

CHAPITRE 5

Écofacts et études apparentées

INTRODUCTION

Els Cornelissen¹

Ce chapitre explique le potentiel et les conditions de l'analyse spécialisée des sols et des sédiments constituant le contexte dans lequel se passent les fouilles, qu'il s'agisse d'ossements animaliers ou humains ou de restes de plantes. Il aborde également le sujet de la datation. Des spécialistes de divers domaines tels que la pédologie, la sédimentologie, l'archéozoologie, l'archéobotanique, la paléontologie et les méthodes de datation, résumant ce qui doit se faire sur le terrain afin d'assurer l'efficacité des différentes approches, ainsi que tous les aspects importants que les archéologues doivent connaître avant de recourir à des spécialistes, s'ils veulent éviter des déceptions. Tous les auteurs attirent l'attention sur le fait que le type de site, de questions de recherche et de financement orienteront avant, mais également pendant et après la fouille, les stratégies quant à savoir que collecter ou échantillonner, comment et à quel moment. Ils insistent sur le fait que les données et les échantillons pris sur le terrain sont le produit de processus à la fois naturels et culturels. Et précisent que pour démêler dans quelle mesure ce sont des agents naturels ou des agents culturels qui sont intervenus, il faut recourir à des clés de lecture spécifiques à chacun de leurs champs d'expertise. Ils soulignent tous la nécessité d'un échange interdisciplinaire entre spécialistes pour arriver à des conclusions bien pondérées.

Alexa Hohn explique comment des restes de plantes fournissent des informations sur le régime alimentaire d'une communauté humaine, ainsi que sur l'environnement dans lequel elle habitait, et sur la façon dont elle a manipulé cet environnement par différentes stratégies de mode de vie et d'exploitation. Des méthodes d'échantillonnage, de traitement et d'analyse sont présentées. La plupart des restes de plantes sont des échantillons de sédiments récoltés sur le terrain, puis traités dans des laboratoires. Collectés sur le site, ils ne représentent que très partiellement l'environnement d'antan. Cette sélection s'explique par des processus de recouvrement et par ceux qui opèrent ensuite, tels que la préservation différentielle de tissus durs et tendres, ainsi que par les divers choix humains de plantes collectées ou récoltées et traitées sur ce lieu bien particulier.

Wim Van Neer présente un cadre pour l'analyse des restes animaliers, qui vont de l'os solide jusqu'aux fragiles coquilles d'œufs. Il souligne l'importance d'un échantillonnage et d'un emballage corrects sur le terrain, ce qui implique entre autres de prendre en considération l'effet du tamisage, de ne pas faire soi-même le choix entre fragments identifiables et non identifiables et d'inclure dans l'échantillon les os travaillés, ou au moins de signaler leur présence à l'archéozoologue. Tout comme les restes botaniques, la faune est utilisée pour reconstituer l'environnement et les modes de vie. Des collections de référence de squelettes modernes sont essentielles pour mener une identification correcte sur base de la morphologie et des dimensions des os. Après identification, le matériel osseux est quantifié par le Nombre de Spécimens Identifiés ou NSI. Une analyse taphonomique s'impose afin d'identifier les agents naturels dans les accumulations d'ossements avant toute reconstruction du paléo-environnement, des modes de vie ou d'une forme d'exploitation par l'homme.

Veerle Linseele poursuit avec la question des animaux domestiqués et évoque la fréquente difficulté à distinguer le bétail domestiqué des bovidés sauvages. Les ancêtres sauvages du mouton et de la chèvre n'ont jamais existé en Afrique et par conséquent aucune confusion n'est possible entre leurs variantes sauvages et domestiquées. Par contre, dans la zone méditerranéenne, dans la vallée du Nil ou dans d'autres régions d'Afrique du Nord, l'aurochs fit partie intégrante de la faune locale. En Afrique de l'Ouest, c'est la pintade qui occupe une place spéciale. L'intérêt des animaux domestiques réside dans leur capacité à fournir de la force/puissance/énergie, de la matière première, de la compagnie, de la nourriture (surtout la viande, mais également le lait, les œufs ou le sang) ou à servir à des fins rituelles. L'auteure illustre par quelques cas d'étude l'interprétation et la distribution des animaux domestiqués en Afrique sub-saharienne.

Dans sa contribution, **Dominique Schwartz** met en avant le fait que les sols sont des environnements ouverts et actifs. Il accorde une attention particulière aux ferralsols ubiquistes en Afrique subsaharienne et à la manière dont des spécimens culturels et des anciennes surfaces finissent par être enterrés et incorporés dans le sol. Le défi est de faire la part entre agents naturels et agents humains dans la formation des sites, ainsi que d'identifier les processus naturels à la base de la formation initiale des dépôts ou des sédiments, et les processus liés à la pédogénèse qui s'ensuivit. Cette distinction entre les strates géologiques et les horizons pédologiques est très bien illustrée par trois exemples de terrain. Des analyses en laboratoire de composantes de sol donnent une information précieuse, comme dans l'exemple des études biogéochimiques utilisant le carbone 13 pour des reconstitutions environnementales où l'on s'attache particulièrement à lire les temporalités du sol.

¹ Service Patrimoines, Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique.

Michel Rasse se concentre sur la puissance accumulative et érosive des systèmes riverains, constructive parce qu'elle enterre du matériel archéologique, mais également destructive parce qu'elle expose des sites archéologiques, en déplaçant des sédiments du haut vers le bas d'une pente ou encore en coupant à travers des sédiments accumulés auparavant. Son étude de cas se situe en Afrique de l'Ouest. Les processus d'incision et d'accumulation sont liés au climat et une interprétation minutieuse aboutit à une reconstruction de conditions paléoclimatiques. Pour une bonne compréhension de la géométrie des séquences, il est impératif de prendre en considération les changements tant verticaux que latéraux qui s'opèrent dans les couches.

Ces deux contributions sont suivies par un glossaire qui vous facilitera la lecture de la littérature consacrée aux sols et aux sédiments.

Isabelle Crevecœur conseille de collecter les os humains pendant le travail sur le terrain, si pas en présence d'un(e) anthropologue, du moins en étroite collaboration avec lui ou elle. Ici également, avant de passer à une interprétation culturelle, il faut identifier les agents taphonomiques susceptibles d'avoir eu un impact sur l'accumulation des os humains. Elle liste les principes d'évolution et d'adaptation, les analyses les plus courantes directement pratiquées sur l'os et les dents (nombre minimal d'individus, leur âge, genre, santé, poids et d'autres caractéristiques biométriques et non-biométriques), les analyses biochimiques portant sur les composantes organiques (le collagène) et minérales (l'hydroxyapatite) pour des datations au radiocarbone ou ESR, ainsi que pour reconstituer le régime alimentaire et l'environnement par l'analyse des isotopes stables. Les analyses ADN servent à retracer des migrations et des liens, éventuellement de parenté, entre individus, mais exigent un échantillonnage adéquat et minutieux à la fois lors du travail sur le terrain et par la suite. Une note spéciale est dédiée à l'imagerie multidimensionnelle comme moyen de rendre visibles des phénomènes qui ne le sont pas à l'œil nu, de faciliter l'accès aux collections, de faire des reconstructions et de prendre des mesures détaillées.

Dater implique une solide compréhension du contexte du site, qui permette d'interpréter les résultats obtenus par les méthodes de datation relative et absolue. **David Wright** a compilé un survol de différentes méthodes de datation (p. 246). Trois contributions sont consacrées à la datation, question cruciale puisque dans beaucoup de régions d'Afrique la chronologie doit encore être établie, comme le constate à juste titre **Pierre de Maret**. Lui-même présente les principes de la méthode du radiocarbone 14, indique sur quelles matières elle s'applique et aborde également les erreurs, la calibration, le degré d'incertitude, le risque de contamination avant, pendant et après l'échantillonnage et la manière d'interpréter les résultats. Nous donnons deux cas fictifs à titre d'exemple. Dans les deux dernières contributions, **David Wright** continue en expliquant six autres méthodes de datation radiométrique et quatre méthodes de datation relative, montrant ainsi l'énorme éventail de méthodes à la disposition de l'archéologue, mais également leurs limites et les précautions à prendre.

Un avertissement sur l'un des fondements de l'archéologie

David K. Wright²

Comme c'est le cas dans toute discipline scientifique, les méthodes de la première heure, dans ce cas-ci pour mesurer le radiocarbone, utilisaient des produits chimiques et des instruments entre-temps devenus obsolètes. Cela ne veut pas dire que les dates radiocarbone anciennes sont inexactes, mais que les chercheurs qui utiliseront les dates obtenues avant l'AMS devront être particulièrement attentifs aux sources d'erreurs potentielles, erreurs qui furent habituelles au début de l'application de cette méthode. Ces sources d'erreurs peuvent inclure : les réactifs de comptage basés sur du carbone pour effectuer le comptage de masse par scintillation liquide ou gazeuse, la non-dissolution de carbonates authigénétiques des échantillons, l'utilisation de l'apatite de l'os comme matière datable, les effets de réservoir dans des mollusques et dans la coquille d'œuf d'autruche, ou encore l'échantillonnage de « bois ancien », pour ne citer que quelques points à prendre en considération.

² Département d'Archéologie et d'Histoire de l'Art, Université nationale de Séoul, Corée du Sud.

RESTES ARCHÉOBOTANIKES

Alexa Höhn¹

INTRODUCTION : POURQUOI S'EN PRÉOCCUPER ?

Il y a environ 77 000 ans, dans une grotte sud-africaine, les gens empilaient des couches de joncs et d'herbes et les recouvraient de feuilles de laurier aromatique aux propriétés répulsives pour les insectes (Wadley *et al.* 2011). Sans l'archéobotanique, nous aurions sans doute pensé que les populations du Middle Stone Age – âge de la pierre moyen – utilisaient des plantes et des feuilles pour s'aménager des lieux confortables, car les débris de tiges et de feuilles étaient visibles même à l'œil nu. Grâce à l'expertise archéobotanique, nous avons découvert que les populations de l'époque n'utilisaient pas n'importe quelles feuilles mais choisissaient soigneusement celles qui repoussaient les insectes hors de leurs campements ! Seule l'identification des différents types de vestiges archéobotaniques – débris de feuilles, de tiges, de chaumes et de fruits, fragments argileux portant des empreintes de plantes et phytolithes – pouvait nous restituer le récit complet.

L'archéobotanique nous réserve toujours son lot de surprises. Il y a quelque 2 500 ans, le millet était cultivé dans les forêts humides de l'ouest de l'Afrique centrale (Kahlheber *et al.* 2009, Kahlheber *et al.* 2014) ! C'est ce que nous révèlent les restes de plantes calcinées retrouvés sur des sites au Cameroun et au Congo. La chose était tellement inattendue que l'archéobotaniste eut tout d'abord beaucoup de mal à croire à sa découverte ; il n'y avait pourtant aucun doute : une céréale adaptée à un milieu savanicole avait été cultivée dans des endroits où elle ne pourrait pousser aujourd'hui à cause de précipitations trop importantes. L'analyse de charbon de bois provenant des mêmes sites a fourni la preuve que la culture avait été pratiquée dans un environnement, certes perturbé, mais toujours forestier. Comment était-ce possible ? Des investigations palynologiques dans la même région ont démontré qu'un changement climatique était survenu, prolongeant pendant plusieurs centaines d'années la durée de la saison sèche, pas au point de supprimer les forêts, mais probablement juste assez pour permettre au millet de mûrir.

Les restes archéobotaniques nous racontent des histoires fascinantes, qu'ils datent de plus de 70 000 ans comme pour les découvertes de Sidubu, ou d'un peu moins de 150 ans. Les restes de maïs du Ghana datés des années 1900 et combinés à des débris de charbon de bois indiquent un tournant dans

la technologie de transformation, délaissant l'usage dans les années 1800 des meules en pierre pour des céréales telles que le millet, au profit de l'igname, du manioc et du maïs, habituellement écrasés dans des mortiers en bois (Logan & Cruz 2014). Les restes archéobotaniques permettent aussi de reconstruire le rôle social et culturel de l'alimentation. Des exemples nous en sont donnés avec les festins sur la côte gambienne (Gjianto & Walshaw 2014) ou l'adoption de modes alimentaires asiatiques sur l'île de Pemba durant une période d'urbanisation et d'islamisation. En l'occurrence, ce sont les bénéfices sociaux et politiques qui ont imposé cette innovation agricole entre le XI^e et le XV^e siècle, malgré le risque d'une spécialisation rizicole dans un contexte de rareté des terres adaptées (Walshaw 2010). Qu'ils aient la taille d'un avant-bras, comme dans le cas d'un morceau de poutre médiévale carbonisé (Höhn 2011), ou qu'ils soient, comme les phytolithes, invisibles à l'œil nu mais puissent indiquer que le bois a été travaillé sur une meule en pierre (Radomski & Neumann 2011), les vestiges archéobotaniques nous livrent des aperçus de la vie quotidienne dans les temps anciens. Vie humaine et environnement sont toujours étroitement imbriqués. La recherche archéobotanique nous permet d'élucider les dimensions botaniques de ces interrelations. De multiples questions peuvent être traitées, en fonction des sites, de l'époque et du contexte. Mais, pour ce faire, il faut prélever des échantillons archéobotaniques.

I. MATÉRIAU : QUE CHERCHONS-NOUS ?

Les restes archéobotaniques sont des restes végétaux provenant de sites archéologiques (à la différence des vestiges végétaux issus de sols naturels, appelés restes paléobotaniques). Ils sont classés en deux groupes en fonction de leur taille : macrorestes et microrestes.

Les **macrorestes** mesurent plus de 0,1 mm. Ce sont des parties complètes ou fragmentées de plantes (fruits, grains, bois, tubercules, fibres ou encore fragments de feuilles). En Afrique sub-saharienne, la plupart des macrorestes sont carbonisés. En raison de la faible disponibilité en oxygène à certains endroits du feu, ils n'ont pas été consommés jusqu'aux cendres mais seulement calcinés. Au cours du processus, la composition chimique de la composante végétale a été altérée jusqu'à un stade inorganique. On nomme préservation fossile cette altération. Les empreintes des fragments végétaux – dans des céramiques par exemple – sont aussi appelées fossiles, car la composante végétale originelle n'a pas

¹ Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Archäologische Wissenschaften, Archäologie und Archäobotanik Afrikas, Allemagne.

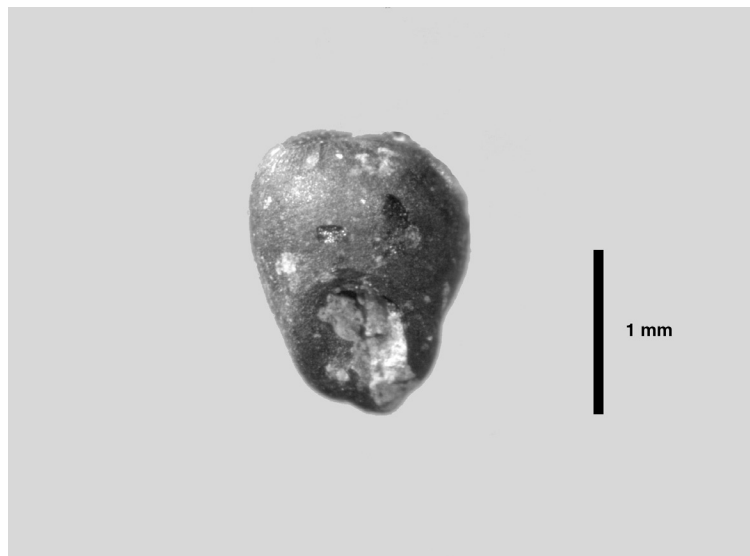


Fig. 1. Millet carbonisé (*Pennisetum glaucum*) du site Bwambé-Sommet, Sud Cameroun. (Photo S. Kahlheber © Goethe-Universität Frankfurt am Main.)



Fig. 2. Échantillon de phytolithes vus au microscope à lumière transmise. (Photo B. Eichhorn © Goethe-Universität Frankfurt am Main.)

non plus été conservée. Dans le cas d'une subfossilisation, la composition chimique de l'élément végétal n'a pas été profondément altérée et il est toujours constitué de matériel organique. Cela peut résulter d'une dessiccation (dans les environnements arides), d'un gel (dans les montagnes ou les pergélisols) ou d'un dépôt dans un environnement anaérobie (dans les sols humides permanents). Le contact avec des métaux conduit aussi à la subfossilisation, car les sels métalliques freinent l'activité bactérienne et fongique.

Les **microrestes** mesurent moins de 0,1 mm et sont donc invisibles à l'œil nu. Il peut s'agir de pollens, de spores, de phytolithes ou d'amidon. Les pollens et spores sont des cellules. Le pollen est produit par les plantes à graines, les spores par les champignons et les plantes sans fleurs comme les fougères, les mousses ou les algues. Les cellules en tant que telles ne sont pas conservées, mais seulement certaines parties très résistantes de leur paroi. Les phytolithes et l'amidon sont produits par les plantes, mais ce ne sont pas des cellules. L'amidon constitue des unités infra-cellulaires de stockage alimentaire et c'est un matériau organique tout comme le pollen et les spores. Les phytolithes sont des microrestes minéraux, ils sont composés de dioxyde de silicium non cristallin, qui s'est déposé dans les cellules de la plante vivante, dans ou sur ses parois, ou dans les espaces intercellulaires.

II. ANALYSE : QUE FAIT-ON EN LABORATOIRE ?

Après le prélèvement sur le terrain (voir Bosquet, ce volume, pp. 152+156), les échantillons archéobotaniques doivent être traités. Les macrorestes sont souvent tamisés ou soumis à flottation et seuls des échantillons traités par-

viennent au labo. Là, la première étape est le tri : les vestiges de fruits et de graines sont extraits de l'échantillon à l'aide d'un microscope de dissection à faible grossissement et les fragments similaires sont regroupés. Les petits os, voire même des artefacts, sont enlevés. La majeure partie des macrorestes (calcinés) traités est habituellement composée de fragments de charbon de bois, mais des apports ultérieurs, racines, insectes ou fragments de plantes amenés par le vent sont également fréquemment présents. Il faut soigneusement séparer les restes souvent partiellement calcinés des vestiges archéobotaniques.

Les microrestes sont généralement traités en laboratoire. Des traitements différents, souvent chimiques, sont appliqués pour les séparer des particules de sol. Les restes isolés – amidon, phytolithes ou pollens – sont alors disposés sur des lames de microscope pour analyse.

Au cours de l'étape suivante, les restes archéobotaniques sont identifiés, c'est-à-dire attribués à un taxon qui peut être une espèce (par exemple *Vigna unguiculata*), un genre (*Vigna*), une famille (Fabaceae), voire un groupe de différents taxons. Ces différents niveaux d'identification dépendent de la conservation (s'il est possible de voir des traits discriminants), mais aussi de la possibilité de distinguer les parties végétales de divers taxons. Par exemple, au sein de certaines familles de plantes, les grains de pollen de toutes les espèces sont très similaires, ou bien, au sein d'un même genre, l'anatomie du bois des diverses espèces peut se ressembler. Dans ce cas, il est impossible de distinguer les espèces et nous nous contentons de classer les restes dans un groupe végétal. L'identification des phytolithes représente un cas encore plus spécial : certains sont caractéristiques de groupes végétaux

particuliers, par exemple d'une certaine famille herbacée, mais bien souvent différentes plantes, éventuellement issues de familles non apparentées, peuvent produire les mêmes types de phytolithes. Ce fait est qualifié de « redondance ».

Plusieurs types de microscopes sont utilisés pour l'identification des restes archéobotaniques : les microscopes de dissection à faible grossissement pour l'identification des restes de fruits et de graines ; les microscopes à éclairage oblique pour le charbon de bois et les microscopes à lumière transmise pour les microrestes.

Les collections de référence constituent un autre outil essentiel. La comparaison des restes archéobotaniques avec des fruits, des graines, du bois, des phytolithes et des grains de pollen récents est nécessaire à une identification rigoureuse. Les illustrations dans les publications ou les atlas ne présentent en général qu'un échantillon, alors que les parties de plantes sont variables. Afin de pleinement comprendre à quoi peuvent ressembler les différentes graines d'une espèce de plantes, il est recommandé d'examiner plusieurs échantillons issus de plusieurs individus d'une même espèce. Il faut garder à l'esprit que les traits caractéristiques des plantes peuvent varier au sein d'une espèce (variabilité intraspécifique) et qu'il existe des similarités entre espèces, entre genres et même entre familles différentes (similarités interspécifiques).

Après l'identification, les données sont entrées dans des tableaux, évaluées et interprétées. Là encore, peuvent être mobilisées différentes méthodes – quantitatives, semi-qualitatives, qualitatives, évaluations (présence/absence), enregistrement de l'ubiquité, calcul de pourcentages et diverses démarches statistiques – en fonction du matériau et des stratégies d'échantillonnage.

CONCLUSION : QUE PRENDRE EN COMPTE ?

Une formation archéobotanique n'est en aucun cas identique à la végétation préexistante autour d'un site. Les activités anthropiques, les modes de récolte, de stockage et de transformation des cultures, l'élevage, la cueillette, le choix du combustible, le commerce, tous ces facteurs déterminent quelles plantes et quelles parties végétales pénétreront le site et seront conservées. Dans les restes calcinés, la perte d'information est encore plus grande, car seules des parties de plantes présentes dans le feu – soit volontairement (par exemple du bois ou de la bouse servant de combustible), soit par hasard (par exemple des débris, des parties perdues ou tombées dans le feu pendant la préparation du repas) – sont susceptibles d'être préservées. Les processus de sédimentation et l'environnement sédimentaire, comme les caractéristiques du sol, influencent aussi la conservation.

Pour continuer avec l'exemple des vestiges calcinés, plus de restes sont préservés si les résidus de combustion ont été placés dans une fosse, ce qui leur a évité d'être piétinés et dispersés. La nature des restes est aussi un facteur à prendre en compte. Les vestiges lignifiés tels que les coques dures du palmier à huile sont davantage susceptibles d'être préservés que des tissus plus tendres comme ceux provenant de tubercules d'ignames. La formation archéobotanique s'appauvrit de manière erratique avant même d'être retrouvée, mais le traitement et l'analyse vont encore diminuer la quantité d'informations accessibles.

Les données à interpréter pour reconstruire les modes de vie humains et les environnements passés sont fragmentaires. L'élément humain doit être pris en considération, de même que les facteurs abiotiques à l'échelon du site/de la région (sol, eau, lumière, température), ainsi que d'autres facteurs biotiques (comme la faune). Il faut tenir compte de tous ces facteurs lorsqu'on formule une hypothèse sur l'environnement et l'usage du sol à partir d'une formation archéobotanique. Par conséquent, la présence de la même plante dans deux assemblages archéobotaniques relevant de milieux écologiques différents n'a pas nécessairement la même signification.

Une manière de pallier cette inévitable perte d'information et de mieux saisir les conditions spécifiques à un site donné consiste à examiner plusieurs archives archéobotaniques différentes. Dans la mesure où les taphonomies diffèrent selon les types de restes, l'information perdue dans un cas pourra être présente dans un autre. Différents types de vestiges archéobotaniques peuvent aussi se compléter mutuellement en termes de possibilités d'identification ; par exemple, certaines sortes de pollens sont uniquement identifiables au niveau de la famille, mais l'anatomie du bois de la famille en question diffère au niveau du genre ou même de l'espèce, et *vice versa*. En outre, le contexte climatique et environnemental à partir duquel des conclusions sont tirées requiert la consultation des paléoarchives régionales. Le facteur essentiel de succès d'une analyse archéobotanique réside toutefois dans une collaboration étroite avec les archéologues : les informations archéologiques concernant le type de site, la chronologie, la technologie et la société sont essentielles pour replacer les informations archéobotaniques dans un cadre pertinent. La combinaison des résultats archéobotaniques avec, d'une part, les informations sur site issues de l'archéologie, de l'archéozoologie et de la sédimentologie et, d'autre part, les données paléoenvironnementales hors site évaluées grâce aux connaissances écologiques, agronomiques, ethnobotaniques et anthropologiques autorisent une hypothèse rigoureuse et contextualisée quant aux interactions homme-environnement dans le passé.

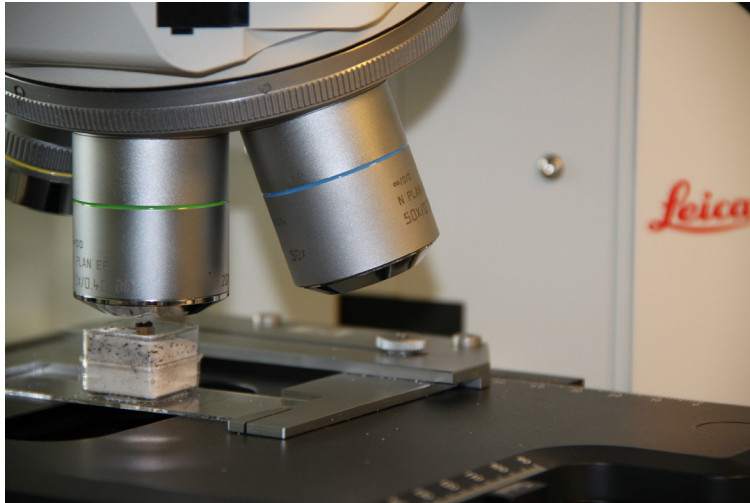


Fig. 3. Fragment de charbon de bois vu au microscope à éclairage oblique. (Photo A. Höhn © Goethe-Universität Frankfurt am Main.)



Fig. 4. Les « outils » d'un archéobotaniste (dans le sens des aiguilles d'une montre) : microscope à dissection, collection de bois, collection de fruits et graines, littérature de référence, échantillons calcinés, collection de lamelles de bois. (Photo J. Markwirth © Goethe-Universität Frankfurt am Main.)

BIBLIOGRAPHIE

Gijanto, L. & Walshaw, S. 2014. « Ceramic production and dietary changes at Juffure, Gambia ». *African Archaeological Review* 3 (2) : 265-297.

Höhn, A. 2011. « Analysis of the charcoal finds ». In L.P. Petit, M. von Czerniewicz, & C. Pelzer (éd.). *Oursi huheero. A Medieval House Complex in Burkina Faso, West Africa*. Leiden : Sidestone Press, pp. 141-149.

Kahlheber, S., Bostoen, K. Neumann, K. 2009. « Early Plant Cultivation in the Central African Rain Forest : First Millennium BC Pearl Millet from South Cameroon ». *Journal of African Archaeology* 7 (2) : 253-272.

Kahlheber, S., Eggert, M.K.H., Seidensticker, D. & Wotzka, H.-P. 2014. « Pearl Millet and Other Plant Remains from the Early Iron Age Site of Boso-Njafo (Inner Congo Basin, Democratic Republic of the Congo) ». *African Archaeological Review* 31 (3) : 479-512.

Logan, A.L. & Cruz, M.D. 2014. « Gendered Taskscapes : Food, Farming, and Craft Production in Banda, Ghana in the Eighteenth to Twenty-first Centuries ». *African Archaeological Review* 31 (2) : 203-231.

Radomski, K.U. & Neumann, K. 2011. « Grasses and grinding stones : Inflorescence phytoliths from modern West African Poaceae and archaeological stone artefacts ». In A.G. Fahmy, S. Kahlheber & A.C. D'Andrea (éd.). *Windows on the African Past. Current Approaches to African Archaeobotany*. Frankfurt am Main : Africa Magna Verlag, pp. 153-166.

Wadley, L., Sievers, C., Bamford, M., Goldberg, P., Berna, F. & Miller, C. 2011. « Middle Stone Age Bedding Construction and Settlement Patterns at Sibudu, South Africa ». *Science* 334 : 1388-1391.

Walshaw, S.C. 2010. « Converting to rice : urbanization, Islamization and crops on Pemba Island, Tanzania, AD 700-1500 ». *World Archaeology* 42 (1) : 137-154.

L'ARCHÉOZOOLOGIE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

Wim Van Neer¹

L'archéozoologie, ou zooarchéologie, étudie les restes d'animaux mis au jour sur des sites archéologiques. En combinaison avec les études archéobotaniques, l'analyse faunique permet de reconstituer l'environnement passé et la façon dont les populations interagissaient autrefois avec les plantes et les animaux. Les restes les plus fréquemment découverts sont les ossements et les dents, mais on peut également retrouver des coquilles de mollusques, des plumes, des écailles de poissons, des fragments de coquilles d'œufs, des restes d'insectes ou des excréments d'animaux.

Les conditions de conservation varient énormément en Afrique subsaharienne et certaines régions ne livrent que très peu de faune. Les sols acides présents dans de grandes portions de l'Afrique entraînent la dissolution de la partie minérale des os, dents ou coquillages. Les restes fauniques trouvés dans ces régions proviennent donc principalement de grottes ou de structures particulières telles que des fosses, dans des sites plutôt récents. Un ensevelissement profond et rapide des restes animaux est essentiel pour une bonne conservation car il limitera la surface d'érosion et la destruction par les charognards, les bactéries et les moisissures. Les différents tissus animaux ont aussi des potentiels de préservation variables : l'émail de la dent se conserve mieux que la dentine ou que l'os, et l'os compact d'un mammifère se conserve mieux que l'os fin d'un oiseau. Cette conservation différentielle doit être gardée à l'esprit lorsqu'on interprète les pourcentages d'espèces ou la représentation des éléments du squelette au sein d'une même espèce. La présence exclusive de fragments dentaires de grands bovins sur un site est souvent le reflet de mauvaises conditions de conservation, par exemple.

Afin de ne pas biaiser les assemblages fauniques conservés sur un site, il est crucial d'effectuer un bon **échantillonnage**. Durant la fouille, les restes animaux peuvent être récoltés à la main dans la tranchée (**fig. 1**), mais il est important de tamiser le sédiment afin de retrouver les os plus petits qui, sinon, seront inévitablement perdus (**fig. 2**). L'expérience a montré que l'absence de tamisage induit une sous-représentation des petites espèces, mais aussi des petits os d'animaux de taille moyenne, voire de grande taille. Le tamisage, sec (**fig. 3**) ou humide selon le type de sol, s'effectue de préférence sur mailles de 2 mm. Cela garantit de retrouver les os de la plupart des mammifères, oiseaux et poissons. De

plus petits volumes de sédiments peuvent être échantillonnés séparément pour un tamisage plus fin sur mailles de 1 mm ou 0,5 mm, ce qui permet de corriger les valeurs obtenues au crible de 2 mm. De tels échantillons de sédiments peuvent également se partager avec les archéobotanistes qui s'intéressent par exemple aux graines et aux charbons de bois. Il est alors utile de s'accorder sur des stratégies d'échantillonnage avec les autres spécialistes avant la fouille. Lorsqu'on trouve des restes fauniques sur le site, il est important que les fouilleurs n'effectuent aucune sélection. Tous les restes d'animaux, y compris ceux qui peuvent sembler trop peu caractéristiques ou trop petits pour être identifiés, doivent être gardés pour être analysés par l'archéozoologue. De plus, la proportion de restes non identifiables dans un assemblage a également son importance car elle permet de mesurer le degré de fragmentation et donc l'état de conservation général. Il est évident que pour éviter que le matériel ne se détériore après la fouille, il faut veiller à l'emballer dans un sachet et l'entreposer de manière adéquate, sans oublier de toujours bien l'étiqueter. Lorsque les os sont encore humides, il est **préférable de les laisser sécher lentement, sans exposition directe au soleil** car un séchage trop rapide pourrait les faire éclater. En outre, des os humides emballés dans des sacs plastiques peuvent être attaqués par la moisissure. De même, les étiquettes peuvent être détruites si elles ne sont pas plastifiées ou protégées par un petit sachet en plastique. Il n'est pas nécessaire de trier les restes fauniques par groupe zoologique, l'archéozoologue le fera. Mais il est très important de veiller à emballer les restes plus petits et plus fragiles séparément des restes plus volumineux, car cela réduira les risques de dommages. Lorsqu'il s'avère que des objets finis ou semi-finis sont faits d'os, d'ivoire ou de coquillages, on les conserve souvent séparément en tant qu'artefacts. Il est utile de les montrer à l'archéozoologue qui peut fournir des informations sur la matière première utilisée.

L'**identification** de restes fauniques constitue l'étape suivante : trouver, pour chaque fragment, l'espèce animale et l'élément de squelette dont il provient. L'identification est basée sur la morphologie des os et leurs dimensions. D'autres informations pouvant parfois être tirées d'os isolés sont l'âge et le sexe de l'individu dont ils proviennent. On enregistre également les pathologies et les traces laissées sur les os, que ce soit par des hommes ou des animaux. Toutes ces données fournissent des informations utiles pour la reconstitution des modes de subsistance (stratégies de chasse, élevage et

¹ Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles.



Fig. 1. Os provenant principalement de bœuf et de perche du Nil, récoltés à la main dans une installation de préparation alimentaire de Hiérakonpolis, époque prédynastique, Égypte. Les couleurs variant du jaune au brun, au noir, au gris et au blanchâtre, illustrent les différents degrés d'exposition au feu. La barre d'échelle est de 5 cm . (Photo © W. Van Neer.)



Fig. 2. Minuscules os de poissons retrouvés au tamis à maille fine. Provenance : Quseir al-Qadim du Haut-Empire romain, Égypte. (Photo © W. Van Neer.)



Fig. 3. Tamisage sec sur un site de fouilles du Nord-Est du Nigeria. (Photo © P. Breunig, Frankfurt , réf. SFB 268.)



Fig. 4. Squelettes modernes de poissons de longueur connue, utilisés à titre de comparaison pour l'identification d'os de poissons archéologiques. Cela permet d'établir l'élément du squelette, ainsi que l'espèce et de proposer une estimation de la longueur du poisson correspondant. (Photo © IRNSB Bruxelles.)

abattage des troupeaux dans le cas d'espèces domestiques, pratiques saisonnières, etc.). Une identification adéquate requiert des collections de référence constituées de squelettes d'animaux modernes identifiés correctement. Idéalement, les restes fauniques doivent être étudiés dans un laboratoire, un institut ou un musée disposant de vastes collections de spécimens comparatifs (**fig. 4**). L'Afrique compte quelques institutions correspondant à ces exigences, par exemple le National Museums of Kenya, ou l'IFAN, à Dakar, qui dis-

pose également de l'équipement nécessaire à la préparation des squelettes. Un archéozoologue bien entraîné peut aussi réaliser la majeure partie de l'identification sur le terrain, en utilisant une collection de référence limitée qu'il aura emportée avec lui. Manuels d'identification, atlas et publications traitant d'ostéométrie sont des outils utiles pour réaliser une identification sur le terrain ou au laboratoire, mais il est franchement déconseillé qu'un chercheur inexpérimenté effec-

tue des identifications sur cette seule base. Les atlas (**fig. 5**) fournissent des informations en deux dimensions seulement et ne reflètent pas la variation morphologique qui existe au sein d'une même espèce. L'identification de l'archéofaune africaine peut être problématique pour certains groupes zoologiques qui comprennent de nombreuses espèces de taille et de morphologie semblables. C'est le cas, par exemple, des antilopes et des poissons-chats. Certains éléments squelettiques peuvent être très caractéristiques (comme les mâchoires, les dents ou les parties internes osseuses des cornes) mais d'autres, tels que les côtes ou les vertèbres, ne peuvent généralement qu'être attribués à une classe de taille et seront par exemple étiquetés « bovidé de taille moyenne ». À côté de la faune sauvage africaine très variée, l'archéozoologue doit souvent aussi prendre en compte la présence possible d'animaux domestiques. Il n'est pas toujours simple de les reconnaître (voir Linseele, ce volume, pp. 214-217) : dans le cas de bovins domestiques, il peut exister des chevauchements avec le buffle africain ou de grandes antilopes, tant au niveau de la morphologie que des dimensions. Les moutons et les chèvres devront être distingués des antilopes de taille moyenne (telles que le céphalophe, l'oribi, etc.). Il n'est pas plus aisé d'identifier les poules domestiques qu'il convient de distinguer des nombreux galliformes sauvages qui peuplent l'Afrique (pintade, francolin ou perdrix). Étant donné l'importance attachée à la domestication et à la propagation des animaux domestiques, il est nécessaire de disposer d'études anatomiques comparatives de base qui définissent les caractères permettant de reconnaître les animaux domestiques. Cela a déjà été réalisé pour distinguer le bovin domestique du buffle africain, mais d'autres groupes tels que les galliformes doivent encore être analysés en détail. L'absence de tels travaux est principalement due au manque de squelettes comparatifs pour les diverses espèces. L'avancée de nos connaissances relatives à la poule domestique ne dépendra donc pas seulement de la disponibilité de nouveaux assemblages fauniques, mais aussi, parallèlement, des efforts visant à étendre les collections de référence modernes.

Une fois les identifications effectuées, les données peuvent être quantifiées et interprétées. La **quantification** consiste habituellement à compter le nombre de fragments identifiés (le *Number of Identified Specimens*, NISPs). Une seconde méthode, qui n'exclut pas la première, comporte le pesage individuel des os (*weighing*), partant de l'hypothèse de l'existence d'une relation entre masse osseuse et quantité de nourriture fournie par cette espèce. Établir le nombre minimum d'individus (*Minimum Number of Individuals* – MNIs) est une pratique qui n'est plus courante et n'est normalement plus appliquée que dans les cas où l'on

trouve des animaux complets. Il peut s'agir d'animaux enterrés intentionnellement ou de carcasses d'individus morts naturellement et qui se sont retrouvés dans une structure qui a pu fonctionner comme un piège. Les données sont présentées sous forme de tableaux et contiennent normalement des listes d'espèces indiquant pour chacune le nombre de restes identifiés, et d'autres listes reprenant la distribution des différents éléments du squelette.

La première étape de l'**interprétation** des restes fauniques consiste à comprendre comment ceux-ci ont été déposés et ce qui leur est arrivé entre le moment où un animal est mort et celui où ses restes ont été découverts durant la fouille. Cette **analyse** dite « **taphonomique** » doit précéder la reconstitution de l'environnement passé et des stratégies de subsistance. Bien que les humains soient habituellement les principaux accumulateurs de restes fauniques sur un site archéologique, d'autres agents peuvent également y contribuer. C'est particulièrement évident dans les grottes où les animaux peuvent mourir naturellement. Cela concerne non seulement les espèces troglodytes comme les chauves-souris, mais aussi des animaux blessés ou malades qui ont pu se réfugier dans les grottes. De tels animaux se reconnaissent à leur squelette plus ou moins complet et à la bonne conservation des os. Certains rapaces peuvent se percher près de l'entrée de grottes et leurs pelotes de réjection, qui contiennent principalement des os de petits mammifères et d'oiseaux, peuvent s'accumuler sous leurs perchoirs. Des restes de squelettes d'animaux plus grands peuvent être apportés par des carnivores comme des léopards et des hyènes ; ils sont habituellement reconnaissables à des modifications caractéristiques : traces de rongement et perforations, os patinés par les sucs gastriques. Un autre accumulateur produisant des marques caractéristiques est le porc-épic. Ce grand rongeur récolte des os (et des morceaux de pierre tendre) qu'il ronge pour aiguiser ses incisives (**fig. 6**). Un autre point à retenir est que tout matériel faunique qui se révèle associé à des restes culturels n'en est pas nécessairement contemporain. Certaines espèces sont fousseuses et peuvent non seulement perturber la stratigraphie d'un site, mais également introduire du matériel osseux plus récent quand des individus meurent dans leurs terriers. Outre ces intrusions tardives, un assemblage faunique peut aussi inclure des intrusions géologiques, à savoir des restes de nombreux animaux plus anciens qui étaient déjà présents dans le substrat lorsque les humains ont commencé à occuper le site, qu'ils ont remodelé par la suite. Il est évident que les intrusions tardives et géologiques ne doivent pas être utilisées pour la **reconstitution de l'environnement**. Les espèces dites « pénécotemporaines » qui n'ont pas

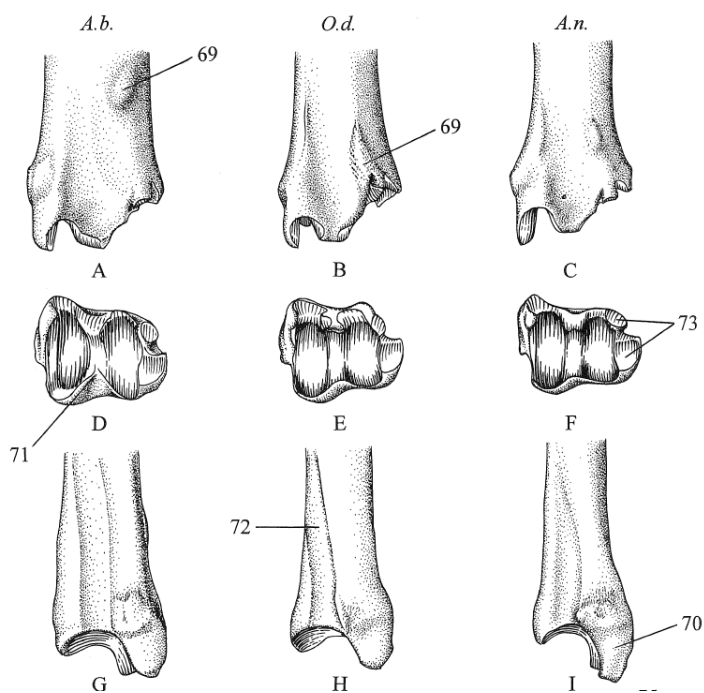


Fig. 5. Extrait d'un atlas d'identification illustrant les critères diagnostiques de trois antilopes africaines : bubale roux, oryx et addax. Cette planche montre le tibia distal du bubale roux (*A.b.*), de l'oryx (*O.d.*) et de l'addax (*A.n.*). (Extrait de Peters, J., Van Neer, W. & Plug, I. 1997. *Comparative postcranial osteology of Hartebeest (*Alcelaphus buselaphus*), Scimitar Oryx (*Oryx dammah*) and Addax (*Addax nasomaculatus*), with notes on the osteometry of Gemsbok (*Oryx gazella*) and Arabian Oryx (*Oryx leucoryx*). Collection « Annales de Sciences zoologiques », n° 280. Tervuren : MRAC, 83 p.)*

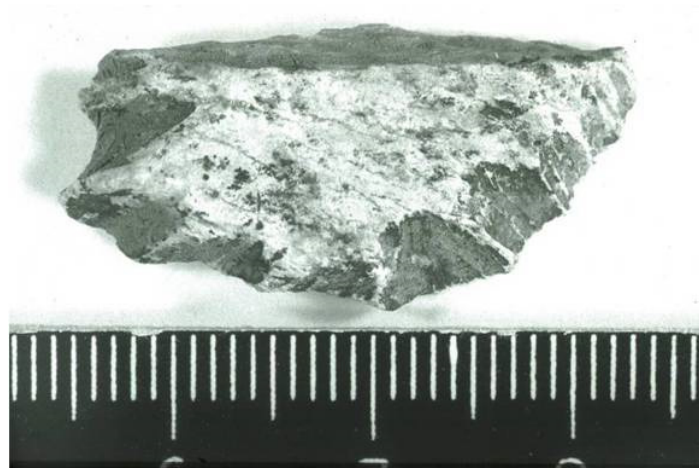


Fig. 6. Fragment d'os long modifié de mammifère de taille moyenne provenant du niveau de l'Âge de Pierre récent des grottes de Matupi (Congo). La pièce ressemble à un microlithe à bord abattu, mais il s'agit en réalité d'un os rongé par un porc-épic, d'un faux outil en os. Les porcs-épics sont de grands rongeurs qui aiguisent leurs incisives, à croissance constante, sur de la pierre tendre ou de l'os. (Photo © W. Van Neer.)

été déposées intentionnellement par des humains, mais ont vécu et sont mortes naturellement sur le site au moment de l'occupation humaine (petits rongeurs, oiseaux, lézards, etc.) peuvent être intégrées dans l'analyse paléoécologique. En utilisant les besoins écologiques de l'espèce animale rencontrée, il est possible de reconstituer l'environnement passé, même si les résultats obtenus sont généralement moins précis que ceux des analyses archéobotaniques. Cependant, la faune donne souvent des informations complémentaires et, dans le cas où aucun reste botanique n'a été préservé, elle est alors seule à permettre des reconstitutions paléo-environnementales.

Le matériel anthropogénique d'un assemblage faunique permet de documenter l'**interaction entre les humains et les animaux** dans leur environnement. Cela inclut la reconstitution de leur approvisionnement en nourriture : celle-ci était-elle constituée de charognes ou obtenue par chasse et par pêche, ou bien l'élevage faisait-il partie des stratégies de subsistance ? En plus d'être une source de nourri-

ture, les animaux peuvent également fournir des matériaux bruts tels que l'os, l'ivoire, la corne, les tendons, la peau, etc. Les objets finis et semi-finis ou les déchets des activités d'artisanat méritent d'être étudiés car ils permettent la reconstitution du processus de fabrication. Les animaux et leurs produits jouent souvent un rôle dans les pratiques religieuses ou rituelles, même s'il n'est pas toujours aisé à démontrer. Les animaux inhumés ou trouvés associés à des corps humains en sont des cas évidents. Parfois, les sites fournissent des restes d'espèces animales qui sont absents de la faune locale et dans ce cas fournissent des informations sur les mécanismes de commerce et d'échange du passé. Les cauris sont un exemple caractéristique de tels produits échangés sur de longues distances. Dans le cas de nourriture animale, le transport de longue distance ne sera possible que si une méthode de conservation lui a été appliquée (séchage, fumage, salage).

ÉTUDE DE CAS : DOMESTIQUÉ OU SAUVAGE ?

Veerle Linsele¹

I. QU'EST-CE QU'UN ANIMAL DOMESTIQUÉ ?

Il faut plusieurs générations d'élevage et de sélection sous le contrôle de l'homme pour que des animaux sauvages soient domestiqués et présentent des traits biologiques et des comportementaux différents de ceux de leurs ancêtres sauvages. Tandis que les animaux domestiqués peuvent avoir des fonctions multiples selon les espèces, ce sont principalement ceux qui sont utilisés comme ressources alimentaires qui ont profondément transformé les modes de vie des hommes. Leur introduction marque le début des économies productrices d'aliments ou « néolithiques ». Les principaux animaux domestiqués à des fins alimentaires en Afrique sont les bovins, les ovins, les caprins et la poule. L'élevage est souvent, mais pas nécessairement, associé à l'agriculture. L'identification des restes d'animaux domestiques dans les contextes archéologiques africains est, bien souvent, compliquée, mais elle est cruciale, en particulier lorsqu'on étudie l'apparition de la production d'aliments. Toutefois, y compris pour des périodes plus récentes, la connaissance des espèces animales domestiquées identifiées sur un site et de leur rôle dans l'économie présente une importante valeur interprétative.

II. L'IDENTIFICATION DES RESTES D'OS D'ANIMAUX DOMESTIQUÉS

L'archéologie africaine comporte certaines questions spécifiques quant à l'identification des espèces animales domestiquées. Le problème rencontré le plus souvent concerne probablement la distinction entre des bovins, ovins et caprins domestiques et les bovidés sauvages selon leurs classes de tailles respectives. En raison des difficultés de différenciation, on trouve souvent des catégories de bovidés indéterminés dans les listes d'espèces, habituellement classés par taille : petits bovidés, bovidés de taille moyenne, etc. Un autre problème récurrent réside dans la distinction entre le chien domestique et les chacals, ses cousins sauvages (mais pas ses ancêtres !), distinction qui n'est décelable que dans peu de parties du squelette. Séparer poule et la pintade des espèces sauvages appartenant au même ordre biologique des galliformes sur la seule base des os reste problématique. Selon les régions du continent, d'autres questions peuvent émerger.

Les ancêtres sauvages de la chèvre et du mouton ne sont jamais apparus en Afrique et aucune confusion n'est donc possible entre formes sauvages et domestiques. Dans la zone méditerranéenne, la vallée du Nil et d'autres parties de

l'Afrique du Nord, les bovins sauvages ou aurochs faisaient partie de la faune locale pendant l'Holocène. Par conséquent, lorsqu'on trouve des bovins sur des sites archéologiques, il faut déterminer leur statut sauvage ou domestique. Concernant les os eux-mêmes, la taille est le critère principal applicable. La forme domestique est en moyenne plus petite que la forme sauvage, mais il y a des chevauchements. On recourt donc aussi fréquemment à des preuves circonstancielles. L'importance d'une identification correcte est illustrée par la controverse portant sur le statut des bovins anciens de Nabta Playa et Bir Kiseiba dans le Désert de l'Ouest, en Égypte (VIII^e millénaire avant J.-C.). Ces bovins ne sont pas (encore) plus petits que leurs formes sauvages. On présume qu'ils n'auraient pu survivre sans que les hommes prennent soin d'eux, d'où la conclusion qu'ils étaient domestiqués. L'argument global en faveur d'une domestication locale des bovins africains tourne autour de ce cas. C'est seulement au VI^e millénaire avant J.-C. qu'apparaissent dans la zone de Nabta Playa/Bir Kiseiba des bovins dont il est communément admis qu'ils étaient domestiqués. Leurs mensurations sont, à partir de cette époque, différentes de celles de leur forme sauvage et ils sont également accompagnés de moutons et chèvres domestiques. En Afrique du Nord et de l'Est, faire la différence entre âne sauvage et domestique peut également s'avérer problématique.

En Afrique de l'Ouest, la pintade de Numidie (**fig. 1**) occupe une place particulière. Les conditions de vie des animaux gardés en captivité sont très proches de celles de la nature et le statut d'animal domestique est donc discutable. Néanmoins, la sous-espèce ouest-africaine a été désignée comme étant l'ancêtre de la pintade domestique, qui s'est depuis répandue dans de nombreuses parties du monde. Aucun critère n'a été défini pour distinguer la pintade sauvage de son homologue domestique d'après le squelette. Seul un site préhistorique en Afrique de l'Ouest, Gajiganna BII au Nigeria (début du I^{er} millénaire avant J.-C.) est connu pour abriter un taux relativement élevé d'os de pintade. Bien qu'un changement dans le spectre des espèces puisse être un indicateur de domestication, ce critère est probablement insuffisant. À l'heure actuelle, les preuves archéologiques n'autorisent pas les chercheurs à décider si l'exploitation de la pintade en Afrique de l'Ouest a constitué une évolution purement locale, ou si elle a été déclenchée par l'introduction de poules exotiques.

D'autres questions relatives aux espèces domestiquées portent sur la séparation de taxons apparentés, ovins et caprins ou chevaux et ânes par exemple. Ces derniers peuvent

¹ Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles.



Fig. 1. Pintade « captive » dans le nord du Nigeria. (Photo © V. Linseele.)

en outre engendrer des hybrides (mulets et bardots), ce qui complique encore l'identification. En l'occurrence, une identification précise est également importante pour l'interprétation, le cheval étant par exemple habituellement associé à des populations plus riches que les ânes.

III. LES ANIMAUX DOMESTIQUÉS DANS LES LISTES D'ESPÈCES DES SITES ARCHÉOLOGIQUES

Dans les listes d'espèces, on sépare en général les animaux domestiques des animaux sauvages, et une troisième catégorie est souvent ajoutée pour les animaux dont le statut en la matière n'est pas clarifié, en raison de problèmes d'identification. La liste d'espèces de Saouga 95/7, un site de l'Âge du Fer tardif (1000-1400 après J.-C.) au Nord du Burkina Faso, est donnée à titre d'exemple (fig. 2). Il existe deux principaux systèmes de noms scientifiques pour les espèces domestiques. Le chien est par exemple nommé *Canis lupus* f. *familiaris* dans le premier. Les deux premiers termes, en italique, se réfèrent à l'ancêtre sauvage, le loup en l'occurrence, et après f. est donnée la spécification de la forme domestique. Dans le second système, le chien est appelé *Canis familiaris*. Le premier système met l'accent sur la relation entre la forme domestique et l'espèce sauvage ancestrale, tandis que le second, appelé système linnéen, est sous-tendu par une approche typologique mettant plutôt en avant les différences morphologiques entre formes domestique et sauvage.

IV. ÉTUDES ARCHÉOMÉTRIQUES DES OS D'ANIMAUX DOMESTIQUÉS

L'analyse d'ADN anciens (ADNa) s'est révélée particulièrement utile dans l'étude des (premières) formes domestiques. Un exemple frappant en est donné par une étude d'os de canidés provenant de sites multiples en Afrique du Sud, identifié comme chien, sur base du fait que les restes étaient associés à d'autres espèces domestiquées, mais qui s'est avéré être un chacal après analyse ADNa. L'échantillonnage et le

Héron goliath (<i>Ardea goliath</i>)	1
Pintade de Numidie (<i>Numida meleagris</i>)	1
Columbidés (Columbidae)	2
Oiseaux sauvages identifiés	4
Oiseaux domestiques identifiés: poule (<i>Gallus gallus</i> f. <i>domestica</i>)	4
Oiseaux sauvages ou domestiques identifiés: grand gallinacé	56
Oiseaux non-identifiés	17
Coquille d'oeuf d'oiseau non-identifié	30
Hérisson à ventre blanc (<i>Atelerix albiventris</i>)	4
Musaraigne à dents blanches (<i>Crocidura</i> sp.)	1
Lièvre (<i>Lepus capensis/saxatilis</i>)	19
Rat du nil (<i>Arvicanthis niloticus</i>)	2
Petit rongeur	76
Herpestidé (Herpestidae) ou viverridé (Viverridae)	2
Renard pâle (<i>Vulpes pallida</i>)	2
Phacochère (<i>Phacochoerus africanus</i>)	2
Céphalophe de Grimm (<i>Sylvicapra grimmia</i>)	1
Ourébi (<i>Ourebia ourebi</i>)	1
Céphalophe de Grimm (<i>Sylvicapra grimmia</i>) ou Ourébi (<i>Ourebia ourebi</i>)	8
Gazelle à front roux (<i>Eudorcas ruffrongs</i>)	
Antilope de taille moyenne	1
Mammifères sauvages identifiés	123
Chien (<i>Canis lupus</i> f. <i>familiaris</i>)	176
Cheval (<i>Equus ferus</i> f. <i>caballus</i>)	1
Cheval (<i>Equus ferus</i> f. <i>caballus</i>) ou âne (<i>Equus africanus</i> f. <i>asinus</i>)	2
Mouton (<i>Ovis ammon</i> f. <i>aries</i>)	7
Chèvre (<i>Capra aegagrus</i> f. <i>hircus</i>)	11
Mouton (<i>Ovis ammon</i> f. <i>aries</i>) ou chèvre (<i>Capra aegagrus</i> f. <i>hircus</i>)	89
Boeuf (<i>Bos primigenius</i> f. <i>taurus</i>)	46
Mammifères domestiques identifiés	332
Carnivore de taille moyenne	77
Bovidé de taille petite	284
Mammifères sauvages ou domestiques identifiés	361
Mammifères non-identifiés	6400
Humain (<i>Homo sapiens sapiens</i>)	8
TOTAL	7848

Fig. 2. Taxons d'oiseaux et de mammifères identifiés de Saouga 95/7. Dans la mesure où tous les os identifiés comme de canidés provenaient de chiens, ils ont tous été classés dans cette catégorie. (Extrait du tableau D.11 in Linseele 2007.)

stockage des échantillons utilisés pour les études génétiques doivent être réalisés de manière adéquate, les protocoles doivent être planifiés bien en amont avec des spécialistes et pris en compte pendant les fouilles. Lorsqu'on étudie les premières apparitions d'espèces domestiquées, on doit envisager de procéder à des datations au radiocarbone directement sur les os concernés. Cela permet au chercheur de reconstruire de manière fine et fiable la temporalité de leur introduction. Des techniques relativement nouvelles, telles que les études des isotopes stables, sont elles aussi généralement employées sur les restes d'espèces domestiques plutôt que sauvages. Elles peuvent être utilisées pour reconstituer les stratégies d'alimentation et d'élevage. Une application intéressante venant d'Afrique a été réalisée sur la corne préservée de bucranes de bovin de la période Kerma classique (1750-1500 avant J.-C.) à Kerma au Soudan. Les résultats suggèrent que les nombreuses bêtes offertes provenaient de différentes parties du royaume. Dans de nombreuses régions d'Afrique, les problèmes de conservation compliquent la mise en œuvre des techniques archéométriques. Souvent, seule la fraction minérale de l'os est préservée, ce qui signifie, par exemple, que les études d'ADNa sont alors impossibles.

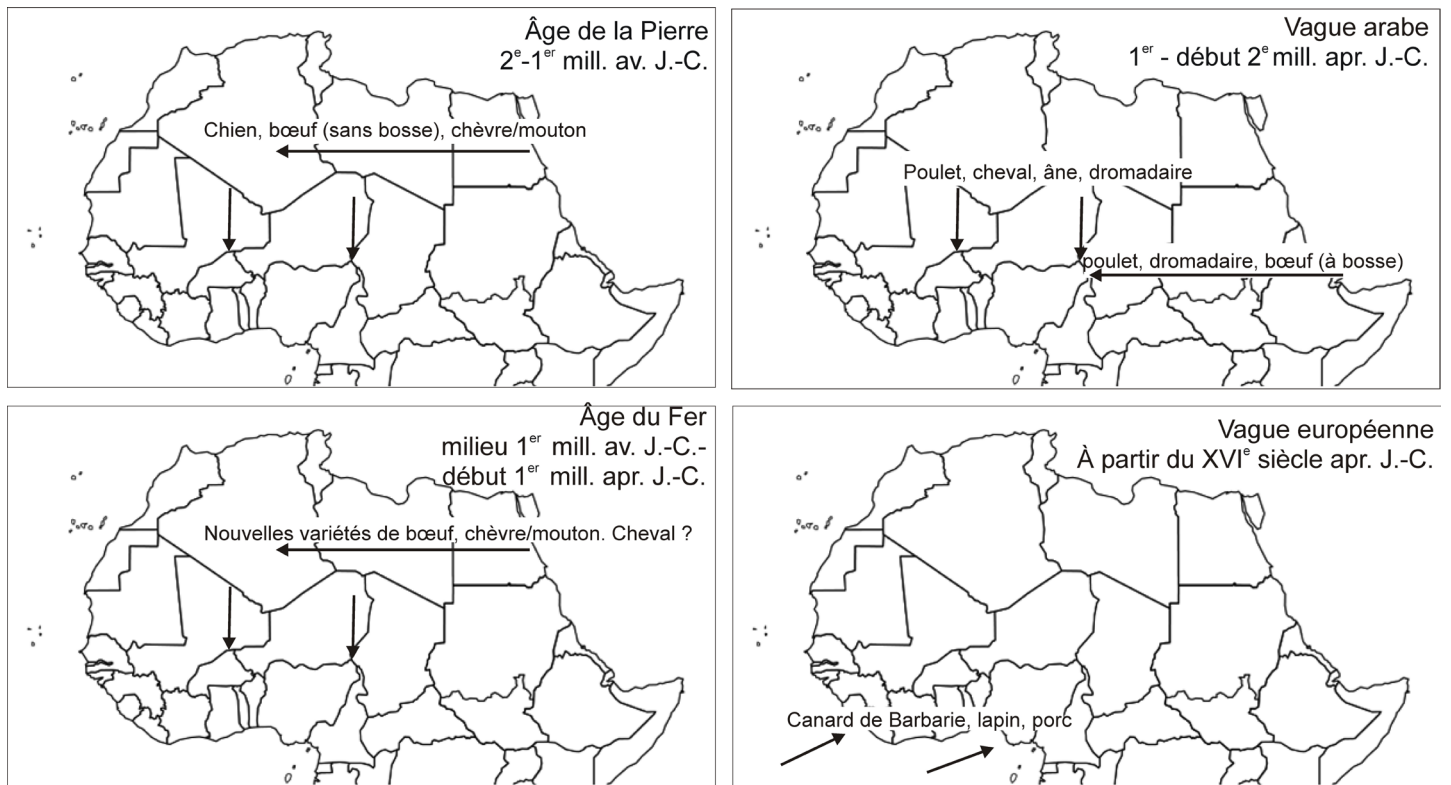


Fig. 3. Les quatre « vagues » d'introduction d'animaux domestiqués dans le Sahel ouest-africain (figures réalisées par V. Linseele.)

V. LA TAPHONOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUÉS

Avant de se lancer dans l'interprétation, il faut toujours se demander comment et pourquoi les animaux sont arrivés sur le site, procédure faisant partie de l'étude taphonomique. Les animaux domestiques peuvent avoir été employés en raison de l'énergie qu'ils pouvaient fournir (par exemple chevaux, ânes, mais aussi bovins), comme sources de matière première pour fabriquer toutes sortes d'objets, ou bien ils ont pu être de simples animaux de compagnie (par exemple les chiens ou les chats). La plupart du temps, toutefois, ils ont été consommés. Une conception erronée parmi les archéologues soutient qu'il faut des traces de boucherie et/ou de brûlage pour le prouver. Ces empreintes manquent souvent, en particulier sur les sites préhistoriques, et le simple fait d'avoir trouvé des animaux désarticulés ou mélangés avec d'autres espèces peut être utilisé comme argument en faveur de la consommation. Néanmoins, concernant des animaux dont la consommation est plus inhabituelle, des traces sont utiles. Des marques de coupures sur les os de chiens ont été par exemple utilisées pour soutenir que l'espèce était apparue dans l'alimentation à Saouga 95/7 au Burkina Faso (1^{ère} moitié du second millénaire après J.-C.). Souvent, le brûlage n'est pas relié à la préparation de la nourriture, car l'adhérence de la chair aux os les protège d'une exposition directe au feu. La plupart des animaux trouvés sur les sites archéologiques le sont sous la forme de restes alimentaires et des espèces qui étaient importantes mais n'étaient pas consommées peuvent être difficiles à récupérer. Les carcasses

de chevaux et de dromadaires étaient, par exemple, probablement jetées la plupart du temps hors de l'implantation et on a par conséquent très peu de chance de les retrouver.

VI. INTERPRÉTER LES RESTES DES ANIMAUX DOMESTIQUÉS

Tandis qu'en Afrique du Nord-Est, certaines espèces – dont les bovins, ânes et chats – ont (peut-être) été domestiquées localement, cela n'a été le cas d'aucun animal en Afrique subsaharienne avant l'ère moderne, exception faite, peut-être, de la pintade. On peut sans doute l'expliquer par le manque d'espèces sauvages possédant des traits biologiques propices à leur domestication. Les taxons d'animaux domestiqués provenant d'Afrique sub-saharienne ont tous été introduits de l'extérieur à un moment donné. Pour les espèces essentielles (bovins, ovins, caprins), les dates sont généralement plus récentes à mesure que l'on s'éloigne du Nord-Est du continent, mais nos connaissances restent très lacunaires quant à leur diffusion. L'introduction d'un nouveau taxon dans une région donnée à une certaine époque peut être mise en relation avec des mouvements de populations ou des contacts interrégionaux. Pour l'Afrique de l'Ouest, on a par exemple suggéré l'existence de quatre vagues d'introduction (**fig. 3**). Dans le domaine des animaux domestiques, il existe de nombreux types (« races ») d'une espèce donnée. Ces types se sont souvent développés localement en s'adaptant à l'environnement de la zone. Dans les régions les plus humides d'Afrique de

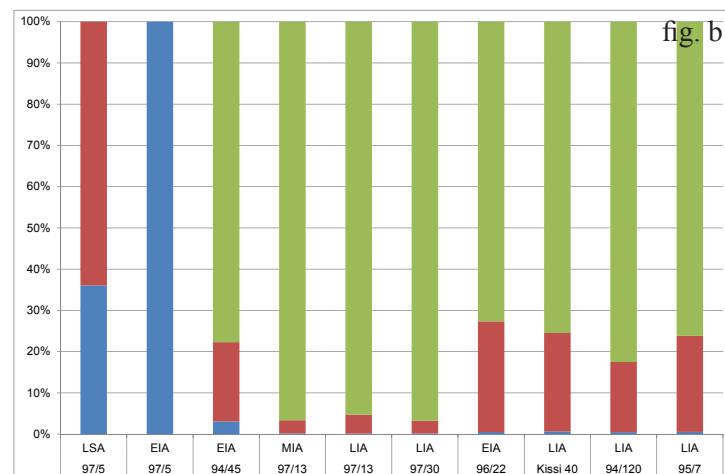
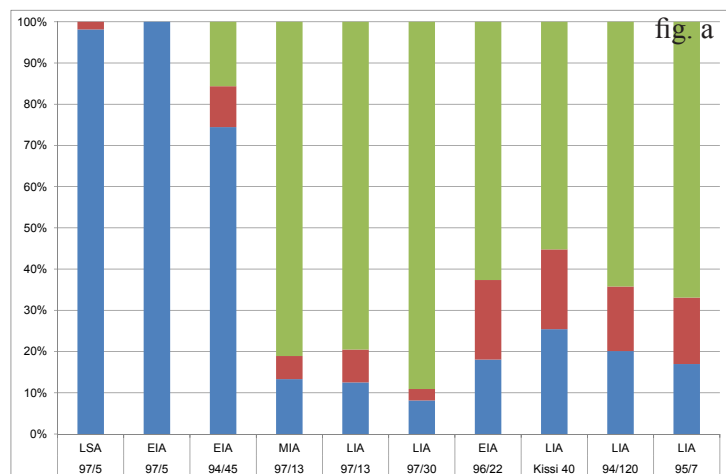


Fig. 4. Importance relative de différentes stratégies économiques de localités de l'Âge de la Pierre inférieure (2200-1000 avant J.-C.) et de l'Âge du Fer (0-1400 après J.-C.) dans le Nord du Burkina Faso. Bleu : pêche ; rouge : chasse dont gibier à plumes ; vert : bétail domestique. **a.** Basé sur le NSPI (nombre de spécimens identifiés) ; **b.** Basé sur le NSPI multiplié par le poids vif moyen. (Extrait de la fig. 49a et la fig. 50b in Linseele 2007.)

l'Ouest, par exemple, on trouve des formes bovines, ovines, caprines et chevalines naines. Il semble qu'il y ait un lien entre le nanisme et la résistance aux maladies liées à l'humidité. Les données archéozoologiques, principalement métriques, permettent de suivre les différents types dans le passé.

L'importance quantitative des animaux domestiques dans la faune totale est en général prise en compte dans l'interprétation. Cela peut se faire en observant le nombre d'os (**fig. 4a**), qui reflète principalement la fréquence de la consommation, ou le nombre d'os multiplié par le poids vif, qui exprime les quantités de viande (**fig. 4b**), mais il existe bien d'autres méthodes. Il y a une corrélation entre le caractère favorable d'un environnement à l'entretien d'animaux domestiques et leur taux de présence dans les échantillons archéologiques. Dans les zones plus humides et luxuriantes d'Afrique occidentale, la faune sauvage est habituellement plus importante, dans la mesure où le bétail est sujet aux maladies. En outre, la proportion relative des différentes espèces domestiquées est analysée. S'il y a plus d'ovins/caprins que de bovins, cela signale en général des environnements plus difficiles, car ces espèces sont moins exigeantes. La prédominance des ovins/caprins est un schéma que l'on retrouve par exemple sur les tertres d'occupation du I^{er} et du début du II^e millénaire après J.-C. au Burkina Faso. Les animaux élevés par des populations sédentaires sont dépendants du milieu local, tandis que les troupeaux nomades peuvent se déplacer en fonction de la localisation des ressources qui leur conviennent le mieux. Dans les enregistrements archéologiques, les agriculteurs sédentaires sont surreprésentés par rapport aux éleveurs nomades, car ces derniers laissent beaucoup moins de traces.

Des distributions fondées sur l'âge au moment de la mort, présentées comme des profils de mortalité, sont établies pour déterminer si les bovins, ovins et caprins étaient élevés pour leur lait en plus d'être abattus pour leur viande. Cela nécessite de larges jeux de données précises sur l'âge de la mort, obtenus de préférence à partir de séries de rangées (complètes) de dents. Malheureusement, les conditions de conservation en Afrique sub-saharienne ne permettent habituellement pas de collecter des données de ce type en suffisance. Il existe toutefois d'autres manières de repérer l'usage du lait, par exemple *via* l'analyse des résidus organiques dans les poteries, qui a révélé un usage répandu du lait dans la Préhistoire libyenne (V^e millénaire avant J.-C.). Si l'on se fonde sur les données issues de variétés modernes, la productivité laitière de la plupart des bovins ouest-africains paraît faible. Le sang d'animaux vivants est parfois consommé, mais il ne semble jouer qu'un rôle marginal dans l'alimentation humaine. Les œufs des volailles domestiquées n'étaient probablement pas très importants non plus dans le passé, mais ce fait est difficile à prouver car les identifications précises de débris de coquilles d'œufs d'oiseaux sont délicates.

Les témoignages ethnographiques, ceux portant par exemple sur les Talensi du Ghana, nous apprennent que (certaines) des espèces domestiquées ont dû servir à des sacrifices animaux. Le poulet est en particulier supposé avoir été populaire dans le champ rituel. Les preuves archéologiques sont très limitées, probablement en raison des pratiques sacrificielles elles-mêmes, les produits utiles étant emportés et les restes rapidement enlevés par des animaux prédateurs. Les enterrements d'animaux domestiques, bovins mais aussi chiens, sont bien connus au Sahara et sur ses franges méridionales, par exemple à Adrar Bous au Niger.

BIBLIOGRAPHIE

Linseele, V. 2007. *Archaeofaunal remains from the past 4000 years in Sahelian West Africa. Domestic livestock, subsistence strategies and environmental changes*. Oxford : Archaeopress (coll. « British Archaeological Reports » S1658 ; coll. « Cambridge Monographs in African Archaeology » 70), 340 p.

LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE DE L'AFRIQUE CENTRALE : EXEMPLES D'APPROCHES GÉOARCHÉOLOGIQUES, CONTRAINTES ET ATOUTS

Dominique Schwartz¹

Au même titre que les sédiments, les sols recèlent des sites archéologiques et archivent les dynamiques paléoenvironnementales. Mais la lecture des archives pédologiques nécessite des clefs particulières, car les sols sont des milieux ouverts. De plus, les sols de l'Afrique équatoriale (ferrallitols : Baize & Girard 2008) ont des spécificités dont il faut tenir compte.

I. LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE ÉQUATORIALE

Les ferrallitols sont très épais : une couverture meuble de 2 à 5 m au-dessus des altérites est fréquente. Leur histoire est longue : il faut une durée de l'ordre de 100 000 ans pour les former. La durée potentielle de l'archivage est donc importante, plusieurs centaines de milliers d'années parfois. Cependant, en Afrique centrale, force est de constater que des industries acheuléennes, ou plus vieilles, sont très rares dans les sols, contrairement à l'Âge de la Pierre moyen très commun aux deux Congo, au Gabon et au Cameroun et daté et dans la région entre 40 000 et 70 000 ans. À l'exception des coupes fraîches réalisées lors de la construction de routes, ces industries ne sont en général pas observables, car cachées en profondeur dans des sols recouverts de forêts. Ce n'est que dans les savanes érodées (Nyanga, Lopé, Niari...) que l'on peut les observer en surface, mais remaniées et mélangées à d'autres industries plus récentes. Par ailleurs, l'acidité générale des ferrallitols, dont le pH varie de 4,5 à 6, l'importance des flux hydriques, l'intensité de l'altération et de l'activité biologique limitent la conservation des artefacts et sont susceptibles d'induire des biais taphonomiques. Bois et ossements s'y conservent très mal ; les céramiques et parfois même les industries lithiques s'y altèrent vite.

II. LES REMANIEMENTS BIOLOGIQUES ET LEURS INCIDENCES ARCHÉOLOGIQUES

Le considérable brassage de la terre par la macrofaune, notamment les termites, est un des éléments les plus remarquables de l'activité biologique des ferrallitols. Certaines espèces sont susceptibles de remonter en surface, et en grande quantité, des matériaux collectés à plusieurs mètres de profondeur. La terre peut recouvrir progressivement des éléments grossiers, naturels ou anthropiques, qui subissent

un enfoncement relatif. Cette dynamique a été théorisée dans les milieux tempérés pour expliquer la répartition des charbons de bois dans les sols (Carcaillet & Talon 1996) par l'activité des lombrics. Ce modèle s'applique aussi à la répartition de charbons de bois, de céramiques ou de matériel lithique dans les ferrallitols.

Deux cas de figure au moins doivent être distingués :

Les sites archéologiques des périodes les plus récentes jusqu'au Néolithique se trouvent en général à moins d'un mètre de profondeur dans les sols. Les artefacts sont souvent dispersés sur une épaisseur assez importante de 30 à 50 cm. Un tel mode de répartition peut être le signe que les objets ont migré par voie biologique dans le sol, et que le niveau de concentration ne correspond pas à une surface de circulation recouverte par des sédiments plus récents : la surface de circulation est la surface du sol actuel, et les objets ont subi un enfoncement relatif. Pour trancher, il faut alors procéder à des observations de terrain très fines sur la disposition individuelle des objets, tessons en particulier, et compléter ultérieurement les observations par des analyses granulométriques et/ou minéralogiques des niveaux situés en dessous, au-dessus et au contact des artefacts. Le brassage peut aussi expliquer que des structures comme des trous de poteaux ne soient pas visibles.

L'action des termites a aussi été évoquée pour expliquer la genèse des *stone-lines*, si nombreuses dans les ferrallitols d'Afrique centrale, et de leur recouvrement. La synthèse de Schwartz (1996) détaille les processus de formation possibles ou impossibles des *stone-lines* en fonction de la nature du terrain et de leurs caractéristiques analytiques. Leur formation est complexe. Aucun mécanisme simple (remaniements biologiques, érosion, enfoncement gravitaire...), agissant à l'exclusive des autres, ne permet d'expliquer leur présence. En fait, elles correspondent à un pavage d'érosion, sur lequel les industries de l'Âge de la Pierre moyen sont en place. Leur recouvrement plurimétrique est dû à la remontée, par les termites, de matériaux fins transportés ensuite par colluvionnement à l'échelle des versants.

III. LA NÉCESSITÉ DE PROCÉDER À UNE DEMARCHE PÉDOSTRATIGRAPHIQUE

Ces deux exemples démontrent la nécessité d'appliquer sur le terrain africain une démarche pédostratigraphique. Il s'agit d'identifier, à partir de l'observation des caractères morphologiques d'une formation superficielle, les proces-

¹ Faculté de Géographie et d'Aménagement, Université de Strasbourg LIVE-UMR 7362, France.

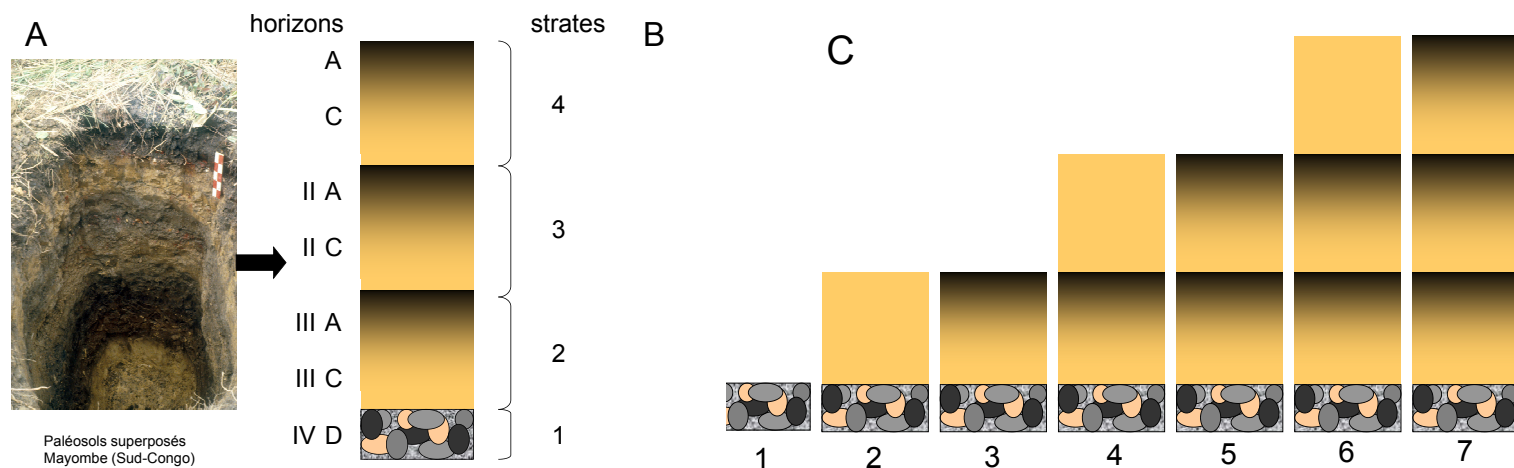


Fig. 1. Paléosols de Makaba (Mayombe central, Congo). **A.** Le profil de sol ; **B.** nomenclature pédologique (à gauche) et stratigraphique (à droite) ; **C.** les différentes phases de la mise en place des matériaux et de la pédogenèse : (1) : dépôt des alluvions grossières ; (2) : dépôt du premier niveau de colluvions ; (3) pédogenèse et individualisation des horizons A et C ; (4) : recouvrement par un deuxième niveau de colluvions ; (5) idem (3) ; (6) : enfouissement sous un troisième niveau de colluvions ; (7) idem (3) et (5). (Adapté de Schwartz 2012.)

sus qui relèvent des phases de mise en place de matériaux et ceux qui relèvent de la pédogenèse ultérieure. Ce distinguo n'est pas anodin. La confusion entre strates géologiques et horizons pédologiques peut aboutir à de graves malentendus, tant dans la compréhension du mode de mise en place des matériaux que dans les chronologies ou les interprétations paléoécologiques qui en découlent. Les exemples suivants illustrent ces propos.

A. Les paléosols du Mayombe (Schwartz 2012)

Dans les savanes incluses du Mayombe on peut observer localement, en bas de pente, des paléosols superposés. Sur le profil de la **figure 1**, on observe à la base un niveau de galets alluviaux (IVD) recouvert par un premier matériau colluvial (III), dans lequel se développe un sol peu évolué : au sommet des colluvions en cours de pédogenèse (horizon IIIC) se distingue un horizon humifère de surface (IIIA). Ce sol est enfoui sous un apport brutal de colluvions, dans lequel se différencie un nouveau sol (II) à profil AC, puis le processus se répète une dernière fois. On repère ainsi 7 horizons de sols, et 4 strates. Décrire 7 unités stratigraphiques serait ici une erreur.

B. Les « sables blancs et grès tourbeux » du pays Bateke (Schwartz 1985 ; 2012)

Les « sables blancs et grès tourbeux » du pays Bateke et du Malebo-Pool sont décrits depuis la première moitié du XX^e siècle (Babet 1933 ; de Heinzelin 1952). Longtemps, les sables meubles et les « grès » – en fait des horizons spodiques cimentés en alios par des matières humiques – ont été décrits comme des strates (**fig. 2**). Des interprétations

variées ont été proposées au fil du temps par les géologues et géomorphologues : couches du Crétacé puis, après la découverte d'industries lithiques, formations quaternaires. En fait, il s'agit de sables Bateke, transformés en podzols par la pédogenèse il y a environ 40 000/30 000 ans. Sables blancs et grès tourbeux sont deux horizons E et BP, qui ont rigoureusement le même âge : le blanchiment des sables (E) par destruction des argiles, élimination du fer et migration des matières organiques solubles s'accompagne de la formation en profondeur d'un horizon d'accumulation humique (BP), ultérieurement induré. Une lecture stratigraphique des deux niveaux aboutit à des erreurs d'interprétation chronologique, dont l'archéologie peut pâtir.

C. Le podzol de la concession ORSTOM de Brazzaville (**fig. 3**)

Ces deux exemples illustrent la nécessité de comprendre les processus pédologiques pour fixer l'interprétation stratigraphique et son utilisation en archéologie. Le dernier cas montre à l'inverse comment la prise en compte des indices archéologiques peut aider à l'interprétation de la pédogenèse. Le podzol cité a eu une histoire très complexe révélée par la présence d'une industrie lithique du Tshitolién (Paléolithique supérieur) reposant sur l'alios humique (Schwartz 1988 ; Schwartz & Lanfranchi 1990). La présence de cette industrie, parfaitement en place, non perturbée par des remaniements biologiques, suggérerait que l'alios avait été une surface de circulation, et qu'il n'y avait pas de parenté génétique entre l'horizon E de sables blancs supérieur et l'horizon BP spodique induré sous-jacent. Cette « hérésie pédogénétique » a pourtant

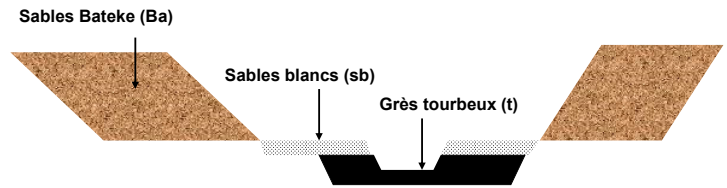
été confirmée par la teneur en phosphore de l'alios, 30 fois supérieure à la normale, et par le fait que cet alios humique se prolonge sous le ferrallisol de bordure, milieu où sa formation est impossible. L'explication réside dans le fait qu'un premier podzol a été décapé par l'érosion jusqu'à l'alios, plus résistant. Après recouvrement par du matériau de ferrallisol remanié latéralement, une deuxième phase de podzolisation a eu lieu, suivie par d'autres phases de pédogenèse plus discrètes. C'est bien ici la présence de l'industrie lithique qui a alerté le pédologue et permis d'arriver à ces conclusions. Sans cet indice, ces phénomènes auraient été impossibles à percevoir.

IV. EN COMPLÉMENT DU TERRAIN, L'ANALYSE DES CONSTITUANTS PÉDOLOGIQUES AU SERVICE DE L'ARCHÉOLOGIE

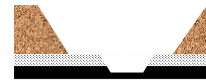
Les observations de terrain apportent beaucoup lorsqu'on sait déchiffrer la part du sédiment (mise en place des matériaux) de la part du sol (évolution post-dépositionnelle). Il est toutefois évident qu'il faut les compléter par des analyses de laboratoire. Certaines sont classiques : analyse granulométrique, ou encore mesure du phosphore total, dont les teneurs sont un indice d'anthropisation : par exemple, les teneurs de 12 % de l'alios de la concession ORSTOM sont 30 fois supérieures aux teneurs moyennes des sols de la région et ne peuvent s'expliquer que par un enrichissement d'origine anthropique, lié sans doute à un campement. D'autres analyses comme l'analyse anthracologique, l'identification des pollens et des phytolites sont couramment pratiquées en complément des études archéologiques. Il est toujours fondamental dans le cas de ces études de bien identifier la nature, sol ou sédiment, du matériau étudié. En effet, dans les sols, le brassage biologique aboutit à un mélange et à une dégradation des archives biologiques d'autant plus importants que ces constituants sont de taille minuscule.

Par ailleurs, l'Afrique centrale est un terrain idéal pour les études biogéochimiques fondées sur le carbone 13. En effet, les forêts, constituées exclusivement de végétaux à cycle de photosynthèse en C3, et les savanes dominées par les plantes C4 ont une composition isotopique ^{13}C très différente, qui se transmet aux matières organiques des sols. Il est ainsi possible, à partir de l'analyse de ces matières organiques, de savoir dans quel environnement, forestier ou savanicole, évoluaient les populations du passé. Ainsi, couplée à des mesures d'âge carbone 14, l'analyse carbone 13 des matières organiques des paléosols du Mayombe (voir section A. ci-dessus) montre qu'ils se sont formés sous savanes, et que celles-ci ont au moins 1800 ans. Ceci a démontré que, contrairement à une opinion courante dans les années 1970, les savanes ne sont pas des créations anthropiques récentes, consécutives à des

2A : UNE OBSERVATION DE TERRAIN...



2B : TROIS SCÉNARIOS STRATIGRAPHIQUES



- 1 - dépôt t
- 2 - dépôt sb
- 3 - dépôt Ba (au Tertiaire)
- 4 - incision



- 1 - dépôt t
- 2 - dépôt Ba (au Tertiaire)
- 3 - incision principale
- 4 - dépôt alluvial sb (Quaternaire)
- 5 - incision terrasse



- 1 - dépôt Ba (au Tertiaire)
- 2 - incision principale
- 3 - dépôt marécageux t (Quater.)
- 4 - dépôt alluvial sb (Quaternaire)
- 5 - incision terrasse

2C : INTERPRÉTATION PÉDOSTRATIGRAPHIQUE



- 1 - dépôt Ba (au Tertiaire)
- 2 - incision principale
- 3 - différenciation pédogénétique sb (= horizon E) + t (= horizon BP) (Quaternaire)
- 4 - incision terrasse

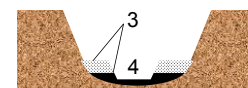


Fig. 2. Les « sables blancs » et « grès tourbeux » du pays Bateke (Congo et République démocratique du Congo). De l'observation de terrain (A) aux interprétations stratigraphiques (B), puis à la bonne explication (C). (Extrait de Schwartz 2012.)

défrichements. Des études spatialement plus conséquentes ont révélé que la forêt avait connu à l'Holocène supérieur une régression importante, qui avait pu faciliter la migration des techniques, populations ou cultures Bantu du nord au sud de la forêt équatoriale (Schwartz 1992).

V. DE LA NÉCESSITÉ DE DÉMÊLER LES FILS DU TEMPS

Un dernier point important est à souligner : la nécessité de savoir lire les temporalités spécifiques du sol. Celles-ci sont fondamentalement différentes de celles des sédiments, parce qu'à l'exception notable des paléosols enfouis, les

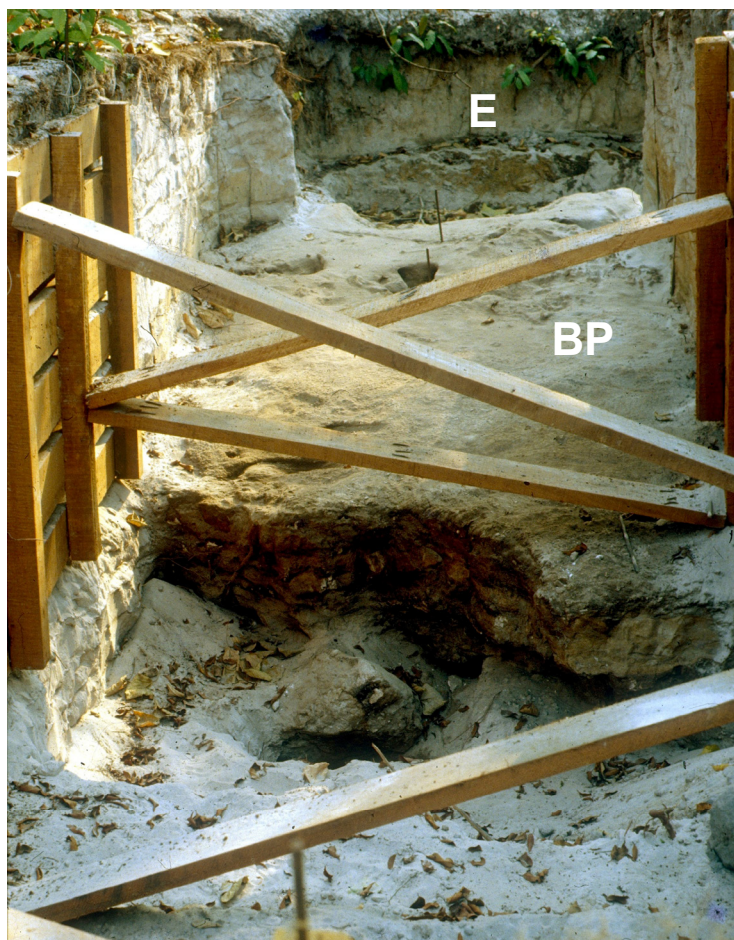


Fig. 3. Le podzol de la concession ORSTOM (Brazzaville, Congo) en cours de décapage (fouilles R. Lanfranchi, 1982). Au fond, l'horizon éluvé E (« sables blancs ») ; en plan moyen la surface de l'horizon spodique induré en alios humique (BP), dégagé lors des fouilles et correspondant à une surface de circulation ; au premier plan un escarpement rocheux fossilisé sous la topographie actuelle. (Photo © D. Schwartz.)



(1) Archives transitoires (2) Archives événementielles (3) Archives cumulatives

Fig. 4. Les différents types d'archives pédologiques (repris de Schwartz 2012). Les trois exemples présentés ici concernent des constituants organiques. (1) La matière organique des horizons de surface (ici dans des mottes éboulées) se renouvelle en permanence : c'est typiquement une archive transitoire ; (2) les fragments de bois fossilisés (ou les charbons) entrent dans le sol et y sont conservés de façon très épisodique, discontinue : ce sont des archives événementielles. Les datations carbone 14 de ces pivots racinaires s'échelonnent entre 3000 et 7500 BP ; (3) après migration depuis les horizons de surface à l'état soluble, les matières organiques précipitent dans les horizons spodiques où elles forment des complexes organométalliques très stables. Elles s'y accumulent. Avec le temps, le stock augmente : ce sont des archives cumulatives. (Photo © D. Schwartz, littoral de Pointe-Noire.)

sols sont des milieux ouverts, dont les constituants ont des dynamiques très différentes. Certains y entrent de manière exceptionnelle ou sporadique (charbons, artefacts archéologiques), d'autres s'y accumulent (la matière organique des alios humiques), d'autres enfin y sont renouvelés en permanence (la matière organique des horizons biologiquement actifs, les pollens...). On peut ainsi définir trois types d'archives pédologiques (**fig. 4**) : les archives événementielles, les archives cumulatives et les archives transitoires (Schwartz 2012). Ce dernier type correspond à des constituants qui résident dans le sol pendant un laps de temps variable avant d'être éliminés par dissolution, minéralisation ou d'autres processus. Ce phénomène s'exprime par la notion de temps moyen de résidence, qui en mesure l'espérance de vie. Ainsi, il importe d'interpréter les mesures d'âge obtenues en fonction du type de constituant. Une datation carbone 14 sur un charbon n'a pas la même signification que sur la matière organique, et se servir, par

exemple, d'un âge carbone 14 sur charbon pour donner une valeur chronologique à une mesure carbone 13 sur matière organique est un non-sens (Schwartz 1997).

En conclusion, les exemples développés ici illustrent la richesse des approches croisées entre pédologie et archéologie. Chacune des disciplines peut trouver dans l'autre des compléments qui lui permettent de mieux interpréter les observations de terrain. Est-il nécessaire de faire un plaidoyer supplémentaire en faveur d'une meilleure prise en compte de cette complémentarité dans la formation des chercheurs ?

BIBLIOGRAPHIE

- Babet, V. 1947. « Exploration de la partie méridionale des plateaux Bateke (1933) ». *Bulletin du Service des Mines A.E.F.* 3 : 23-56 (+ photos en annexe).
- Baize, D. & Girard, M.C. (éd.). Association française pour l'étude du sol (Afes). 2008. *Référentiel pédologique*. Paris : Quae, 405 p.

Carcaillet, C. & Talon, B. 1996. « Aspects taphonomiques de la stratigraphie et de la datation de charbons de bois dans les sols : exemple de quelques sols des Alpes ». *Géographie Physique et Quaternaire*, 50 (2) : 233-244.

de Heinzelin de Braucourt, J. 1952. *Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo*. Bruxelles : INEAC, 168 p. (+ planches h.t.).

Schwartz, D. 1985. « Histoire d'un paysage : le Lousseke. Paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables Bateke (quarante derniers millénaires, région de Brazzaville, R.P. du Congo) ». Thèse de doctorat en Science, Université de Nancy I, 211 p., parue en 1988, collection « Études et Thèses ». Paris : ORSTOM, 285 p.

Schwartz, D. 1988. « Some podzols on Bateke sands and their origins, People's Republic of Congo ». *Geoderma*, 43 (2/3) : 229-247.

Schwartz, D. 1992. « Assèchement climatique vers 3000 B.P. et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions ». *Bulletin de la Société géologique de France*, 163 (3) : 353-361.

Schwartz, D. 1996. « Archéologie préhistorique et processus de formation des stone-lines en Afrique centrale (Congo-Brazzaville et zones périphériques) ». *Geo-Eco-Trop* 20 (1/4) : 15-38.

Schwartz, D. 1997. « Commentaire à la note de Richard Oslisly, Bernard Peyrot, Salah Abdessadok et Lee White, Le site de Lopé 2 : un indicateur de transition écosystémique ca 10 000 BP dans la moyenne vallée de l'Ogooué, C.R. Acad. Sci. Paris, 323, Ila, 1996, 933-939 ». *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris*, 325, Ila, 5 : 389-391.

Schwartz, D. 2012. « Les temps du sol : interprétations temporelles de l'archivage pédologique dans les approches paléoenvironnementalistes et géoarchéologiques ». *Étude & Gestion des Sols*, 19 (1) : 51-65.

Schwartz, D. & Lanfranchi, R. 1990. « Les remaniements de sols sur sables Bateke dans la région de Brazzaville (Congo) : une mise au point ». In. R. Lanfranchi & D. Schwartz (éd.), *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Paris : ORSTOM, pp. 167-182.

ÉTUDE DE CAS EN MILIEU FLUVIAL SOUDANO-SAHÉLIEN : EXEMPLES DES VALLÉES DU YAMÉ (PAYS DOGON, MALI) ET DE LA FALÉMÉ (SÉNÉGAL)

Michel Rasse¹

Comme partout dans le monde, travailler sur les enregistrements archéologiques en Afrique nécessite de prendre en compte les conditions sédimentaires de leur enfouissement. En milieu fluvial africain, dans la reconstitution de l'environnement des hommes du passé, le couplage présence de l'eau-présence des hommes va de pair avec le couple érosion-accumulation si caractéristique des berges des artères fluviales de la zone soudano-sahélienne. Comprendre finement comment s'insèrent les niveaux archéologiques dans la stratigraphie* permet d'expliquer les phases de recouvrement des sites, mais aussi les différentes phases d'érosion que les berges ont pu subir et, de fait, les remaniements successifs des artefacts. Si cela paraît évident, il ne faut pas sous-estimer la difficulté d'aborder les sites dans ce contexte et l'expérience nous a montré, bien que chaque étude garde ses particularités, qu'il faut pratiquer avec grande prudence et organisation, afin de ne pas tomber dans certains pièges.

Aborder un ou des sites préhistoriques en milieu fluvial nécessite d'abord de prendre en considération les conditions géomorphologiques* et stratigraphiques régionales. La compréhension du site suppose de longues prospections dans un environnement parfois difficile d'accès et ces prospections gagnent à être faites en équipe pluridisciplinaire (**fig. 1**).

Une « lecture du paysage » faite simultanément par un géomorphologue, un pédologue*, un archéologue... permet, outre de formuler des questionnements qui seront largement profitables à tous, de multiplier les observations et ainsi de mettre rapidement en œuvre un scénario, même si celui-ci sera nécessairement modifié par la suite à la faveur de nouvelles découvertes. Ainsi, pour aborder sereinement les enregistrements sédimentaires pléistocènes de la vallée du Yamé (plateau de Bandiagara, Mali), au moins trois missions de plusieurs semaines chacune ont été nécessaires pour que l'épaisseur, l'extension spatiale et la géométrie des différentes unités stratigraphiques soient à peu près comprises. Cette stratigraphie n'a été en outre certifiée qu'avec l'établissement d'un cadre chronologique absolu par la méthode OSL*.

La compréhension des topographies et des processus géomorphologiques qui président à leur évolution est également impérative. C'est d'autant plus important que dans les profils très tendus, souvent monotones, que constituent les reliefs africains, les processus doivent être compris préalablement à l'explication des dépôts. Ainsi, l'analyse des topographies liées à l'activité fluviale permet de distinguer plusieurs ni-

veaux de glacis* et de terrasses*, lesquels mettent également en évidence une forte influence des processus de colluvionnement latéral. En général, au glacis fondamental succèdent un, deux, voire trois glacis de substitution que les coupes transversales permettent d'associer à des niveaux de terrasses alluviales*, elles-mêmes multiples et souvent difficiles à corrélater latéralement. Ainsi le long de la Falémé (Sénégal), les niveaux de terrasses récentes s'inscrivent dans la topographie d'érosion des berges amorcée au début de l'Holocène et les caractéristiques structurales (bancs résistants du substratum*) ainsi que la dynamique latérale du cours d'eau conditionnent leur répartition. La simple lecture des niveaux topographiques sur la base de leurs seules altitudes est donc loin d'être simple.

Aux processus fluviaux liés au cours d'eau s'ajoutent les processus de ruissellement, lesquels s'exercent aux dépens des formations des glacis principaux. Ainsi les glacis se présentent successivement en « glacis d'érosion », lesquels s'établissent au pied des rebords principaux et livrent des artefacts exhumés, et en glacis d'accumulation vers l'aval que les colluvions* de chaque saison des pluies recouvrent, fossilisant de fait les artefacts les plus récents. Ainsi à Ounjougou (Mali), l'érosion du glacis de substitution a livré des pointes bifaciales du VIII^e millénaire, alors qu'à quelques mètres de là les colluvions des derniers siècles de notre ère ont recouvert les vestiges protohistoriques en créant une terrasse bien nette dans le paysage. La distinction de surface entre la zone d'érosion et la zone d'accumulation était donc importante à considérer. Ces mêmes processus sont évidemment à l'origine des formes et formations du passé et on retrouve, fossilisées par les séquences récentes, des paléotopographies témoignant des mêmes processus de surface (avec un paléorebord de glacis complètement fossilisé par les apports latéraux récents à Kokolo ; **fig. 2**).

La compréhension des processus pédologiques est également extrêmement importante dans l'appréhension des formations, une même unité stratigraphique pouvant se présenter de façon très différente, le lessivage* induisant des variations selon l'axe vertical mais aussi latéralement en fonction des écoulements des eaux dans les sédiments. Variations de couleurs, bioturbation*, concrétionnements, indurations voire cuirassement ferrugineux important, etc. doivent être intégrés à la réflexion pour éviter toute mauvaise interprétation. Très souvent d'ailleurs cette prise en compte permet de préciser les différentes unités stratigraphiques, qui sont

¹ Université de Lyon 2 et Archeorient, UMR CNRS 5133, France.



Fig. 1. Prospections en équipe pluridisciplinaire dans les ravinelements des berges de la Falémé (est du Sénégal). Les indications stratigraphiques correspondent à la partie haute de la coupe de Toumboura I de la **figure 3**. (Photo © M. Rasse.)

le résultat de périodes d'accumulation et d'érosion durant lesquelles des phases successives d'évolution pédologique ont pu être plus ou moins marquantes. Chaque unité présente souvent des caractéristiques pédologiques qu'il peut être intéressant de savoir repérer en d'autres lieux, lorsque les conditions de prospection sont moins évidentes. Les discordances liées à des décapages superficiels ou à des phases d'érosion importantes se traduisent quasi systématiquement par des lignes de cailloutis, de pisolithes* remaniées, et parfois d'artefacts archéologiques, qu'il faut également bien prendre en compte pour comprendre à la fois la succession des événements sédimentaires et le caractère remanié ou non des artefacts retrouvés.

Ainsi abordée, la stratigraphie des formations permet de reconstituer (et souvent de retrouver ailleurs) les grandes étapes de la dynamique fluviale. Pendant le stade isotopique* 3 de la dernière grande période froide, la zone soudano-sahélienne a reçu de grandes quantités de poussières venues des zones très arides soumises, par déflation*, à une importante érosion des sols. Cet apport éolien a donc large-

ment contribué à une surcharge des réseaux hydrographiques qui, lors de la saison des pluies et alors que les apports pluviométriques étaient réduits, ont déposé de grandes quantités de sédiments dans les vallées, dans les secteurs propices au dépôt pour des raisons structurales. À Ounjougou, ce stade isotopique 3 est représenté par plusieurs unités stratigraphiques (U3, U4 et U5 ; **fig. 2**) dont les discontinuités sédimentaires semblent être attribuables à des événements de type Heinrich* (Rasse *et al.* 2004 ; Lespez *et al.* 2008). Dans la vallée de la Falémé, les dates ne sont pas encore disponibles, mais les recherches en cours suggèrent que le cours d'eau, venant du sud, a toujours été alimenté par les précipitations qui tombaient dans les zones méridionales (même durant le stade 2 caractérisé en Afrique soudano-sahélienne par une grande aridité) et a donc moins souffert de l'assèchement du climat. Ainsi la Falémé a remanié une grande quantité de silts et limons provenant des bassins versants, lesquels ont été déposés en aval dans les secteurs de très faible pente, entre les derniers reliefs du sud-est du pays et sa confluence avec le Sénégal. Les unités dénommées de Utp

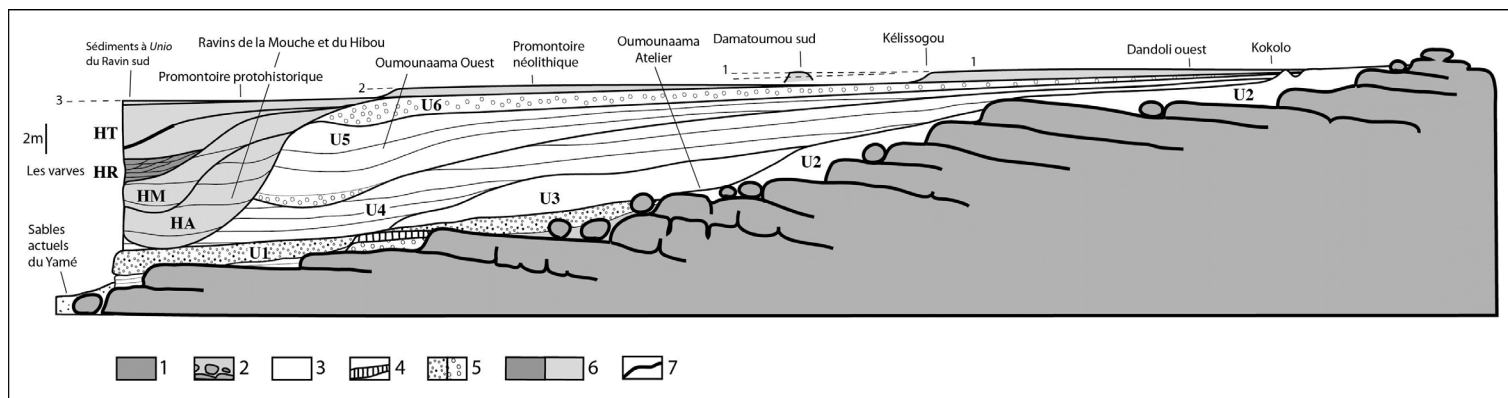


Fig. 2. Les formations pléistocènes et holocènes de la vallée du Yamé (pays Dogon, Mali). Coupe synthétique établie à partir des différents sites d'études archéologiques et stratigraphiques. Légende : 1 : grès ; 2 : arène gréseuse ; 3 : formations pléistocènes (de U1 à U6) ; 4 : cuirassement ferrugineux* ; 5 : alluvions grossières ; 6 : formations holocènes (de HA à HT) ; 7 : encroûtement (entre HR et HT). (Extrait de Rasse *et al.* 2004.)

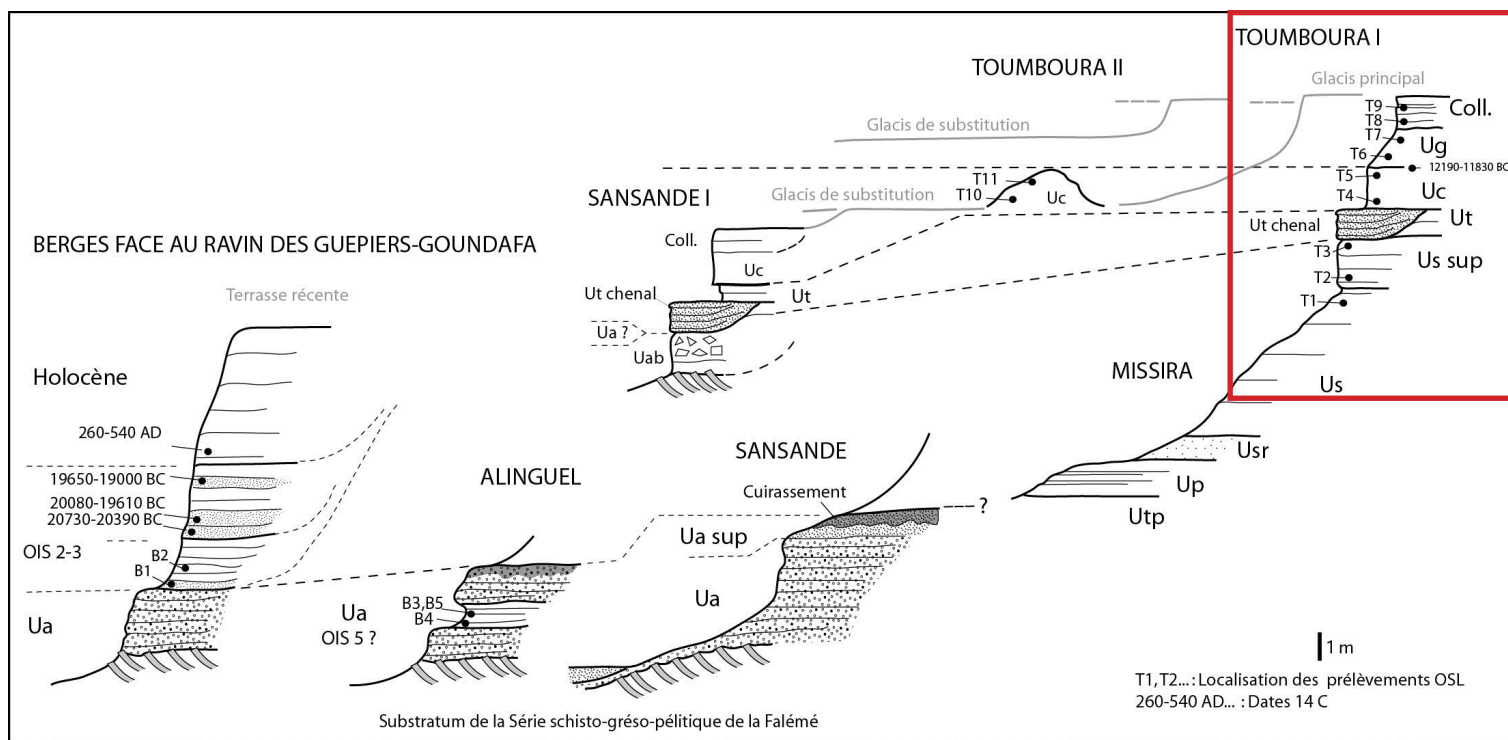


Fig. 3. Première approche géométrique des formes et des formations des berges de la Falémé. Étude faite à partir de différents sites et tentatives de raccordements. Le cadre rouge = fig. 1.

à Uc sont attribuables à cette période de forte alimentation des bassins versants et sont probablement à corréliser avec les stades isotopiques 4, 3 et 2 (fig. 3).

Le début de l'Holocène se caractérise au contraire par une incision marquée des cours d'eau, un développement des glacis de substitution et une érosion importante des formations antérieures. Ce sont les témoignages d'une moindre alimentation en poussières d'origine éolienne, d'une augmentation des précipitations et de la concentration d'écoulements plus abondants. Pour autant, les enregistrements sédimentaires des grandes artères ne sont pas systématiquement les plus intéressants à étudier.

Le cas du Yamé, qui s'inscrit en vallée plus ou moins encaissée dans les grès du Plateau de Bandiagara, a permis une étude extrêmement fine de la stratigraphie des différentes séquences holocènes et les travaux ont pu montrer, surtout pour les dix derniers millénaires, que les enregistrements fluviaux pouvaient être d'une grande précision paléoclimatique, à l'instar des grandes séquences lacustres, voire marines (Lespez *et al.* 2008 ; 2011).

Après une phase d'incision brutale des dépôts pléistocènes, les premières formations de l'Holocène (11,5-8,5 ka cal BP) sont grossières, interrompues à deux reprises par des sédimentations plus fines, et elles témoignent d'une

compétence* du Yamé supérieure à l'actuelle. Après une phase de hiatus sédimentaire entre 8,8 et 7,6 ka cal BP, l'Holocène moyen et récent (8,5-4 ka cal BP) est caractérisé par trois séquences sédimentaires qui témoignent d'un environnement bien différent, les études micromorphologiques* et palynologiques indiquant le remplissage de chenaux assez étroits au sein d'une vallée à forêt-galerie dense à affinités guinéennes. La période la plus récente (4-0,1 ka cal BP) est à l'origine de la conservation d'une sédimentation plus rythmée clairement saisonnière et pour laquelle progressivement les conditions pluviométriques deviennent de plus en plus irrégulières, se rapprochant de la situation contemporaine avec des périodes d'accalmie assez longues et le retour d'épisodes très morphogènes.

À l'opposé, le long de la Falémé, les prospections laissent entrevoir pour l'instant une plus faible représentation de l'Holocène, la dynamique du cours d'eau durant les deux derniers millénaires ayant sans doute partiellement érodé les enregistrements sédimentaires. Les recherches futures apporteront sans doute des réponses à cette interrogation ; on ne peut en effet exclure que, sur un cours d'eau beaucoup mieux alimenté, bon nombre de vestiges aient été conservés, enfouis sous les sédiments des dernières grandes crues centennales.

Bien appréhender le temps long des enregistrements sédimentaires dans leur géométrie n'est absolument pas anodin. Non seulement cette approche pluridisciplinaire permet de comprendre la succession des épisodes de sédimentation et d'érosion, mais elle « cadre » le travail du reste de l'équipe. En effet, la compréhension de la géométrie des séquences doit être préalable – ou au moins elle doit être faite concomitamment avec les spécialistes en question – à tout prélèvement de sédiments à des fins d'analyses granulométriques*, micromorphologiques, etc., de bio-indicateurs à des fins de reconstitutions paléoenvironnementales, et à des fins de datation absolue (charbons pour le carbone 14, échantillons et mesures radiométriques pour l'OSL). On sait le coût que représentent ces techniques de laboratoire et il est indispensable de cibler au mieux les priorités et objectifs de la mission.

S'il est par exemple assez facile de comprendre comment seront prélevés les échantillons à des fins de reconstitutions paléoenvironnementales (pollens, phytolithes*, végétaux fossiles pour établir les environnements végétaux des différentes formations), les modalités de prélèvement pour les datations OSL (méthode la plus adaptée pour le Pléistocène des vallées) sont à orienter en fonction des objectifs de la mission et de la précision que l'on recherchera (cf. par exemple la localisation des prélèvements sur la **figure 3** à

des fins de chronostratigraphie*). Pour cette méthode, la prise en compte de l'épaisseur des sédiments ayant enfoui les niveaux étudiés est également impérative ; la reconstitution de la succession des périodes d'accumulation et des phases d'érosion permet d'affiner le volume de sédiments et la durée potentielle de ce recouvrement sédimentaire et précise d'autant les créneaux chronologiques proposés.

Pour bien comprendre la géométrie des formations, nous préconisons donc un long travail de terrain, à faire dans la mesure du possible en équipe pluridisciplinaire. Ce travail constitue un préalable nécessaire à toutes les études chronostratigraphiques et paléoenvironnementales approfondies que présuppose aujourd'hui la recherche en archéologie.

BIBLIOGRAPHIE

Lespez, L., Rasse, M., Le Drézen, Y., Tribolo, Ch., Huysecom, E. & Ballouche, A. 2008. « Signal climatique et hydro-systèmes continentaux entre 50 et 4 ka en Afrique de l'Ouest : l'exemple de la vallée du Yamé (pays Dogon, Mali) ». *Géomorphologie, Relief, Processus, Environnement* 3 : 169-186.

Lespez, L., Le Drézen, Y., Garnier, A., Rasse, M., Eichhorn, B., Ozainne, S., Ballouche, A., Neunmann, K. & Huysecom, E. 2011. « High-resolution fluvial records of Holocene environmental changes in the Sahel : the Yamé River at Ounjougou (Mali, West Africa) ». *Quaternary Science Reviews* 30 : 737-756.

Rasse, M., Soriano, S., Tribolo, Ch., Stokes, S. & Huysecom, E. 2004. « La séquence pléistocène supérieure d'Ounjougou (pays Dogon, Mali) : évolution géomorphologique, enregistrements sédimentaires et changements culturels ». *Quaternaire* 15 (4) : 329-341.

GLOSSAIRE

Alluvion : tout dépôt sédimentaire (argile, sable, gravier...) déposé par une rivière sur ses berges, dans sa plaine d'inondation, à son embouchure, dans son delta...

Bioturbation : perturbation des sols et sédiments par des agents biologiques, surtout par des animaux fouisseurs ou creuseurs tels que les termites, les fourmis, les vers de terre ou les rats.

Chronostratigraphie : étude des strates ou des roches terrestres à des fins de reconstitution chronologique des différentes étapes géologiques. Aujourd'hui, les méthodes modernes de datation permettent d'être extrêmement précis.

Colluvions : dépôts de bas de pente, relativement fins, formés d'éléments arrachés aux versants et ayant subi un faible transport par les processus géomorphologiques (ruissellement, gravité...).

Compétence d'une rivière : sa capacité en termes de trans-

port de sédiments : une eau torrentielle pourra transporter de grands éléments en suspension, tels que des galets, tandis qu'une eau calme ne transportera que la fine fraction d'argiles en suspension.

Cuirassement ferrugineux : dans les sols équatoriaux et tropicaux, en climat chaud et humide (au moins une partie de l'année, lors de la saison des pluies), les processus pédologiques peuvent donner naissance à une accumulation de fer (dans l'horizon enrichi « B », ou « illuvial ») qui peut, si le processus est long et intense, donner naissance à un véritable niveau induré ferrugineux (ou « latéritique »), lequel apparaîtra sous la forme d'une « cuirasse » s'il y a érosion.

« **Heinrich** » : les événements de type Heinrich sont des épisodes climatiques de courte durée, associés à des libérations de grandes quantités d'icebergs dans le nord de l'Atlantique (mis en évidence en premier par H. Heinrich dans les années 1980). Ils correspondent à des phénomènes affectant probablement tout l'hémisphère et ont donc dû avoir des répercussions aux basses latitudes sous une forme ou une autre.

Déflation : érosion par le vent emportant les particules les plus fines d'un sédiment non protégé, comme dans un milieu désertique, par la végétation.

Géomorphologie : étude des reliefs et des processus physico-chimiques qui les façonnent.

Glacis : surface en pente douce sur laquelle le ruissellement en nappe se manifeste, érodant les secteurs près des reliefs et accumulant les colluvions dans la partie proche du cours d'eau. Ces glacis peuvent s'établir aux dépens de formations antérieures différentes.

Granulométrie : étude basée sur les dimensions des particules dont est composé un sédiment (argile, limon, sable, graviers, galets), qui permet de le caractériser et d'en déterminer le mode de mise en place.

Lessivage : terme pédologique indiquant le mouvement vertical, sous l'action des pluies qui s'infiltrent dans le sol, des particules les plus fines vers le bas.

Micromorphologie : analyses en laboratoire, au microscope, de lames minces de sols et/ou de sédiments qui permettent de reconstituer précisément leur histoire.

OSL : *optically stimulated luminescence* ; une méthode de datation radiométrique des sédiments qui permet de dater le temps d'enfouissement des particules, donc l'âge de la formation. Cette méthode est très fréquemment utilisée pour le Pléistocène (quand le carbone 14 ne permet guère vraiment de remonter au-delà de 35 000 ans). (Voir Wright, ce volume, pp. 237-239).

Pédologie : étude scientifique des sols, de leurs structures, de leurs évolutions et de leur histoire.

Phytolithes : morceaux de silice microscopique se développant dans certaines cellules de différents types de plantes. De par leur nature, les phytolithes se conservent pendant des périodes très longues après la mort et la décomposition de la plante ; les retrouver permet donc de reconstituer, au moins partiellement, le couvert végétal, et donc indirectement les climats.

Pisolithe : concrétion ferrugineuse (millimétrique à centimétrique) des horizons enrichis en fer des sols de la zone intertropicale (cf. « cuirassement ferrugineux »).

Stades isotopiques : épisodes paléoclimatiques définis à partir du rapport isotopique de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) au sein de prélèvements dans des sédiments marins ou dans les calottes glaciaires.

Stratigraphie : étude de la mise en place, de la disposition et de la déformation des roches sédimentaires de l'écorce terrestre.

Substratum : roche en place ou *bedrock* (ici on sous-entend ce qu'il y a sous les sédiments du Quaternaire pouvant contenir des enregistrements archéologiques).

Terrasse (alluviale ou fluviatile) : surface en pente proche de l'horizontale associée au dépôt sédimentaire d'un cours d'eau. La terrasse *stricto sensu* correspond à un niveau d'accumulation d'alluvions (plaine d'inondation) ; celle-ci devient « étagée » lorsque par érosion le cours d'eau érode dans un deuxième temps la formation déposée. Cela se traduit alors par un « rebord de terrasse » qui exprime l'étagement.

RESTES HUMAINS

Isabelle Crevecoeur¹

L'étude des restes humains retrouvés en contexte archéologique n'a de sens que si la phase de terrain a été réalisée dans les meilleures conditions d'enregistrement et de prélèvement (voir Ribot, ce volume, pp. 134-137). À cet égard, la présence d'un anthropologue biologiste durant la campagne de fouille et son intervention dans le cadre de dépôts funéraires apparaissent comme une nécessité. De nombreux ouvrages synthétiques traitent de l'enregistrement et des analyses diverses des restes humains après la phase de terrain (par exemple Buikstra & Uberlaker 1994 ; Dutour *et al.* 2005 ; Jurmain *et al.* 2013). Si leur consultation est indispensable à une bonne analyse des données, le travail de l'anthropologue physique ne doit pas se limiter à une application de recettes méthodologiques. La connaissance de l'anatomie humaine, de sa variabilité, des mécanismes évolutifs et adaptatifs, ainsi que la compréhension des processus taphonomiques sont essentiels au choix de méthodes et à l'interprétation de ces données biologiques. Nous présentons ici un survol des analyses les plus courantes faites (1) directement sur les os et les dents, (2) sur leur composant organique (le collagène) et minéral (l'hydroxyapatite) et (3) par imagerie multidimensionnelle, afin d'appréhender les pratiques funéraires, l'identité biologique et le mode de vie des individus et des populations.

I. ANALYSES OSTÉOLOGIQUES ET DENTAIRES

A. NMI (nombre minimal d'individus)

L'estimation du nombre minimal d'individus dans un site, ou au sein d'une structure, est la première étape de l'analyse ostéologique. Des phénomènes taphonomiques et/ou anthropiques peuvent être à l'origine d'une sous-représentation anatomique qui implique une sous-estimation de l'effectif. Le décompte de chaque os permet d'obtenir une première estimation du nombre d'individus présents qui servira de base à la réflexion sur l'intégrité du dépôt. Le calcul du NMI repose sur la fréquence du type d'os le plus abondant. Dans le cas d'ossements pairs², le côté le plus représenté sera pris en compte.

Ce NMI de fréquence peut ensuite être affiné par associations et exclusions. À travers l'association des ossements appartenant à un même individu, il est possible d'exclure les éléments gauches ou droits qui ne peuvent s'appa-

rier. L'exclusion par âge au décès permet également d'ajouter au NMI de fréquence des individus qui ne sont pas présents dans la catégorie d'os retenue, mais qui sont représentés par ailleurs.

B. Âge au décès et diagnose sexuelle

De nombreuses méthodes d'estimation de l'âge au décès et de détermination du sexe existent en anthropologie (cf. Bruzek *et al.* 2005 ; White & Folkens 2005). Nous ne présentons ici que les méthodes privilégiant la fiabilité et la prise en compte de la variabilité biologique.

1. Estimation de l'âge au décès

Les techniques se basent principalement sur la maturation dentaire ou les processus de croissance osseuse des individus immatures. Les processus de sénescence utilisés pour estimer l'âge au décès des adultes sont moins fiables.

a) Les individus immatures

La détermination de l'âge au décès à partir du développement dentaire a le double avantage de s'établir sur les restes humains souvent les mieux conservés, les dents, et d'être un indicateur plus performant que la croissance osseuse. La méthode de Moorrees *et al.* (1963a ; 1963b) est la plus répandue. Elle donne l'écart type des estimations, ce qui permet d'inclure le résultat dans un intervalle de confiance à 95 %.

L'estimation de l'âge au décès à partir de la maturation osseuse (*i.e.* du degré de fusion des épiphyses et de la longueur diaphysaire) est moins précise, puisque la croissance est fortement liée aux conditions environnementales et nutritionnelles, ainsi qu'aux facteurs populationnels. De nombreux référentiels existent (y compris Buikstra & Uberlaker 1994), mais leur utilisation doit être raisonnée.

b) Les adultes

L'estimation de l'âge au décès des adultes (≥ 30 ans ; *i.e.* à la fin de la maturation squelettique) est une limite majeure de l'anthropologie, étant donné la variabilité intra- et inter-populationnelle de la sénescence du squelette humain. Les centres d'ossification tardifs (*i.e.* postérieurs à l'adolescence et à la maturation dentaire) au niveau de la symphyse pubienne et de la clavicule permettent d'identifier des adultes décédés précocement (c'est-à-dire entre 20 et 30 ans). Au-delà de 30 ans, les estimations d'âge au décès se basent sur l'observation des changements morphologiques de la symphyse pubienne ou de la surface sacro-pelvienne iliaque. L'intérêt de la méthode de Schmitt (2005) est associé à la prise en compte de la variabilité intra- et inter-population-

1 CNRS, UMR 5199 PACEA - A3P, Université de Bordeaux, France.

2 Élément pair : un os est défini comme pair si deux copies (droite et gauche) sont présentes dans le squelette.

nelle européenne. La cotation de 4 caractères permet de calculer la probabilité de l'individu d'appartenir à un intervalle chronologique plus ou moins large. Cette méthode privilégie la fiabilité par rapport à la précision.

2. La détermination du sexe

L'os coxal est l'élément du squelette le plus performant pour déterminer le sexe, sa morphologie répondant chez la femme, quelle que soit sa population d'origine, aux doubles contraintes de locomotion et de parturition (Bruzek *et al.* 2005). La fiabilité est plus aléatoire si l'on s'intéresse à d'autres pièces osseuses dont le dimorphisme sexuel est lié au format et non à la fonction de l'os. En outre, il n'existe aucune méthode qui permette d'estimer le sexe des enfants, le dimorphisme sexuel du bassin apparaissant à la puberté.

Le sexe des individus adultes dont le coxal est conservé peut être déterminé sur base de la morphologie ou des dimensions de celui-ci. La méthode visuelle élaborée par Bruzek (2002) repose sur l'observation de caractères morphologiques dont la fiabilité approche 95 %. Les méthodes morphométriques se basent sur des analyses statistiques discriminantes. La méthode de la diagnose sexuelle probabiliste (DSP) s'appuie sur un large échantillon de données mondiales actuelles et permet une détermination fiable à plus de 97 % (Murail *et al.* 2005).

C. État sanitaire

À travers l'identification et l'étude des pathologies osseuses, articulaires et dentaires, ainsi que des traumatismes, il est possible de discuter des conditions de vie et de l'état sanitaire des populations ou des fossiles exhumés.

Les atteintes articulaires de type arthritique et les changements enthésiques³ ont des origines multifactorielles (génétiques, biologiques, environnementales ou comportementales).

Cependant, l'enregistrement de leur fréquence, de leur intensité et de leur localisation (par exemple, spécifique à une région anatomique, ou à un côté) peut mettre en évidence des différences comportementales significatives entre des individus d'un même groupe en lien avec un certain type d'activité, comme l'archerie (Thomas 2014). Étant donné leur interaction avec l'environnement, les dents sont un excellent indicateur de la santé et du régime alimentaire des individus et des populations. Les pathologies dentaires peuvent avoir diverses origines : infectieuses, dégénératives, développementales ou génétiques. La caractérisation et le degré de développement d'une maladie périodontique, d'un abcès, de caries, de tartre ou d'hypoplasies doivent se faire

suyant les standards établis que l'on peut retrouver dans la littérature spécialisée (cf. Hillson 2008).

D. Biométrie

L'acquisition de données métriques sur les ossements crâniens et infra-crâniens permet de caractériser la variabilité intra- et inter-populationnelle. Deux référentiels sont couramment utilisés dans ce domaine : les mesures de Martin (Braüer 1988) et de Howells (1973). Ce dernier a par ailleurs publié en ligne et en accès libre une base de données reprenant les mesures de plus de 2 000 crânes actuels et fossiles provenant de toutes les régions du monde (Howells 1996). En outre, les dimensions des ossements infra-crâniens peuvent être utilisées pour estimer la stature et le poids des individus à partir de standards actuels.

E. Variations anatomiques non métriques

Les variations anatomiques non-métriques (ou caractères discrets) sont de nombreuses variations phénotypiques mineures, osseuses ou dentaires, non pathologiques. Elles s'observent sur le squelette crânien (par ex., os surnuméraires) et infra-crânien (par ex., perforation olécrânienne), ainsi que sur les dents (par ex., le nombre de cuspides) (Berry & Berry 1967 ; Finnegan 1978 ; Turner *et al.* 1991). Ces caractères ont un mode de transmission en partie génétique, ce qui en fait un atout pour la recherche de regroupements familiaux ou des liens phylogénétiques entre populations. Cependant, le déterminisme exact de la grande majorité de ces caractères est mal connu. Tous ne sont pas héréditaires et des facteurs liés au milieu de vie peuvent être responsables de leur transmission.

II. ANALYSES BIOCHIMIQUES

L'os, l'émail et la dentine possèdent tous une composante organique (le collagène) et minérale (l'hydroxyapatite) dont la proportion varie en fonction du tissu, l'émail étant le plus minéral. L'étude des isotopes stables et des éléments en traces contenus dans ces composants peut permettre leur datation, mais également la reconstruction du mode de vie des individus et de leur environnement (Katzenberg 2008). Enfin, les développements technologiques récents visant l'extraction et le séquençage de l'ADN ancien offrent de nouvelles perspectives pour la compréhension des relations phylogénétiques inter- et intra-populationnelles.

A. Datation directe

1. Composant organique

Le collagène extrait des os et de la dentine constitue un matériel de choix pour la datation par le radiocarbone ¹⁴C au moyen d'un spectromètre de masse par accélérateur (voir de Maret, ce volume, pp. 232-235).

3 Enthèse : lieu d'insertion sur l'os des tendons, ligaments ou aponévroses musculaires.

2. Composant inorganique

La datation par le radiocarbone contenu dans l'émail et dans la fraction minérale de l'os ou la dentine est possible en alternative au carbone contenu dans le collagène quand ce dernier est prématurément détruit, comme c'est souvent le cas en milieu aride.

La technique de résonance de spin électronique (RSE) peut également être appliquée à l'émail (Grün 1989). Durant la diagenèse, des électrons sont piégés dans les défauts cristallins de l'apatite. Ces électrons sont issus de matériaux radioactifs provenant du dépôt ou des tissus osseux et dentaires. L'intensité du signal RSE dépend du nombre d'électrons piégés, c'est-à-dire de la dose accumulée et de l'intensité d'irradiation. Ces deux paramètres doivent être identifiés pour réaliser une datation RSE.

B. Régime alimentaire, paléoclimat et mobilité

La reconstruction du régime alimentaire se base surtout sur l'étude des teneurs en isotopes stables du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) et de l'azote ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) présentes dans le collagène. Ces rapports sont liés à ceux de la fraction protéique de la nourriture ingérée et permettent de distinguer les sources de protéines alimentaires (végétales et animales). Le $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate d'hydroxyapatite reflète quant à lui le carbone de l'ensemble de l'alimentation.

Il est également possible d'étudier les isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) pour reconstruire les paléo-températures et donc des paléoclimats.

Enfin, de nombreux éléments en traces viennent se fixer à l'os et la dent au cours de la vie d'un individu. Parmi ceux-ci, le strontium (Sr) présente l'avantage de permettre de discuter de la mobilité des individus.

C. ADN ancien

Grâce aux développements récents de la génétique moléculaire, il est maintenant possible d'extraire et d'analyser l'ADN des os et des dents fossiles. La préservation de l'ADN dépend fortement du milieu de fossilisation. Malheureusement ces données fossiles pour le continent africain sont pratiquement inexistantes (Campana *et al.* 2013).

Les études sur l'ADN ancien portent sur l'ADN mitochondrial (ADNmt), le chromosome Y et l'ADN nucléaire (locus ou génome complet). Les analyses des polymorphismes de l'ADNmt et du chromosome Y sont utilisées pour déterminer les liens phylogénétiques et phylogéographiques au sein de lignées maternelles et paternelles des populations humaines. Quand l'ADN nucléaire est bien conservé, l'analyse de marqueurs STRs (*short tandem repeats*), permet de tester les relations de parenté entre individus. Le prélèvement des

échantillons en vue d'analyse ADN doit se faire suivant des règles très strictes, dès la phase de terrain, pour limiter la contamination des restes humains par de l'ADN récent exogène.

III. ANALYSE PAR IMAGERIE MULTIDIMENSIONNELLE

Les méthodes d'imagerie par tomographie à rayons X (scanographie, microtomographie ($\mu\text{-CT}$), synchrotron) sont un apport considérable à l'étude des structures anatomiques internes des restes humains osseux et dentaires, ainsi qu'à leur préservation. Outre l'accès et la visualisation de structures internes, ces méthodes permettent d'effectuer des mesures fiables grâce à des logiciels d'imagerie, de reconstruire des parties manquantes, de corriger des déformations ou de nettoyer virtuellement des restes pris dans une gangue sédimentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- Berry, A.C. & Berry, R.J. 1967. « Epigenetic variation in the human cranium ». *Journal of Anatomy* 101 : 361-379.
- Braüer, G. 1988. « Osteometrie ». In R. Knussman (éd.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, 4. Auflage des Lehrbuchs des Anthropologie begründet von R. Martin. Band I. Wesen und Methoden der Anthropologie*, Stuttgart : Gustav Fisher Verlag, pp. 160-232.
- Bruzek, J. 2002. « A method for visual determination of sex, using the human hip bone ». *American Journal of Physical Anthropology* 117 : 157-168.
- Bruzek, J., Schmitt, A. & Murail, P. 2005. « Identification biologique individuelle en paléanthropologie : détermination du sexe et estimation de l'âge au décès à partir du squelette ». In O. Dutour, J.-J. Hublin & B. Vandermeersch (éd.), *Objets et méthodes en paléanthropologie*. Paris : CTHS, pp. 217-246.
- Buikstra, J. E. & Uberlaker, D.H. 1994. *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains*. Arkansas : Arkansas Archaeological Survey Report Number 44.
- Campana, M.G., Bower, M.A. & Crabtree, P.J. 2013. « Ancient DNA for the Archaeologist : the Future of African Research », *African Archaeological Review* 30 : 21-37.
- Dutour, O., Hublin, J.-J. & Vandermeersch, B. 2005. *Objets et méthodes en paléanthropologie*. Paris : CTHS.
- Finnegan, M. 1978. « Non-metric variation of the infra-cranial skeleton ». *Journal of Anatomy* 125 : 23-37.
- Grün, R. 1989. « Electron Spin Resonance (ESR) dating », *Quaternary International* 1 : 65-109.

Hillson, S. 2008. « Dental Pathology ». In M. A. Katzenberg & S.R. Saunders (éd.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New Jersey : John Wiley & Sons, pp. 301-340.

Howells, W.W. 1973. *Cranial Variation in Man: a Study by Multivariate Analysis of Patterns of Difference among Recent Humans Populations*. Cambridge : Harvard University Press, 259 p.

Howells, W.W. 1996. « Howell's craniometric data on the internet », *American Journal of Physical Anthropology* 101 : 393-410.

Jurmain, R., Kilgore, L., Trevathan, W. & Ciochon, R.L. 2013. *Introduction to Physical Anthropology*, 2013-2014 edition. Stamford : Cengage Learning ; 14th edition, 576 p.

Katzenberg, M.A. 2008. « Stable Isotope Analysis : a Tool for Studying Past Diet, Demography, and Life History ». In M.A. Katzenberg & S.R. Saunders (éd.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New Jersey : John Wiley & Sons, pp. 413-442.

Moorrees, C.F.A., Fanning, E.A. & Hunt, E.E. Jr. 1963a. « Formation and Resorption of three Deciduous Teeth in Children », *American Journal of Physical Anthropology* 21 : 205-213.

Moorrees, C.F.A., Fanning, E.A. & Hunt, E.E. Jr. 1963b. « Age Variation of Formation Stages for ten Permanent Teeth », *Journal of Dental Research* 42 : 1490-1502.

Murail, P., Bruzek, J., Houët, F. & Cunha, E. 2005. « DSP : a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements ». *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 17 (3-4) : 167-176.

Schmitt, A. 2005. « Une nouvelle méthode pour estimer l'âge au décès des adultes à partir de la surface sacro-pelvienne iliaque ». *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 17 (1-2) : 89-101.

Stone, A.C. 2008. « DNA Analysis of Archaeological Remains ». In M.A. Katzenberg, S.R. Saunders (éd.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New Jersey : John Wiley & Sons, pp. 461-484.

Thomas, A. 2014. « Bioarchaeology of the Middle Neolithic : Evidence for Archery Among Early European Farmers ». *American Journal of Physical Anthropology* 154 : 279-290.

Turner II, C.G., Nichol, C.R. & Scott, G.R. 1991. « Scoring Procedures for Key Morphological Traits of Permanent Dentition : the Arizona State University Dental Anthropology System ». In M.A. Kelley & C.S. Larsen (éd.), *Advances in Dental Anthropology*. New York : Wiley-Liss, pp. 13-31.

White, T.D. & Folkens, P.A. 2005. *The Human Bone Manual*. New York : Elsevier Academic Press.

DATATION PAR LE RADIOCARBONE

Pierre de Maret ¹

La datation d'un événement particulier, d'une phase ou l'établissement d'une séquence revêtent encore en Afrique une importance toute particulière, car dans beaucoup de régions la chronologie est loin d'être bien établie.

Une lecture attentive, une analyse fine et une réflexion poussée sur la stratigraphie, ainsi que la mise en évidence d'ensembles fermés tels qu'une tombe ou une fosse restent la base de tout raisonnement en matière de datations relatives comme absolues.

I. DATATIONS ABSOLUES

Le choix parmi les toujours plus nombreuses méthodes de datation absolue disponibles doit tenir compte de la fourchette temporelle considérée, de la faisabilité de ce type d'analyses, et bien sûr de leur coût.

Dans la pratique, pour les recherches qui portent sur les 50 000 dernières années, la datation par dosage du radiocarbone (carbone 14) est la plus employée. Comme on le sait, il s'agit de mesurer la quantité de carbone 14 radioactif restant dans une matière organique, dont on estime ainsi le temps écoulé depuis la mort. Pour connaître la quantité de ¹⁴C résiduel, on mesure généralement la radioactivité d'une certaine quantité de l'échantillon pendant un temps précis. Cette méthode reste la plus utilisée et la moins chère.

Mais pour analyser des échantillons très petits ou très vieux, on a développé une méthode de comptage beaucoup plus fine : la méthode par spectrométrie de masse (AMS = *Accelerator Mass Spectrometry*). Avec cette technique, on compte directement la quantité d'atomes de ¹⁴C présents dans l'échantillon (et pas seulement ceux qui se désintègrent pendant le comptage).

La technique AMS permet de :

- dater des échantillons de seulement 1 mg de carbone (un petit charbon de quelques millimètres, une esquille d'os de quelques centimètres, une graine, un fragment de noix) ;
- être plus sélectif dans le choix de l'échantillon à dater et donc, idéalement, de dater l'objet lui-même (poterie, scorie, squelette) sans le détruire, plutôt que du charbon ou des noix associées ;
- dater beaucoup plus vite (moins de 24 heures pour le comptage) ;
- repousser les limites de la méthode au-delà de 50 000 ans ;
- réduire l'erreur statistique de par sa plus grande pré-

sion (surtout intéressant pour des échantillons de faible quantité et/ou très vieux).

Mais cela a un coût. Il faut donc avoir recours à l'AMS avec parcimonie.

D'une façon plus générale, il faut développer une stratégie de datations en fonction de la problématique, des ressources dont on dispose et de la quantité et qualité des échantillons disponibles (taille, risque de contamination, incertitude sur le contexte, etc.).

II. ERREURS, INCERTITUDES, CONTAMINATION ET AUTRES PROBLÈMES

A. L'incertitude statistique

Comme la mesure de la radioactivité spécifique d'un échantillon donné n'est pas une mesure absolue mais une mesure statistique (car le nombre de désintégrations varie dans le temps), le résultat reflète toujours cette imprécision statistique. Celle-ci exprime le pourcentage de probabilité que le résultat soit compris entre deux limites temporelles de part et d'autre de la moyenne. C'est vrai aussi pour les datations AMS. Conventionnellement, une date est donc exprimée avec son imprécision $\pm 1 \sigma$, (c'est son écart-type), c'est-à-dire qu'il y a 68 % de chance que la date soit comprise dans « l'intervalle de confiance » ainsi défini.

Comme ce n'est pas assez précis – puisqu'avec 68 %, il y a à peine moins d'une chance sur trois pour que la date ne soit pas dans la fourchette de $\pm 1 \sigma$, il faut raisonner avec 2σ . En doublant ainsi l'intervalle, il y a alors 95 % de chance pour que la date soit comprise dans l'intervalle.

Par convention, le résultat fourni par le laboratoire est exprimé en années BP (*Before Present* : avant le présent [1950]), avec une erreur de 1σ . Plus l'erreur est faible, plus la valeur de σ est petite, plus l'intervalle de temps est réduit et donc meilleure sera l'estimation de la date. Quelques laboratoires permettent d'obtenir des dates de haute précision (en comptant plus longtemps, en réduisant un maximum le bruit de fond en mesurant aussi la radioactivité du carbone 13, etc.).

B. Nécessité de la calibration

On sait par ailleurs que, contrairement à ce qui avait été supposé au départ par l'inventeur de la méthode du radiocarbone, la proportion de ¹⁴C n'est pas restée constante dans l'atmosphère. Les laboratoires fournissent donc, le plus souvent, aujourd'hui un résultat corrigé qui tient compte de ces variations et de la nécessité de raisonner avec un intervalle de 2σ .

En général, mais pas toujours, on écrit en minuscules (bp, bc, ad) pour indiquer qu'un résultat est non calibré, et en ma-

¹ Université libre de Bruxelles, Belgique

jusques (BP, BC, AD) pour indiquer qu'il est calibré. Pour éviter toute confusion, il est préférable d'ajouter « Cal » aux dates calibrées. Donc, les dates calendaires sont exprimées en bc ou ad si elles ne sont pas calibrées, et en BC, Cal BC, AD ou Cal AD si elles le sont. Pour les dates préhistoriques assez hautes, cela n'a pas beaucoup de sens d'utiliser des dates calendaires, on utilise donc le plus souvent BP ou Cal BP, car il faut néanmoins toujours calibrer le résultat.

Si l'on veut comparer des datations obtenues il y a plus d'une dizaine d'années avec des résultats mesurés plus récemment, il y a lieu de calibrer au moyen de programmes facilement accessibles sur le Web ces résultats anciens (www.radiocarbon.org ou <http://www.calpal-online.de/> ; <https://c14.arch.ox.ac.uk/>). Il faudra préciser, dans la publication, le programme utilisé et sa version. Pour l'hémisphère sud, les dates doivent être un peu vieillies, en général de 30 à 50 ans. Il existe des courbes de calibration spécifiques.

Visuellement, ces programmes permettent de produire des « diagrammes en nuages » montrant graphiquement l'intervalle correspondant à la date et les variations de probabilité à l'intérieur de cette fourchette. Les deux lignes horizontales qui apparaissent sous le diagramme en nuage correspondent aux intervalles de confiance à 1σ et 2σ .

C. Conséquences de la calibration

Comme, à certaines périodes, la courbe de calibration présente des oscillations importantes (*wiggle*), la calibration peut avoir des effets très différents. Dans certains cas, la calibration va réduire la fourchette temporelle, et, dans d'autres – là où il y a des oscillations, elle peut élargir la fourchette des dates calendaires. Parfois aussi, la courbe de probabilité de distribution devient tellement irrégulière qu'elle ne peut plus s'exprimer comme une moyenne avec son intervalle de confiance.

C'est pour cette raison que les dates comprises entre 2500 BP et 1900 BP, période cruciale pour le début de la métallurgie, ne peuvent être dissociées, et se retrouvent dans un intervalle calendaire qui va de 800 Cal BC à Cal AD 100. De même, il est quasi impossible de séparer chronologiquement des échantillons qui tombent dans l'intervalle qui va d'environ Cal AD 1650 à Cal AD 1950, ce qui rend, par exemple, les corrélations entre les données de l'archéologie et les sources historiques récentes très hasardeuses. Par contre, après 1950, « grâce » aux tests de bombes atomiques, il est très facile de dater, souvent à la décennie près.

Toutes ces imprécisions sont inhérentes à la méthode du radiocarbone qui n'a cependant cessé de s'améliorer depuis sa découverte il y a plus de 60 ans. Mais beaucoup de problèmes et d'erreurs rencontrés résultent surtout du choix des échantillons à dater et de l'interprétation des résultats par l'archéologue.

III. CHOIX DES ÉCHANTILLONS À DATER PAR LE CARBONE 14

Le choix des échantillons disponibles dépend de la quantité de l'échantillon, du type de matériel, de son contexte et des risques de contamination.

A. Quantité nécessaire pour un échantillon

Ceci concerne le matériel le plus fréquemment utilisé.

Méthode usuelle		Datation AMS
- charbon de bois (de préférence de gros calibre)	10 g	1 mg à 20 mg suffisent !
- os carbonisé	50 g	
- os non brûlé	300 g	
- graine	10 g	
- bois	20 g	
- coquille	50 g	

On peut aussi dater de la tourbe, de la terre chargée en matière organique, des dents, des concrétions calcaires, des poteries, des scories, du mortier, etc.

De gros morceaux sont toujours préférables.

B. Matière de l'échantillon

L'échantillon de matière organique soumis pour datation a toujours cessé de vivre avant d'être enterré et de se retrouver associé à d'autres objets. La date qu'il va fournir sera donc plus vieille que la date de son dépôt. On privilégiera par conséquent comme échantillon un matériel dont la vie est courte et dont la différence d'âge est donc potentiellement la plus faible possible. Des graines, des noix, de l'herbe, de l'os valent mieux que du charbon de bois. Pour ce dernier, celui d'essence à vie brève (moins de 100 ans) est préférable aux espèces à vie longue (plus de 100 ans), mais il faut pouvoir déterminer l'espèce de bois, et donc disposer d'un fragment assez gros pour qu'une partie fasse l'objet d'une analyse anthracologique et que l'autre soit datée. Dans des conditions désertiques, le bois mort peut se conserver très longtemps et n'être utilisé comme combustible que des siècles plus tard. De même, on peut réutiliser, par exemple, une poutre provenant d'une construction plus ancienne.

Se rappeler aussi que le bois croît par l'extérieur, et donc que sa partie la plus ancienne se situe au centre. C'est l'inverse pour l'ivoire.

C. Risques de contamination

Avant le prélèvement	Durant le prélèvement	Après le prélèvement
<p>L'eau du sol peut dissoudre la fraction organique, ou au contraire ajouter du carbone plus récent.</p> <p>Les bioturbations (termites, fourmis, animaux fouisseurs) et les mouvements du sol (dans le sable surtout) peuvent mélanger des charbons d'âges différents.</p>	<p>Éviter les cendres (cigarettes, feux, surtout en fin de saison sèche, quand on brûle la brousse).</p> <p>Prélever avec une truelle propre, un couteau, des pinces, et mettre dans un sac en plastique annoté au préalable.</p> <p>Éviter de prélever au contact entre des unités stratigraphiques différentes s'il y a un risque de mélange d'échantillons d'âges différents.</p>	<p>Faire sécher à l'abri du soleil (condensation) et en évitant que des cendres ou de la poussière n'y tombent.</p> <p>Enlever la terre, les racines et radicelles.</p> <p>Emballer les gros échantillons dans du papier aluminium, puis sous sac en plastique avec étiquetage clair.</p> <p>Tenir un registre séparé des échantillons pouvant servir aux datations, avec un système d'étiquettes, distinct si possible.</p> <p>Entreposer dans l'obscurité et, si possible, au frais, pour éviter la formation de condensation ou de pourriture verte.</p>

D. Contexte de l'échantillon

Pour la sélection des échantillons à dater, c'est la compréhension du contexte stratigraphique qui mérite le plus d'attention (voir également ce volume, Schwartz, pp. 218-222 et Rasse, pp. 223-227).

On préférera toujours un échantillon provenant d'un contexte fermé (fosse, tombe, sous une dalle rocheuse, dans de l'argile cuite) à celui d'une simple structure de combustion. Des petits fragments de charbon de bois éparpillés dans une couche, au sein d'un niveau stratigraphique artificiel sont les circonstances les plus susceptibles d'être problématiques. Malheureusement, on n'a souvent pas d'autre choix !

La relation entre ce que l'on date (charbon, graine, os...) et les vestiges de l'activité humaine est loin d'être toujours certaine, car il y a un certain degré d'incertitude dans l'association (Waterbolk 1971, p. 16 **des groupes d'association libellés A-D** ; 1983). L'idéal, c'est lorsque le vestige archéologique lui-même fournit l'échantillon (ossement du squelette d'une tombe, bois d'une poutre de l'habitation, bois d'une sculpture, charbon d'une scorie...). Dans ces cas il s'agit d'une association avec une *certitude complète* (A).

Il y a une *forte probabilité* (B) d'association quand il y a une relation directe et fonctionnelle entre l'échantillon et le vestige archéologique (ex. : graines dans un pot, cercueil dans une tombe). L'association est simplement *probable* (C) quand il n'y a pas de relation fonctionnelle démontrable mais que la quantité, la concentration et la dimension des fragments de matière organique font croire à une relation (ex. : aire de combustion, concentration d'ossements). La *possibilité* d'association reste *raisonnable* (D) avec des fragments petits et dispersés sur un niveau d'occupation ou au niveau d'une tombe. Par contre, si les fragments sont petits et dispersés et ne proviennent pas d'une structure archéologique décelable, mais sont simplement dispersés dans une couche archéologique,

l'association entre l'échantillon daté et le matériel archéologique présent dans ce niveau reste probable, mais le degré de certitude de l'association est le plus faible.

Il peut aussi arriver que du charbon de bois d'un niveau archéologique ancien soit prélevé dans le sol avec l'argile destinée à la construction et se retrouve ainsi incorporé dans les murs d'une construction beaucoup plus récente.

IV. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**A. Principe de base**

Une date isolée ne signifie rien. Pour bien faire, il faut au moins trois dates convergentes pour dater avec une certaine certitude un phénomène archéologique.

Vérification de la cohérence des résultats

La meilleure forme de vérification est d'avoir une série de datations dont l'ordre corresponde à la succession des niveaux de la stratigraphie, l'unité la plus profonde étant la plus vieille. De légères discordances, avec des inversions d'âges, sont négligeables pour autant que les intervalles de confiance à 2σ des datations concernées se recouvrent. Si ce n'est pas le cas, on a un problème qu'il va falloir expliquer : contamination, échantillon « vieux » au moment de l'abandon, erreur de laboratoire, inversion stratigraphique, erreur dans la lecture de la stratigraphie ?

Quelques comparaisons avec des datations obtenues par d'autres procédés (thermoluminescence, OSL...) sont aussi toujours utiles.

B. Traitement d'un nombre important de datations

Une série de dates calibrées pour une même phase, période, culture ou tradition, peuvent être regroupées en un tableau avec une échelle de temps en ordonnée et des lignes verticales

de longueurs proportionnelles à la marge d'erreur.

Une série de dates peut aussi être regroupée en un seul diagramme en nuage qui permettra ainsi une bonne visualisation de la probabilité des limites temporelles d'une occupation ou d'une culture.

Enfin, la forme des courbes de probabilité obtenues par l'addition des courbes de probabilité d'un grand nombre de dates calibrées doit être interprétée avec prudence. La forme de ces courbes résultant de ce type de sommations peut indiquer des évolutions des activités humaines dans le temps, par exemple une croissance démographique, mais elle est aussi en partie le reflet de la courbe de calibration elle-même.

BIBLIOGRAPHIE

Waterbolk, H.T. 1971. « Working with Radiocarbon Dates ». *Proceedings of the Prehistoric Society XXXVII* : 15-33.

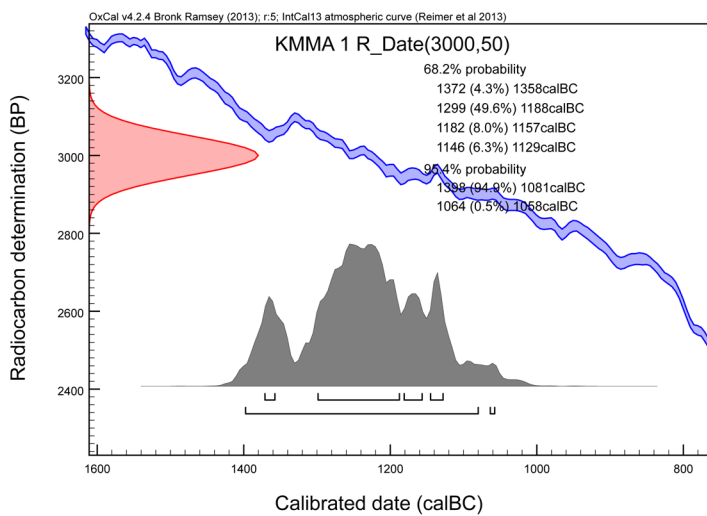
Waterbolk, H.T. 1983. « Thirty years of radiocarbon dating : the retrospective view of a Groningen archaeologist ». *Pact 8 (14C and archaeology : symposium held at Groningen, August 1981)* : 17-27.

C14 : INTERPRÉTER UNE DATE À TITRE D'EXEMPLE

E. Cornelissen¹, P. de Maret² & D. K. Wright³

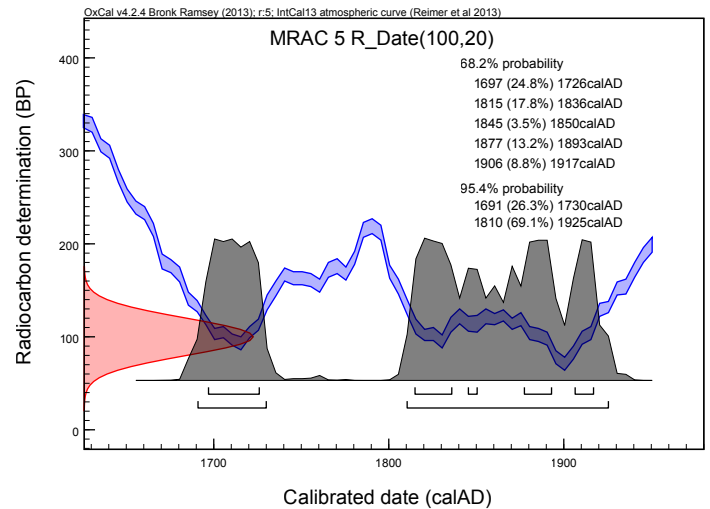
La courbe de calibration utilisée ici est disponible gratuitement à l'adresse suivante : <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html>, après avoir obtenu un nom d'utilisateur et un mot de passe.

Vous remplissez les cases du nom, de la date et de l'intervalle de confiance d'1- σ , que vous reprenez des résultats obtenus par le laboratoire auquel vous avez soumis votre échantillon.



La présentation choisie ci-dessous est celle du *single plot*. Les exemples donnés sont fictifs.

- Au niveau de 68,2 % de probabilité, il y a presque 50 % de chance pour que l'événement date d'entre le XIII^e et le début du XII^e siècle avant notre ère (avant J.-C.). Il y a une très petite probabilité qu'il soit plus vieux, et date du XIV^e siècle, ou qu'il date du XII^e siècle (14,3 %)
- Au niveau de 95,4 % de probabilité, la date peut tomber n'importe où entre le début du XIV^e siècle et le début du XI^e siècle avant J.-C., avec 0,5 % de chance qu'après tout la date se révèle être au milieu du XI^e siècle avant J.-C.
- Bien entendu, il reste 4,6 % de chance (statistique) que l'âge tombe en dehors de ces périodes.
- En aucun cas, ce résultat ne peut être utilisé pour conclure que l'événement a eu lieu ou a duré pendant toute la période à partir du début du 14^e siècle jusqu'au début du 11^e siècle avant notre ère, ou que l'artefact appartient à une tradition s'étalant sur toute cette période.



- Au niveau de 68,2 % de probabilité, il y a environ 25 % de chance que l'objet ou l'événement date d'entre 1696 et 1726 de notre ère (après J.-C.), soit du tournant des XVII^e-XVIII^e siècles. Cela implique qu'il y a une probabilité de 43,4 % que l'événement puisse dater d'une période beaucoup plus tardive, du XIX^e siècle ou du début du XX^e siècle.
- Si l'on augmente le niveau de probabilité jusqu'à 95,4 %, il y a alors statistiquement 26,3 % de chance pour que la date à laquelle est survenue la mort de l'organisme associé à l'échantillon se situe entre 1690 et 1730 après J.-C., mais il y a en même temps une plus forte probabilité, de 69,1 %, que la date soit située n'importe où entre le début du XIX^e siècle et le premier quart du XX^e siècle.
- Une confirmation peut être obtenue à partir d'autres sources de datation, telles qu'une pièce de monnaie ou un objet dont la production est clairement attestée à une période donnée.
- En aucun cas ce résultat ne peut être utilisé pour conclure que l'événement a eu lieu ou a duré pendant toute la période qui s'étend de la fin du XVII^e siècle jusqu'au début du XX^e siècle de notre ère, ou que l'artefact appartient à une tradition s'étalant sur toute cette période.
- En fait, cette date hypothétique illustre le point faible de la datation au radiocarbone : celle-ci ne peut pas être appliquée pour des datations ultérieures à la Révolution industrielle, moment à partir duquel des tonnes de carbone ont été relâchées annuellement dans l'atmosphère, et avant les premières explosions d'armes nucléaires (1944 après J.-C.). Par conséquent l'organisme est mort un peu après 1700 après J.-C. et avant 1950 AD. Il existe à présent une courbe de calibration établie pour des artefacts plus récents sur base de la mise en œuvre, en 1963, du Traité d'interdiction d'essais nucléaires, ainsi que sur le déclin des concentrations de C¹⁴ dans l'atmosphère, courbe qui permet de déterminer que l'organisme n'est pas mort avant 1950 après J.-C. (Hua, Q. & Barbetti, M. 2004. « Review of tropospheric bomb ¹⁴C data for carbon cycle modeling and age calibration purposes ». *Radiocarbon* 46 (3) : 1273-1298 ; aussi disponible sur <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/view/4182>

1 Services Patrimoines, Musée royal de l'Afrique centrale, Belgique.

2 Université libre de Bruxelles, Belgique.

3 Département d'Archéologie et d'Histoire de l'Art, Université nationale de Séoul, Corée du Sud.

AUTRES MÉTHODES DE DATATION RADIOMÉTRIQUE

David K. Wright¹

INTRODUCTION

Si la datation au radiocarbone reste la technique la plus employée pour dater les sites archéologiques en Afrique, d'autres méthodes sont de plus en plus reconnues comme capables de fournir des estimations exactes des périodes d'occupations passées des sites. La luminescence à stimulation optique ou OSL, en particulier, est devenue une norme exemplaire de la datation de sites archéologiques dans des milieux sédimentaires très différents. Toutefois, à l'instar de la datation au radiocarbone, ces méthodes ne fourniront pas de chronologies de sites, sans une approche critique de leur application. Les archéologues doivent aborder la chronologie de site avec précaution, et ce chapitre passe en revue les possibilités et les limites des méthodes de datation autres que le radiocarbone.

I. LUMINESCENCE À STIMULATION OPTIQUE

Alors que la datation au radiocarbone est directement appliquée à des artefacts renfermant du carbone, l'OSL est en principe appliquée sur les sédiments qui recouvrent les sites archéologiques. Les minéraux sédimentaires (habituellement quartz et feldspath) contiennent des traces d'éléments radioactifs comme l'uranium (U), le thorium (Th) et le potassium (⁴⁰K), qui attirent en permanence des électrons pour atteindre un état stable (non radioactif). En l'absence de lumière, les électrons remplissent les défauts du **réseau*** cristallin, qualifiés de « pièges », jusqu'à ce que ceux-ci soient pleins. Dès que le minéral est exposé à la lumière du soleil, la plupart des électrons stockés dans les pièges les quittent normalement en 10 secondes, privant le minéral de l'énergie stockée. Une fois que le sédiment est sorti de la lumière, le processus redémarre et les pièges recommencent à se remplir (**fig. 1**). Des sources additionnelles de radiations s'accumulent dans les minéraux proviennent des rayons cosmiques (les « muons »*), **qui bombardent** en permanence la surface de la terre, et du rayonnement bêta* émis par les sédiments environnants. Par conséquent, l'OSL permet de savoir quand des sédiments ont été exposés à la lumière du soleil pour la dernière fois, en mesurant la dose équivalente (D_e) de radiation présente dans un échantillon et en la divisant par le taux reconstruit de radiation auquel l'échantillon a été soumis pendant qu'il était enfoui (D_r).

Les avantages principaux de la datation par luminescence sur la technique au radiocarbone tiennent à ce que l'on n'a pas besoin d'avoir de carbone pour obtenir une estimation de l'âge, et que la fourchette de l'estimation va de <10 ans de la date de collecte à >100 000 ans dans un grand nombre de cas.

Dans le contexte africain, elle permet donc de remonter largement dans l'Âge de la Pierre moyen pour lequel il existe de nombreux sites archéologiques importants en dehors des zones volcaniques, pour lesquels il n'y a pratiquement pas d'autres moyens d'obtenir une datation fiable. La recherche expérimentale utilisant des feldspaths de potassium suggère que des datations remontant jusqu'à 1 million d'années sont possibles avec l'OSL, mais qu'il faudra encore du temps avant qu'on puisse faire des estimations de routine à cette échelle de temps.

Les principales considérations en faveur de l'usage de l'OSL sont les suivantes :

- (1) Il est absolument essentiel de savoir si les sédiments à dater ont complètement recouvert leur état initial sous l'action du soleil avant enfouissement. Les environnements éoliens (apportés par le vent) et les terrasses fluviales alluviales principalement constituées de sables fins offrent des conditions géomorphologiques normalement favorables à ce processus de datation. Les cônes alluviaux et les sédiments charriés sur le fond* provenant de terrasses fluviales sont moins propices. Les milieux sédimentaires généralement défavorables sont colluviaux ou issus d'un processus de formation de pente par déplacement en masse*. Si les restes archéologiques ont été d'une manière ou d'une autre datés à partir de sédiments non « réinitialisés » par le soleil, **il en résultera une surestimation importante de l'âge du site** ;
- (2) Les sites ayant subi une bioturbation exceptionnelle causée par des racines ou des animaux ne se prêtent pas bien à la datation par OSL. Le fonctionnement de l'OSL présuppose qu'un sédiment, une fois enterré, est plus ou moins resté dans la même position tout le temps de son enfouissement. Si une termitte transporte un grain de sable depuis un horizon profond vers un horizon plus haut dans le profil, cela signifie qu'un grain ayant été « réinitialisé » par le soleil est entré dans l'environnement de l'échantillon. Ou si une racine pousse un grain de sable depuis le sommet d'un profil vers des secteurs plus profonds, des contaminants plus jeunes peuvent contribuer à une sous-estimation de l'âge du site. En outre, l'énergie radiative naturelle reçue par l'échantillon lors de son enfouissement* inclut les contributions d'autres minéraux émettant des radiations sous forme de désintégration bêta*, si bien que le potentiel d'erreur augmente à mesure que des plantes ou des animaux apportent de nouveaux minéraux dans cet écosystème ;
- (3) En lien avec le point précédent, il peut être difficile d'obtenir une estimation d'âge fiable dans le cas de sols fortement altérés. Les horizons du sol apparaissent lorsque

¹ Département d'Archéologie et d'Histoire de l'Art, Université nationale de Séoul, Corée du Sud.

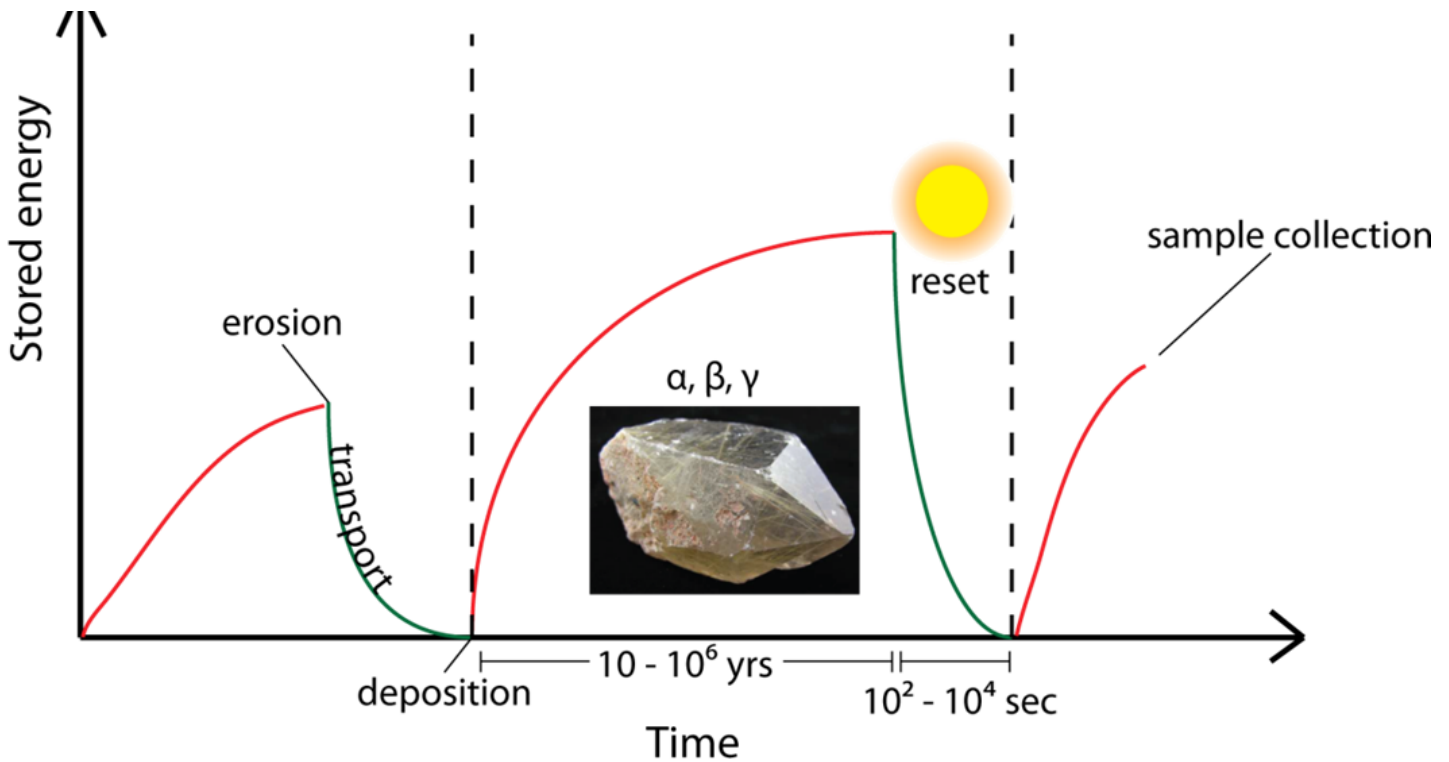


Fig. 1. Représentation schématique d'accumulation de luminescence dans des minéraux sédimentaires. (*Stored energy* : énergie stockée ; *deposition* : sédimentation ; *yrs* : années ; *time* : temps ; *collection sample* : collecte d'échantillon ; *erosion* : érosion ; *reset* : remise à zéro ; *transport* : transport.)

la stabilisation de la topographie a entraîné le transport de minéraux des portions supérieures du solum* vers des portions inférieures. Durant ces processus d'altération, l'énergie radiative naturelle reçue par l'échantillon lors de son enfouissement est modifiée, en particulier dans les sols bien développés. La formation de minéraux authigènes* survient lorsque l'eau du sol percole vers le haut et que ces minéraux altèrent aussi l'énergie radiative naturelle reçue par l'échantillon lors de son enfouissement. Dans les milieux saprolitiques* où le substrat rocheux est attaqué par une nappe phréatique perchée, il faut faire particulièrement attention à l'emplacement où l'échantillon destiné à la datation par OSL est collecté ;

- (4) La géochimie de l'environnement d'échantillonnage est un autre facteur important à prendre en compte, bien que ce savoir ne soit souvent disponible que longtemps après la fin du travail de terrain. Le taux minimum de quartz nécessaire pour obtenir une datation par OSL fiable d'un relief est d'environ 10 %. Dans les milieux de cendres volcaniques, en particulier dans la vallée du Rift et ses environs en Afrique, il y a beaucoup de zones où l'obtention d'un échantillon est impossible. Il est aussi bien connu des analystes OSL que beaucoup de minéraux comprenant du quartz qui proviennent de la vallée du Rift ont une « composante moyenne » significative, dans laquelle les pièges à électrons sont difficiles à vider en laboratoire. Les archéologues travaillant dans ou à proximité de la vallée du Rift doivent prévoir d'utiliser au moins une autre méthode de datation de site en plus de l'OSL, de façon à garantir des âges exacts ;

- (5) Une autre source majeure d'erreurs affectant la datation par OSL advient durant le processus de collecte. Lorsque les échantillons sont prélevés, ils ne doivent pas être exposés à la lumière, sous quelque forme que ce soit. Les échantillons collectés dans des sols latéritiques tropicaux, répandus en Afrique, sont problématiques parce qu'ils sont tellement cimentés qu'il devient difficile d'y introduire proprement un tube de collecte de sédiment. Si l'on craint qu'un échantillon ait été exposé à la lumière du soleil quand le tube a été inséré dans la paroi de profil, le mieux est d'écarter cet échantillon et de recommencer, plutôt que de dépenser plus de 1000 US\$ sur un échantillon qui va fournir des résultats erronés.

Les cinq points présentés ci-dessus doivent servir de mise en garde aux archéologues envisageant de recourir à l'OSL. À cet égard, il est essentiel que du personnel expérimenté dans la collecte et/ou l'analyse OSL soit impliqué avant même que le travail de terrain ne commence. La plupart des labos OSL n'accepteront pas de traiter des échantillons produits par des personnes sans expérience.

En matière d'analyse des échantillons, les laboratoires effectuent actuellement deux grandes catégories d'analyse. La première méthode analyse les grains multiples de sable collés sur jusqu'à 48 disques d'aluminium. Depuis quelques années, on appelle cette méthode « petit aliquote* » parce qu'il y a habituellement <100 grains de sable, chacun mesurant 100-250 µm de diamètre, sur chaque disque. Cette méthode tend à céder du terrain face à la méthode monogranulaire d'analyse des grains de sable pris individuellement, dont on considère qu'elle fournit des estimations plus fiables du temps d'enfouissement. En effet, lorsqu'ils

analysent les propriétés de luminescence des grains individuels, les analystes peuvent détecter le degré de bioturbation ayant fait bouger les grains ou une altération pédogénétique affectant la dose de radiation sur la durée. De plus, on pense que l'analyse des grains individuels tient compte des modifications potentielles de la capacité des minéraux à absorber des radiations provoquées par les instruments eux-mêmes.

Le désavantage principal de la méthode monogranulaire est que la durée d'analyse est nettement plus élevée qu'avec la méthode petit aliquote ; il est donc plus coûteux et plus difficile d'avoir des échantillons traités en temps voulu. Les analyses de type monogranulaire auraient également conduit à sous-estimer des âges, comparés aux chronologies au radiocarbone. Il est important de prendre en compte ces facteurs lorsque l'on choisit une méthode analytique adaptée à la datation d'un site archéologique. En règle générale, si l'OSL est la seule méthode employée pour dater un site, et s'il ne s'agit pas d'un contexte éolien ou fluvial bien trié, la méthode monogranulaire est la plus sûre. Toutefois, la comparaison d'un ou deux échantillons en petit aliquote avec les résultats d'une autre méthode de datation peut améliorer l'efficacité de l'analyse sur la durée du projet.

II. THERMOLUMINESCENCE (TL)

La physique sous-tendant la datation TL est identique à celle de l'OSL, hormis le fait que la mesure a lieu à partir de la « réinitialisation » des pièges à électrons pendant le chauffage, plutôt que par stimulation lumineuse.

Normalement, les pièces épaisses de poterie ou les briques sont datées par TL ; il est toutefois essentiel que des échantillons environnementaux soient collectés de la matrice sédimentaire dans un rayon de 20 cm adjacent à l'échantillon, de manière à déterminer l'énergie radiative naturelle reçue par l'échantillon lors de son enfouissement. Ces échantillons peuvent être exposés à la lumière et 100 g prélevés aux points N, S, E, O et sous l'échantillon TL suffiront.

III. RÉSONANCE PARAMAGNÉTIQUE ÉLECTRONIQUE (RPE)

À l'instar des méthodes de datation par luminescence, la RPE mesure la présence d'électrons libres qui se sont séparés de leur champ magnétique et ont été piégés dans de l'émail dentaire, des spéléothèmes* ou d'autres carbonates solubles. L'âge de l'échantillon est déterminé par les changements dans les centres paramagnétiques* des isotopes ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K , grâce à la spectroscopie* d'absorption hyperfréquence. Les changements détectés dans le champ magnétique par rapport à l'état initial sont supposés constituer un proxy de l'augmentation de la durée depuis le démarrage de la RPE. La lumière n'a pas d'effet sur la RPE, mais si des dents entrent en contact avec des eaux riches en carbonates, fréquentes dans les grottes,

l'uranium risque de se dissoudre, libérant les électrons piégés et relançant le processus de résonance.

La RPE a été utilisée pour dater des dents fossiles provenant de grottes d'Afrique australe et on croise en général ses résultats avec des méthodes de datation utilisant des séries d'uranium. L'application directe à des dépôts archéologiques non situés dans des grottes est limitée, mais la RPE peut être employée pour dater la formation de coraux ou de carbonates pouvant être associés à des artefacts archéologiques.

IV. DATATION AUX RADIONUCLÉIDES COSMOGÉNIQUES

La datation utilisant des nucléides cosmogéniques* (en général ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{21}Ne) est similaire à l'OSL en ce qu'elle mesure l'accumulation de particules chargées dans le réseau cristallin* des minéraux. Lorsque les rayons cosmiques frappent la terre, ils peuvent induire des réactions chimiques à la fois dans les particules de taille atomique dans l'atmosphère et dans les atomes de roches et minéraux. La collision de particules subatomiques peut engendrer de nouveaux isotopes par perte ou addition de neutrons et d'électrons. Parce que ce sont des atomes partout présents dans les roches et les minéraux, les nucléides cosmogéniques* mesurés les plus communs sont ceux formés à partir de la spallation* de ^{16}O > ^{10}Be et ^{28}Si > ^{26}Al ou d'événements de capture de muons*.

La théorie sous-tendant la datation de ces recombinaisons opère sur la base de trois prémisses centrales :

- (1) Les minéraux datés étaient présents à la surface ou près de celle-ci à travers toute la période intéressant la datation. Comme les sédiments retardent l'atténuation des rayons cosmiques, la distance relative de l'échantillon par rapport à la surface au cours du temps est importante pour modéliser la quantité de nucléides cosmogéniques* produits. Les composants « hérités », à savoir les résidus de milieux sédimentaires antérieurs, peuvent compliquer la modélisation.
- (2) La variation temporelle du niveau de flux des rayons cosmiques peut être modélisée et la spallation*/la capture de muons* survient en permanence en relation avec le niveau de flux des rayons cosmiques. Le radiocarbone (^{14}C) est aussi un nucléide cosmogénique et il doit être calibré en utilisant les mêmes jeux de données.
- (3) La spallation* et la capture de muons* s'effectuent dans les limites du minéral et ne sont pas libérés à l'extérieur de l'échantillon ; le minéral n'a pas absorbé ni plus ni moins que ce qu'il a évacué/perdu au cours de ce processus.

À la différence de l'OSL, la datation de l'exposition de surface est utile sur les paysages colluviaux et pour mesurer les dispersions d'artefacts à la surface de terrasses fluviales. Toutefois, le coût et la durée de l'analyse sont élevés et la réa-

lisation de la première condition ci-dessus décourage souvent les utilisateurs potentiels de cette méthode. Les échantillons doivent être collectés dans une colonne en profondeur et en position géographique exacte, et la topographie environnante doit être enregistrée si l'on veut analyser correctement les échantillons.

V. DATATION À L'URANIUM

La datation à l'uranium se fait de différentes façons, mais l'objectif général est de mesurer la désintégration des isotopes d'uranium (U) instables en isotopes stables de plomb (Pb). La désintégration des isotopes radioactifs de la série d'uranium ($^{238}\text{U} > ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} > ^{207}\text{Pb}$ and $^{232}\text{Th} > ^{208}\text{Pb}$) intervient dans des demi-vies de 4,5, 0,7 et 14 milliards d'années respectivement, et la mesure de cette étape du processus dans lequel se situe l'échantillon est appelée datation de la série d'uranium. La datation uranium-thorium s'appuie sur la détection d'une phase spécifique de la série de désintégration $^{238}\text{U} > ^{206}\text{Pb}$ dans laquelle le parent ^{234}U et la fille ^{230}Th sont analysés en fonction de l'émission d'une particule alpha issue du noyau de l'atome. Les étalonnages du radiocarbone entre - 10 000 et - 50 000 ans sont désormais calibrés en utilisant les âges des séries de l'uranium issus des coraux du fait de la grande exactitude et précision de la méthode.

Le savoir pratique qui intéresse les archéologues est constitué par la possibilité de dater avec une grande précision des matériaux tels que des os, le travertin d'une grotte ou des carbonates terrestres et marins. Toutefois, l'hypothèse principale de la méthode est qu'il n'y a pas eu d'échange isotopique de minéraux avec l'environnement. C'est une hypothèse risquée car l'uranium est fortement soluble dans l'eau et il re-précipite facilement.

La valeur de la méthode provient de la perspective temporelle longue qu'elle autorise et de sa haute précision lorsque les circonstances sont optimales. Les grottes sont des réceptacles importants de l'évolution humaine à travers l'Afrique australe, et les conditions d'obscurité et le manque de dépôts volcaniques laissent peu d'alternatives pour dater les sites. La datation à l'uranium est de plus en plus utilisée pour dater les carbonates des sols (qui sont abondants dans les régions arides d'Afrique) par ablation au laser, qui permet de dater la déposition de sédiments sur les sites archéologiques. La datation des dents et des os est bien plus délicate en raison de la facilité des échanges d'uranium entre l'environnement et l'organisme en décomposition.

VI. DATATION POTASSIUM-ARGON (K-AR) ET ARGON-ARGON (AR-AR)

La datation K-Ar mesure la désintégration de ^{40}K radioactif en ^{40}Ar inerte, mais elle a été quasiment remplacée par la datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, du fait de l'amélioration de l'exactitude de

cette dernière. Les échantillons sont irradiés dans un réacteur nucléaire et les courtes périodes radioactives de ^{39}Ar sont analysées comme un proxy du contenu en potassium lors de la formation du minéral. En tant que telles, ces techniques de datation sont uniquement utiles pour mesurer la formation de roches volcaniques.

À Koobi Fora, à Olduvai Gorge et dans la vallée de Hadar en Éthiopie, les cendres volcaniques sont communes et l'utilisation de la datation K-Ar/Ar-Ar s'est révélée précieuse pour affiner le cadre temporel des débuts de l'évolution humaine. La marge d'erreur peut être <1 % même pour des dépôts volcaniques récents, mais les chances de comparer les âges Ar-Ar directement avec les âges du radiocarbone sont extrêmement rares en raison des différences dans les milieux de conservation. Les périodes radioactives de $^{40}\text{K} > ^{40}\text{Ar}$ sont de 1,3 milliard d'années, et l'emploi de la méthode est par conséquent adapté pour l'ensemble de la durée de l'histoire de l'homme dans cette Afrique, qui est, comme on le sait, le lieu où tout a commencé en la matière.

BIBLIOGRAPHIE

- Aitken, M.J. 2014. *Science-Based Dating in Archaeology*. London : Routledge.
- Bahain, J.-J., Laurent, M., Falguères, C., Voinchet, P., Farkh, S. & Tissoux, H. 2002. « Datation par résonance paramagnétique électronique (RPE) des formations fluviatiles pléistocènes et des gisements archéologiques ou paléontologiques associés ». *Quaternaire* 13 (2) : 91-103.
- Carvajal, E., Montes, L. & Almanza, O.A. 2011. « Quaternary dating by electron spin resonance (ESR) applied to human tooth enamel ». *Earth Sciences Research Journal* 15 (2) : 115-120.
- Darvill, C.M. 2013. « Cosmogenic nuclide analysis » In British Society for Geomorphology (éd.), *Geomorphological Techniques*, chap. 4, sec. 2.10 (http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/4.2.10_CosmogenicNuclideAnalysis.pdf).
- Gebrekirostos, A., Bräuning, A., Sass-Klassen, U. & Mbow, C. 2014. « Opportunities and applications of dendrochronology in Africa ». *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6 : 48-53.
- Ivy-Ochs, S. & Kober, F. 2008. « Surface exposure dating with cosmogenic nuclides ». *Quaternary Science Journal* 57 (1-2) : 179-209.
- Joannes-Boyau, R. 2014. « Electron Spin Resonance (ESR) Dating in Archaeology ». In C. Smith (éd.), *Encyclopedia of Global Archaeology*. New York/Heidelberg : Springer, pp. 2352-2358.
- Jourdan, F., Mark, D. F. & Verati, C. (éd.). 2014. « Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating : from Archaeology to Planetary Sciences ».

Geological Society Special Publications 378 :1-8 (<http://dx.doi.org/10.1144/SP378.24>).

Malainey, M.E. 2010 *A Consumer's Guide to Archaeological Science : Analytical Techniques*. New York/Heidelberg : Springer.

Morgan, L.E., Renne, P.R., Kieffer, G., Piperno, M., Gallotti, R. & Raynal, J.-P. 2012. « A chronological framework for a long and persistent archaeological record : Melka Kunture, Ethiopia ». *Journal of Human Evolution* 62 : 104-115.

Rhodes, E.J. 2011 « **Optically stimulated luminescence dating of sediments over the past 200,000 years** ». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39 : 461-488.

Tribolo, C., Mercier, N., & Valladas, H. 2005 « **Chronologie des technofaciès Howieson's Poort et Still Bay (Middle Stone Age, Afrique du Sud) : bilan et nouvelles données de la luminescence** ». *Bulletin de la Société préhistorique française* 102 (4) : 855-866.

Vogel, N., Nomade, S., Negash, A. & Renne, P.R. 2006. « Forensic⁴⁰Ar/³⁹Ar dating : a provenance study of Middle Stone Age obsidian artifacts from Ethiopia ». *Journal of Archaeological Science* 33 : 1749-1765.

Yukihara, E.G. & McKeever, S.W. 2011. *Optically Stimulated Luminescence : Fundamentals and Applications*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons.

RESSOURCES INTERNET

OSL/TL

Université d'Oxford, laboratoire de datation par luminescence du département de Recherche en Archéologie et Histoire de l'Art : <http://www.arch.ox.ac.uk/luminescence.html>

Commission géologique des États-Unis, Centre scientifique de géochimie et géophysique de la croûte terrestre : http://crustal.usgs.gov/laboratories/luminescence_dating/what_is_tl.html

Université de Géorgie, laboratoire de datation par luminescence : <http://osl.uga.edu/index.php>

Université technique du Danemark (UTD), qui a produit la compilation TL/OSL Risø : http://www.nutech.dtu.dk/english/Products-and-Services/Dosimetry/Radiation-Measurement-Instruments/TL_OSL_reader

Université du Québec à Montréal, département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, laboratoire de luminescence (Lux) : <http://lux.uqam.ca>

RPE

Institut géographique de l'Université de Cologne : <http://www.geographie.uni-koeln.de/elektronenspinresonanz.338.de.html>

Université Paris Descartes, Imagerie de résonance paramagnétique électronique : <http://irpe.parisdescartes.fr/ressources/observables-applications-RPE.php>

Datation par radionucléides cosmogéniques

Université de Purdue, département de Physique et d'Astronomie, laboratoire PRIME <http://www.physics.purdue.edu/primelab/rosetest/plresearch.php>

Université de Washington, centre de Recherche sur le Quaternaire, laboratoire des Nucléides cosmogéniques : <http://depts.washington.edu/cosmolab/>

Cours de Ramón Arrowsmith, Professeur de géologie à l'Université d'État d'Arizona, « Méthodes de tectonique active », délivré au LIPI, Bandung Indonésie, été 2013, sponsorisé par le LIPI, l'IT Bandung et le programme GREAT :

<https://www.youtube.com/watch?v=FcPAIZWow9s>.

Université d'Aix-Marseille, Centre de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement : <https://www.cerege.fr>.

Datation à l'uranium

Commission géologique britannique, laboratoire des Géosciences isotopiques NERC :

<http://www.bgs.ac.uk/nigl/quatarnary.html>.

Centre national de recherche sur l'évolution humaine, Laboratoire de la série de l'uranium :

<http://www.cenieh.es/en/laboratories/uranium-series>.

Université de Vienne, département de Recherche sur la Lithosphère :

<http://lithosphere.univie.ac.at/geocosmochron/geochron>.

Datation ⁴⁰Ar/³⁹Ar

Centre de Géochronologie de Berkeley :

http://bgc.org/facilities/argon_lab.html.

Centre de Recherche sur l'Environnement des universités écossaises, équipement pour les isotopes de l'argon : <http://www.gla.ac.uk/research/az/suerc/nercfacilities/argonisotope-facility/>

Université nationale australienne, équipement pour la géochronologie de l'argon : <http://argon.anu.edu.au>.

GLOSSAIRE

Aliquote : échantillon ou portion d'un tout englobant.

Centres paramagnétiques : la libération de particules radioactives des isotopes et le piégeage consécutif dans l'environnement adjacent créent des sources secondaires d'énergie dans le réseau d'un minéral. Ces particules chargées imposent des changements dans les champs magnétiques des isotopes parents en déplaçant leurs pôles magnétiques pour s'ajuster à la force extérieure. Plus il y a de particules libres dans un minéral donné, plus il y aura de distorsions dans les centres paramagnétiques.

Charriage sur le fond : les sédiments qui se déplacent le long du fond des chenaux fluviaux sont typiquement constitués de particules d'un diamètre $\geq 250 \mu\text{m}$. Le charriage sur le fond est opposé au « charriage suspendu » qui est constitué d'argiles et de limons fins qui se déplacent dans les chenaux fluviaux via la portion supérieure de la colonne d'eau.

Déplacement en masse : lorsque des sols, des sédiments et/ou des roches mères se déplacent vers le bas d'une pente sous la forme d'une unité cohérente et comme résultat de l'incapacité des sédiments sous-jacents à retenir en place l'unité supérieure en question. Le déplacement en masse survient souvent dans des paysages dénudés et lorsque de fortes précipitations saturent les eaux de surface, réduisant la résistance à la traction des matériaux clastiques.

Désintégration bêta : processus d'émission du rayonnement bêta.

Énergie radiative naturelle reçue par l'échantillon lors de son enfouissement : montant total de la désintégration bêta survenant autour d'une zone échantillonnée. Une partie du rayonnement bêta sera absorbée par des isotopes chargés positivement ou piégés dans le réseau cristallin des structures minérales environnantes. Typiquement, le taux de désintégration bêta est analysé à partir d'échantillons globaux afin de déterminer le niveau de radiation ambiante auquel un échantillon a été exposé au cours du temps.

Minéraux authigènes : constituants minéraux formés dans un contexte primaire (c'est-à-dire sous la surface du sol ou dans une roche) en réponse à des réactions géochimiques se produisant dans ce contexte.

Muon : particule chargée négativement qui se forme à la suite de collisions avec des atomes dans l'atmosphère terrestre. Les muons voyagent vers la surface de la terre à une vitesse proche de celle de la lumière, mais se désintègrent par ionisation, en traversant l'atmosphère dense et en pénétrant dans la lithosphère.

Nucléides cosmogéniques : isotopes formés lors de la collision de rayons cosmiques avec des noyaux d'atomes. Les nucléides sont formés par spallation des neutrons, capture de ces neutrons

par d'autres atomes adjacents ou capture d'isotopes de muons (rayons cosmiques) eux-mêmes, au sein des atomes faisant partie des minéraux constitutifs d'une roche.

Rayonnement bêta : électrons ou positrons libérés par le noyau d'isotopes radioactifs, typiquement comme sous-produits du surnombre de neutrons par rapport aux protons.

Réseau : défauts structurels présents dans tous les minéraux naturels. Ils apparaissent au microscope sous forme de fissures ou de trous. Le réseau cristallin des minéraux présente des pièges pour les particules bêta, coincées à l'intérieur. Une fois ces pièges pleins, plus aucune particule bêta ne peut être absorbée et on dit que le minéral est « saturé ».

Saprolite : régolithe (roche mère) altéré chimiquement. Lors de la formation des saprolites, la roche se fragmente en sédiments *in situ*.

Solum : portion de l'environnement sédimentaire ayant subi des processus de formation du sol. Le solum n'inclut pas les matériaux parents et les sédiments de l'« horizon C », qui sont souvent inclus dans la classification des sols, comme en faisant partie intégrante.

Spallation : processus de fragmentation de portions d'un matériau sous l'impact de tel ou tel processus mécanique. Dans le contexte des nucléides cosmogéniques, le processus survient lorsqu'un rayonnement cosmique rapide entre en collision avec un isotope dans l'atmosphère terrestre ou la lithosphère.

Spectroscopie : étude de la manière dont la matière physique absorbe ou émet des vagues de radiation électromagnétique, incluant la lumière visible.

Spéléothèmes : carbonates de calcium solubles qui sédimentent dans des grottes.

MÉTHODES DE DATATION RELATIVE

David K. Wright¹

INTRODUCTION

Contrairement aux méthodes de datation radiométrique qui mesurent la décroissance ou l'augmentation de la radioactivité dans des échantillons, les techniques étalonnées depuis l'actuel sur la base de comptages ou de comparaisons avec des phénomènes actuels relèvent des techniques de datation relative. Les techniques de sériation* constituent aussi des formes de datation relative, mais elles ne seront pas discutées ici en détail. Pour des raisons expliquées ci-dessous, ces techniques n'ont été que sporadiquement employées sur les sites archéologiques en Afrique. Dans la mesure où des progrès sont réalisés dans l'application de ces techniques et où croît le besoin de nouvelles méthodes de datation en Afrique, les archéologues africanistes se doivent de prendre connaissance de ces alternatives potentielles.

I. DENDROCHRONOLOGIE

Le comptage des anneaux de croissance des arbres permet aux dendrochronologistes d'offrir une estimation précise et juste du moment où un arbre a été coupé. Généralement, les arbres poussant dans une même région bénéficieront en gros du même volume de précipitations et de la même durée d'ensoleillement au cours d'une saison donnée, ce qui influera sur l'épaisseur relative des anneaux. Des échantillons témoins sont collectés par carottage sur des arbres encore existants dans une région donnée. Ces échantillons sont comparés au bois ou au charbon de bois collecté sur les sites archéologiques ; on génère ainsi une clé reliant le présent au passé. Dans de nombreuses régions du monde, les poteaux supportant des structures sont datés, car ils sont suffisamment épais pour présenter une dendrochronologie correspondant à des collections de référence.

La limitation de la dendrochronologie tient à ce que cette méthode ne peut nous livrer que la date de coupe de l'arbre. Dans les vastes régions semi-arides d'Afrique où le bois peut être conservé dans des archives archéologiques, le mode de subsistance le plus commun a été le nomadisme pastoral durant l'essentiel des deux derniers millénaires. L'usage de grands arbres pour la construction de structures n'était pas suffisamment fréquent pour permettre l'établissement d'une base de données dendrochronologiques. Une grande mobilité n'incite pas au transport de lourds rondins de place en place.

La plus longue dendrochronologie du monde provient de chênes (*Quercus robur* ; *Q. petraea*) et de pins (*Pinus sylvestris*) d'Europe centrale et elle s'étend sur 12 640 ans (Friedrich *et al.* 2004), mais les dendrochronologies africaines sont loin d'offrir la même profondeur temporelle. Néanmoins, une base de données, couvrant les cent dernières années, est en cours d'élaboration pour le genévrier d'Afrique (*Juniperus procera*) et l'acacia (*Acacia* sp.) en Éthiopie (Krepkowski *et al.* 2012). Il existe d'autres chronologies régionales basées sur *Brachystegia* sp. en Afrique centrale, *Podocarpus latifolius* en Afrique australe, et le limba (*Terminalia superba*) d'Afrique tropicale centrale et occidentale, pour n'en citer que quelques-unes. Ces recherches doivent encore être appliquées à des contextes archéologiques, mais elles sont utiles pour l'interprétation des modèles pluviométriques durant la période historique pour laquelle les données sont très lacunaires.

II. DATATION PAR TRACES DE FISSION

La désintégration de l'uranium (²³⁸U) en plomb implique la fission du noyau en deux parties de tailles à peu près égales. Dans un verre volcanique comme l'obsidienne, le processus de fission laisse une marque (ou « trace »). Lorsque le verre volcanique est chauffé, les traces de fission disparaissent avec le recuit*. Par conséquent la datation par traces de fission permet de savoir quand une roche volcanique vitreuse a été chauffée pour la dernière fois, en comptant les marques laissées pendant la fission au rythme relativement constant de ²³⁸U. Afin de dater le recuit, le nombre de traces est compté sur une roche échantillon ; cet échantillon est alors chauffé pour en recuire les traces, puis observé sur un long laps de temps pour en déterminer le taux de fission. Enfin, le nombre de traces présentes dans l'échantillon avant chauffe est divisé par le taux de fission pour estimer le moment de la chauffe précédente.

Les hypothèses émises quant à la datation par traces de fission incluent que : (1) le contenu en uranium est significatif (>0,1 ppm) et homogène à travers l'échantillon analysé, (2) il n'y a pas de perte de traces par altération chimique, et (3) les autres sources potentielles de traces de fission, ²³⁵U étant la plus commune, ne contribuent que marginalement au nombre total de traces recensées.

En Afrique, la datation par traces de fission est la plupart du temps réalisée sur des sédiments de tuf vitreux issus des régions volcaniques de la vallée du Rift pour établir

¹ Département d'Archéologie et d'Histoire de l'Art, Université nationale de Séoul, Corée du Sud.

l'intervalle d'occupations entre les éruptions volcaniques. L'imprécision intrinsèque à cette méthode ($\pm 10\%$) nécessite normalement un croisement avec des méthodes de datation des roches volcaniques à l'argon qui sont plus précises.

III. DATATION PAR HYDRATATION DE L'OBSIDIENNE (DHO)

Lorsqu'un morceau de verre volcanique est débité pour fabriquer un outil, la surface fraîchement exposée de la roche commence à lentement absorber l'humidité atmosphérique, créant un film d'eau qui enrobe l'extérieur de la roche et est observable au microscope ou mesurable par spectroscopie* ou spectrométrie. Un artefact d'obsidienne est entaillé au moyen d'une scie diamantée et le taux de croissance de la couche d'eau est mesuré sur le bord de l'encoche durant une période allant de plusieurs mois à un an, puis comparé à la couche présente sur l'échantillon. Le temps écoulé depuis le débitage de l'artefact est estimé en divisant la longueur de la couche préhistorique par le temps écoulé depuis le début de l'expérimentation, multiplié par la longueur de la couche du bord débité pour effectuer l'expérience.

Le problème de fond de la DHO est que la température ambiante et le taux d'humidité doivent être connus depuis le moment où l'artefact a été débité, parce que ces facteurs affectent l'absorption d'eau dans l'obsidienne. Moins on en sait sur ces paramètres, moins précise est la méthode. Si un artefact a été enterré pendant une longue durée, l'évaluation sera plus facile que pour des artefacts récupérés en surface ou sub-surface.

Selon Ambrose (2012), les seules études concernant l'hydratation de l'obsidienne menées jusqu'à présent en Afrique l'ont été au Kenya et en Éthiopie par Joseph Michels, avec un succès mitigé. Il faut davantage d'études de l'empreinte chimique pour développer un jeu de données de référence en matière de taux d'hydratation, de température et d'humidité réelles à travers la région.

IV. DATATION ARCHÉOMAGNÉTIQUE

Lorsque les roches sont chauffées jusqu'à atteindre des états visqueux au-dessus de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, les minéraux magnétiques sont expulsés de leur matrice. En refroidissant, les particules magnétiques de la roche s'alignent sur la position du pôle Nord. Le Nord magnétique n'est pas un point fixe et son mouvement a été retracé à partir du début du Pléistocène par datation archéomagnétique, mais avec des degrés de précision variables. On appelle déclinaison la différence entre le « Nord vrai » et le Nord magnétique. Des inversions magnétiques surviennent environ tous les 450 000 ans, au cours desquelles la polarité de la terre s'inverse entre les axes nord et sud. Entre deux épisodes d'inversion, le pôle Nord se déplace en outre de dizaines, voire de centaines de

kilomètres par décennie. Par conséquent, la datation archéomagnétique peut être utilisée sur des foyers des périodes récentes jusqu'à des sédiments volcaniques contenant des minéraux magnétiques.

Lorsqu'un échantillon est collecté, on doit particulièrement veiller à enregistrer sa localisation exacte et extraire l'orientation de l'échantillon, prise par rapport à un niveau parfaitement horizontal avec l'enregistrement exact de la localisation du Nord magnétique et de la pente du relief où l'échantillon a été collecté. Celui-ci est normalement enfermé dans un cylindre de plâtre, de résine ou de plastique spécial et il ne doit pas être heurté durant le transport vers le laboratoire. Il faut collecter de multiples échantillons sur un lieu afin d'homogénéiser les anomalies magnétiques locales qui pourraient avoir affecté l'orientation magnétique de ces derniers.

Le principal défaut de la datation archéomagnétique provient des « interceptions multiples », à savoir lorsque le pôle magnétique s'aligne plusieurs fois avec l'échantillon du fait de sa position non stationnaire. Habituellement, un utilisateur de la méthode recevra une multitude d'âges potentiellement applicables, et il faut donc avoir une idée relative de l'âge de l'échantillon avant de tenter la datation. La position géographique du continent africain par rapport au pôle Nord est également problématique, dans la mesure où la région se situe au sud de la zone de flux géomagnétique* apparue à l'Holocène moyen, qui a généré de fortes variations d'intensité non-axiales-dipolaires qui doivent être étalonnées.

La datation archéomagnétique a principalement été appliquée à des sites d'hominiens fossiles sur de larges échelles temporelles, par analyse des inversions géomagnétiques dans les roches volcaniques magnétiques. Ces études sont en général combinées à des techniques de datation radiométrique, argon-argon par exemple, et visent à améliorer la précision de la géochronologie, tandis que les techniques radiométriques sont gages de justesse. Une étude de Mitra *et al.* (2013) suggère qu'il existe un potentiel d'application des études archéomagnétiques à de la terre cuite pour construire des chronologies de sites de l'Holocène en Afrique subsaharienne, mais qu'il faut améliorer les connaissances pour déterminer les fluctuations géomagnétiques dans la région.

BIBLIOGRAPHIE

Ambrose, S.H. 2012. « Obsidian Dating and Source Exploitation Studies in Africa ». In I. Liritzis and C.M. Stevenson (éd.), *Obsidian and Ancient Manufactured Glasses*. Albuquerque : University of New Mexico Press, pp. 56-72.

Bayélé-Goma, R. 2011. *Interdatation par la dendrochronologie applicable en milieu tropical : Procédure type*. Paris : Éditions Publibook, 72 p.

Djindjian, F. 2011. *Manuel d'archéologie : Méthodes, objets et concepts*. Paris : Armand Colin, 416 p.

Friedrich, M., Remmele, S., Kromer, B., Hofmann, J., Spurk, M., Kaiser, K.F., Orsel, C. & Küppers, M. 2004. « The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe : a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions ». *Radiocarbon* 46 (3) : 1111-1122.

Hannaford, M.J., Bigg, G.R., Jones, J.M., Phimister, I. & Staub, M. 2014. « Climate variability and societal dynamics in pre-colonial southern African history (AD 900-1840) : A synthesis and critique ». *Environment and History* 20 (3) : 411-445.

Krepkowski, J., Bräuning, A. & Gebrekirstos, A. 2012. « Growth dynamics and potential for cross-dating and multi-century climate reconstruction of *Podocarpusfalcatus* in Ethiopia ». *Dendrochronologia* 30 (4) : 257-265.

Liritzis, I. & Laskaris, N. 2011. « Fifty years of obsidian hydration dating in archaeology ». *Journal of Non-Crystalline Solids* 357 (10) : 2011-2023.

Mitra, R., Tauxe, L. & McIntosh, S.K. 2013. « Two thousand years of archaeointensity from West Africa ». *Earth and Planetary Science Letters* 364 : 123-133.

Wagner, G. & van den Haute, P. 2012. *Fission-Track Dating*. New York : Springer Science + Business Media (coll. « Solid Earth Science Library »), 285 p.

RESSOURCES INTERNET

Datations des anneaux de croissance des arbres

Université du Tennessee, Knoxville, département de Géographie, (<http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm>).

Université de Montréal, groupe de Recherche en Dendrochronologie historique (GRDH), (<http://www.grdh-dendro.com/index.html>).

Datation par traces de fission

Université de Gand, unité de Géologie et Pédologie, groupe de Géochronologie, Datation par traces de fission (<http://www.minpet.ugent.be/fission.htm>).

Site internet personnel de Tristan Ferroir, Professeur de CPGE BCPST, Lycée Janson de Sailly (<http://tristan.ferroir.fr/index.php/2008/10/13/la-datation-par-traces-de-fission-en-geologie/>).

Datation par hydratation de l'obsidienne

Université d'Arizona, département des Géosciences (<http://www.geo.arizona.edu/palynology/geos462/11datingmeth.html>).

Consultants en archéologie Bieling & Psota (http://www.sonic.net/~dbieling/obsidian_hydration.html).

Datation archéomagnétique

Université de Bradford, division des Sciences archéologiques, géographiques et environnementales (<http://www.brad.ac.uk/archaeomagnetism/archaeomagnetic-dating/>).

Patrimoine anglais, Guide de datation archéomagnétique (*Archaeomagnetic Dating Guidelines*), pdf disponible en ligne (<http://www.english-heritage.org.uk/publications/archaeomagnetic-dating-guidelines>).

Université La Trobe, Laboratoire australien d'archéomagnétisme (<http://www.archaeomagnetism.com>).

Université de Californie, San Diego, GEOMAGIA50 base de données archéomagnétiques (<http://geomagia.ucsd.edu>).

Institut français de l'Éducation (<http://accs.ens-lyon.fr/accs/terre/limites/Temps/datation-isotopique/enseigner/paleomagnetisme>).

Université Laval, département de Géologie (<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/magnetisme.terr.html>).

GLOSSAIRE

Recuit : chauffage d'un matériau au-dessus d'un seuil où il reste structurellement intact. Lorsque le matériau refroidit, les composantes moléculaires sont réalignées. Dans la datation par traces de fission, le processus de recuit entraîne un effacement des traces de fission. Dans la mesure où il est lié à l'archéomagnétisme, le recuit entraîne le réaligement des particules magnétiques sur le pôle Nord géomagnétique.

Spectroscopie : étude de la manière dont la matière physique absorbe ou émet des vagues de radiation électromagnétique, incluant la lumière visible.

Techniques de sériation : obtention d'une chronologie par l'usage d'artefacts diagnostiques spécifiques du point de vue culturel et temporel.

Zone de flux géomagnétique : zone de la magnétosphère où règne une intense activité du champ magnétique. Le champ magnétique terrestre est généré par des courants électriques voyageant à travers les particules de fer qui dominent le noyau externe de la terre ; il n'est pas distribué également à travers la magnétosphère et varie temporellement en intensité et en extension spatiale.

Méthode	Âge (années avant aujourd'hui)	Précision (1- σ)	Que pouvez-vous dater ?
Radiocarbonate (^{14}C)	250 – 50 000	<1-2 %	Éléments anciennement vivants (os, bois, grains, coquillages, etc.)
Nucléide cosmogénique	2000 – 10 000 000	1 % (roches) – >10 % (sédiment)	Surfaces de sol exposées
Dendrochronologie	Rarement effectuée en Afrique	0 % (si bien faite)	Arbres
K-Ar/Ar-Ar	2000 – 4 600 000 000	1-2 %	Roches volcaniques
Série de l'uranium	50 000 – 500 000	1-10 %	Travertins (grottes calcaires), os, coquillages, carbonates
Datation par traces de fission	2000 - 1,000 000+	10 %	Échantillons récents = verre ou céramiques ; échantillons anciens = verre volcanique (obsidienne)
Thermoluminescence (TL)	100 – 50 000	5-10 %	Céramiques ou pierres sédimentaires chauffées (silex, quartz)
Luminescence à stimulation optique (OSL)	10 – 150 000	3-7 %	Roches sédimentaires ayant été enfouies (non exposées à la lumière ou à une chaleur extrême)
Résonance paramagnétique électronique (RPE)	0 – 150 000	10-20 %	Dents dans des environnements stables du point de vue thermique (grottes)
Hydratation de l'obsidienne	0 – 120 000	10 %	Date de production de l'artefact en obsidienne
Datation archéomagnétique (a-mag)	0 – 2 000 000+	Dépend du nombre d'interceptions	Minéraux magnétiques ayant été chauffés (les foyers et dépôts volcaniques sont les plus communément datés)

Méthodes courantes de datation radiométrique ou autre de sites archéologiques, période temporelle couverte, précision de la méthode et matériaux pouvant être datés.