,035	(5)
	di1 sup. d.	Spy 589a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,018	0,018	(5)
	dc inf. g.	Spy 645a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,018	0,018	(5)
	di1 inf. g.	Spy 592a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,035	0,035	(5)
	di2 inf. d.	Spy 594a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,018	0,018	(5)
	Fragment pariétal	Spy 432a	IRSNB/T wiesselmann	0,018	0,035	0,035	(5)
<i>Engis</i> Engis 2	Crâne		Ulg/Schmerling	0,445	0,5	0,5	(4)
	Maxillaire		Ulg/Schmerling	0,129	0,5	0,5	(4)
	Temporal gauche		Ulg/Schmerling	0,113	0,5	0,2	(4)
	Temporal droit		Ulg/Schmerling	0,098	0,5	0,2	(4)
	dm1 inf. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)
	dm2 inf. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)
	M1 inf. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)
	dm1 sup. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)
	dm2 sup. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)
	M1 sup. d.		Ulg/Schmerling	0,018	0,018	0,018	(5)

Collection	Pièce	N° Inventaire	Propriété	Taille de pixel (mm)	Épaisseur de coupe (mm)	Reconstruction (mm)	Scanner
<i>Scladina</i> Sclayn	Hémi-mandibule d.	SCLA 4A-1	Archéologie andennaise	0,018	0,035	0,035	(5)
	Maxillaire d.	SCLA 4A-2	Archéologie andennaise	0,018	0,035	0,035	(5)
	M2 sup. d.	SCLA 4A-3	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	M1 sup. d.	SCLA 4A-4	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	dm2 sup. d.	SCLA 4A-5	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	dm1 sup. d.	SCLA 4A-7	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	M3 inf. g.	SCLA 4A-8	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	Hémi-mandibule g.	SCLA 4A-9	Archéologie andennaise	0,018	0,035	0,035	(5)
	I1 sup. d.	SCLA 4A-11	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	C inf. d.	SCLA 4A-12	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	I2 sup. d.	SCLA 4A-14	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	I2 inf. d.	SCLA 4A-15	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	C sup. d.	SCLA 4A-16	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
	I2 sup. g.	SCLA 4A-17/3-2	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)
C sup. g.	SCLA 4A-18/3-3	Archéologie andennaise	0,018	0,018	0,018	(5)	
<i>La Naulette</i>	Mandibule		IRSNB/Dupont	0,223	0,6	0,1	(1)
<i>Goyet</i>	I2 sup. g.		IRSNB/Dupont	0,018	0,035	0,035	(5)
	Hémi-mandibule g.	Goyet 8	IRSNB/Dupont	0,035	0,035	0,035	(5)
<i>Caverne de l'Abîme</i> Couvin	dm2 inf. d.		Cedarc	0,018	0,018	0,018	(5)
<i>Fonds-de-Forêt</i> Fonds-de-Forêt	Fémur g.		IRSNB	0,336	0,6	0,3	(1)

Tabl. 1 — Liste des restes humains néandertaliens belges scanographiés en date du 30 novembre 2005.
Scanner : (1) Siemens Somatom 64, ULB ERASME; (2) Siemens Volume Zoom, ULB ERASME; (3) Siemens Sentionation 16, CHR Citadelle; (4) Siemens Sensation 4, CHR Citadelle; (5) Skyskan 1072/1076, UA Microtomography group

sur les processus de fabrication des objets. Une acquisition μ -scanner est également une étape préalable indispensable à tout prélèvement sur une pièce archéologique importante. Enfin, l'utilisation des outils de segmentation permet d'envisager l'émergence de la fouille virtuelle pour des pièces qui pourraient être endommagées lors d'un dégagement manuel. Rappelons que la réalisation de stéréolithographies à haute résolution permet de dupliquer les pièces originales sans devoir les mouler.

À plus long terme, la numérisation à haute résolution pourra s'intégrer dans le programme de digitalisation des collections des établissements scientifiques fédéraux, comme d'ailleurs des multiples musées et collections privées, permettant ainsi, par le biais de la création de véritables musées virtuels, un accès plus aisé à des spécimens peu accessibles, fragiles ou particulièrement originaux, par exemple ceux qui ont permis la description de nouvelles espèces.

Remerciements

Ce programme est financé par le projet MARS (*Multimedia Archaeological Research System*), le projet européen TNT (*The Neanderthal Tools*), le projet Action 1 de L'IRSNB intitulé « Étude pluridisciplinaire des collections provenant de la grotte de Spy : nouvelles approches techniques et scientifiques » et le projet Action 3 de L'IRSNB en soutien au projet TNT.

Les auteurs tiennent à exprimer leur profonde gratitude aux diverses personnes, fouilleurs ou conservateurs, qui les ont autorisés à scanner et étudier les différents fossiles, à savoir Pierre Cattelain pour la dent de Couvin, Christelle Draily pour celle de *Walou*, Éddy Poty pour le crâne d'Engis ainsi que Dominique Bonjean et Marcel Otte pour l'enfant de Sclayn.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont permis la réalisation de ces numérisations et plus particulièrement Anne Bailly, Sophie Desboeuf et Fidel Boyenge de l'Hôpital Erasme ainsi que Andrei A. Postnov et Frank Lakiere du département de Microtomographie de l'Université d'Anvers et les docteurs Laurent Collignon du CHR Citadelle de Liège et François Masy du CHU de Liège.

Bibliographie

- BALZEAU A., GRIMAUD-HERVÉ D., SEMAL P. & SÉMAH Fr., 2005. Distribution de l'épaisseur crânienne chez les Néandertaliens. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, Résumés de la 1831^{ème} réunion de la Société d'Anthropologie de Paris, sous presse.
- BOUCHNEB L., MAUREILLE B., SEMAL P., LOURYAN St. & HUBLIN J.-J., 2005. The Bony Labyrinth of Neandertals: Additional Results. *PAS 2005 Abstracts*, p. A30, *PaleoAnthropology*, University of Pennsylvania Press.
- CATTELAÏN P. & OTTE M., 1985. Sondage 1984 au " Trou de l'Abime " à Couvin : état des recherches. *Helinium*, XXV : 123-130.
- DE PUYDT J. & LOHEST M., 1886. Exploration de la grotte de Spy. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 13 : 34-39.
- DE PUYDT J. & LOHEST M., 1887. L'homme contemporain du Mammouth à Spy (Namur). In : *Annales de la Fédération Archéologique et Historique de Belgique*, Compte rendu du Congrès de Namur (1886) : 207-240.
- DRAÏLY C., YERNAUX G., CORDY J.-M. & TOUSSAÏNT M., 1999. Découverte d'une dent humaine dans une couche moustérienne de la grotte Walou à Trooz (fouille 1997). *Notae Praehistoricae*, 19 : 29-38.
- DUPONT Éd., 1866. Étude sur les fouilles scientifiques exécutées pendant l'hiver de 1865-1866 dans les cavernes des bords de la Lesse. *Bulletins de l'Académie royale de Belgique, Classe des Sciences*, 22 : 44-54.
- DUPONT Éd., 1872. *L'Homme pendant les Âges de la Pierre dans les environs de Dinant-sur-Meuse*. Muquart, Bruxelles, 250 p.
- FRAÏPONT J. & LOHEST M., 1887. La race humaine de Néanderthal ou de Canstadt en Belgique. Recherches ethnographiques sur des ossements humains découverts dans les dépôts quaternaires d'une grotte à Spy et détermination de leur âge géologique. *Archives de Biologie*, 7 : 587-757.
- GORJANOVIC-KRAMBERGER D., 1902. Der palaeolithische Mensch und seine Zeitgenossen aus dem Diluvium von Krapina in Kroatien. *Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft Wien*, 32 : 187-207.
- HOTTON F., KLEINER S., BOLLAERT A. & TWIESSSELMAN Fr., 1976. Le rocher des Néandertaliens de Spy. Étude radio-anatomique. *Journal Belge de Radiologie*, 59 (1) : 39-50.
- HOTTON F., LEGUEBE A. & LOURYAN St., 1984a. L'acquisition de la marche bipède, témoin de l'hominisation. *Medica Physica*, 7 : 121-126.
- HOTTON Fr., LOURYAN St., BOLLAERT A., LEGUEBE A. & De VOS J., 1984b. Paléo - radiologie - Étude radiologique du fémur n°1 (Homo erectus) de Trinil (Indonésie) - communication présentée le 23 avril 1983. *Bulletin de la Société d'Anthropologie et de Préhistoire*, 95 : 99-107.
- HOUNSFIELD G., 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography). *British Journal of Radiology*, 46: 1016-1022.
- KRICUN M., MONGE J., MANN A., FINKEL G., LAMPL M. & RADOVČIČ J., 1999. *The Krapina Hominids. A radiographic Atlas of the skeletal Collection*. CNHM, Zagreb.
- LOURYAN St., HOTTON F., BOLLAERT A. & POTVLIÈGE R., 1985. Interest of radiological study of hominids fossils. *Clinical rheumatology*, 5 : 16.
- LOURYAN St., ORBAN R., ORDONEZ J. & VAN CAUWENBERGE S., 1995. Intérêt du scanner à 3 dimensions en paléontologie humaine : l'exemple des crânes néandertaliens de Spy. *Résumés du 22ème Colloque des Anthropologistes de Langue Française*, Bruxelles, 18-22 mai 1995.
- MAIER W. O. & NKINI A. T., 1985. The phylogenetic position of Olduvai Hominid 9, especially as determined from basicranial evidence. In : E. Delson (ed.), *Ancestors: the hard evidence*. Alan R. Liss, New York : 249-254.
- MAUREILLE B., 1994. *La face chez Homo erectus et Homo sapiens. Recherche sur la variabilité morphologique et métrique*. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux I : 2 vol. (T. I (texte), 486 p. dactylographiées, 74 fig., 90 tab.; T. II (annexe), 148 p. dactylographiées, 2 fig., 101 tabl.).
- MAUREILLE B. & BAR D., 1999. The Premaxilla in the Neandertal and Qafzeh-Skhul Children: Ontogeny and Morphology. *Journal of Human Evolution*, 37 : 137-152.
- MAZURIER A., BONDIOLI L., BRAVIN A., NEMOZ C. & MACCHIARELLI R., 2005a. High-resolution (3D SR- μ CT-based) structural analysis of the primate proximal tibia: Evidence for locomotion related topographic variation. *American Journal of Physical Anthropology*, sup 40 : 41.
- MAZURIER A., VOLPATO V., BRAVIN A. & MACCHIARELLI R., 2005b. Improved noninvasive microstructural analysis of fossil tissues by means of SR-microtomography. *Abstracts of the Synchrotron Radiation in Art and Archaeology ESRF-CNRS Joint Workshop*, Grenoble, 9-11 February, 2005.
- NKINI A., 1986. *Zur Morphologie und Systematik des fossilen Olduvai-Hominiden 9 (OH9)*. Thèse de doctorat, Universität Frankfurt am Main : 108 p.
- ROUGIER H., CREVECOEUR I., FIERES E., HAUZEUR A., GERMONPRÉ M., MAUREILLE B. & SEMAL P., 2004. Collections de la Grotte de Spy: (re)découvertes et inventaire anthropologique. *Notae Praehistoricae*, 24 : 181-190.
- RUFF C. B., 1987. Structural allometry of the femur and tibia in hominoidea and *Macaca*. *Folia Primatologia*, 48 : 9-49.
- RUFF C. B. & LEO F., 1986. Use of computed tomography

in skeletal structure research. *Yearbook of Physical Anthropology*, 29 : 181-196.

SCHMERLING Ph.-Ch., 1833-34. *Recherches sur les ossements [sic] fossiles découverts dans les cavernes de la province de Liège*. P. J. Collardin, Liège : 167 et 195 p., 2 tomes de 34 et 40 pl.

SCHAAFFHAUSEN H., 1888. *Der Neanderthaler Fund*. Adolph Marcus, Bonn.

SEMAL P., CORNELISSEN E. & CAUWE N., 2004a. MARS : multimedia archaeological research system. *Notae Praehistoricae*, 24 : 203-208.

SEMAL P., KIRCHNER S., MACCHIARELLI R., MAYER P. & WENIGER G. C., 2004b. TNT: The Neanderthal Tools. In: K. Cain, Y. Chrysanthou, F. Niccolucci, D. Pletinckx, & N. Silberman (eds), *Interdisciplinarity or The Best of Both Worlds. The Grand Challenge for Cultural Heritage Informatics in the 21st Century. Selected papers from VAST2004* : 43-44.

SKINNER M. F., SPERBER G. H., 1982. *Atlas of Radiographs of Early man*. Alan R. Liss, New York.

SPOOR F., JEFFERY N. & ZONNEVELD F., 2000a. Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. *Journal of Anatomy*, 197 : 61-76.

SPOOR F., JEFFERY N. & ZONNEVELD F., 2000b. Imaging skeletal growth and evolution. In : P. O'Higgins & M. Cohn (eds), *Development, growth and evolution : implications for the study of the hominid skeleton*. Academic press, London : 123-162.

TATE J. R. & CANN C. E., 1982. High-resolution computed tomography for the comparative study of fossil and extant bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 58 : 67-73.

TIHON J., 1898. Les cavernes préhistoriques de la vallée de la Vesdre. Fouilles de Fonds-de-Forêt. *Annales de la Société Archéologique de Bruxelles*, 12 : 165-173.

TOUSSAINT M., 2001. *Les hommes fossiles en Wallonie. De Philippe-Charles Schmerling à Julien Fraipont, l'émergence de la paléoanthropologie*. Carnet du Patrimoine, 33, MRW, Namur : 60 p.

TOUSSAINT M., OTTE M., BONJEAN D., BOCHERENS H., FALGUÈRES CH. & YOKOHAMA Y., 1998. Les restes humains néandertaliens immatures de la couche 4A de la grotte *Scladina* (Andenne, Belgique). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 326 : 737-742.

TRINKAUS E. & RUFF C., 1989. Diaphyseal cross-sectional morphology and biomechanics of the Fonds-de-Forêt 1 femur and the Spy 2 femur and tibia. *Anthropologie et Préhistoire*, 100 : 33-4.

TWIESELNANN F., 1961. *Le fémur néandertalien de Fonds-de-Forêt (province de Liège)*. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, mémoire n°148 : 164 p, 2 pl. h.t.

VANNIER M. W., CONROY G. C., MARSH J. L. & KNAPP R.H., 1985. Three-dimensional cranial surface reconstructions using high-resolution computed tomography. *American Journal of Physical Anthropology*, 67 : 299-311.

WALKHOF O., 1903. Sechste Lieferung : die diluvialen menschlichen Kiefer Belgiens und ihre pithekoïden Eigenschaften. In: E. Selenka, *Menschenaffen (Anthropomorphae) Studien über entwicklung und Schädelbau*. C. W. Kreidel's Verlag, Wiesbaden.

WARD S. C., JOHANSON D. C. & COPPENS Y., 1982. Subocclusal morphology and alveolar process relationships of hominid gnathic elements from the Hadar formation : 1974-1977 collections. *American Journal of Physical Anthropology*, 57 : 605-630.

WIND J., 1984. Computerized X-Ray tomography of fossil hominid skulls. *American Journal of Physical Anthropology*, 63 : 265-282.

ZONNEVELD F., 1987. *Computed Tomography of the temporal bone and orbit*. Urban & Schwarzenberg, Munich.

ZONNEVELD F. & WIND J., 1985. High-resolution CT of fossil hominid skulls: a new method and some results. In : P.V. Tobias (ed.), *Hominid Revolution: Past, Present and Future*, Alan R Liss, New York : 427-436.

Patrick Semal @
 Hélène Rougier @ §
 Isabelle Crevecœur @ §
 Antoine Balzeau @ #

@ Service Anthropologie et Préhistoire
 Institut royal des Sciences naturelles de Belgique
 29, rue Vautier
 BE - 1000 Bruxelles (Belgique)

Equipe de Paléontologie Humaine
 USM 204, UMR 5198
 Département de Préhistoire
 du Muséum national d'Histoire naturelle
 Musée de l'Homme, 17
 Place du Trocadero
 FR - 75016 Paris (France)

§ UMR 5199 - PACEA
 Laboratoire d'Anthropologie
 des populations du passé
 Université Bordeaux 1
 avenue des Facultés
 FR - 33405 Talence cedex (France)

Michel Toussaint
 Direction de l'Archéologie
 du Ministère de la Région wallonne
 1 rue des Brigades d'Irlande
 BE - 5100 Namur (Belgique)

Bruno Maureille
 Linda Bouchneb
 UMR 5199 - PACEA
 Laboratoire d'Anthropologie
 des populations du passé
 Université Bordeaux 1
 avenue des Facultés
 FR - 33405 Talence cedex (France)

Stéphane Louryan
 Laboratoire d'Anatomie et Embryologie
 Faculté de Médecine
 de l'Université Libre de Bruxelles (C.P. 619)
 et Service d'Imagerie Médicale
 de l'Hôpital Erasme (ULB)
 route de Lennik , 808
 BE - 1070 Bruxelles (Belgique)

Nora De Clerk
 Microtomography
 Department Biomedical Sciences
 University of Antwerp
 Campus Drie Eiken
 N - Building
 Edegemsesteenweg
 BE - 2610 Wilrijk/Antwerp (Belgium)

Léon Rausin
 Service de Radiologie
 CHR Citadelle
 BE - 4000 Liège (Belgique)

Adresse de contact
 Patrick.Semal@naturalsciences.be