Métallurgie et Datation à Ôboui, République Centrafricaine

Datation Radiocarbone du fer et Perspectives chronologiques

Stéphanie LEROY(1),
Emmanuelle DELQUÉ-KOLIČ(2), Etienne ZANGATO(3)

(1) LAPA-IRAMAT, NIMBE, CNRS, CEA, Université Paris-Saclay
(2) LMC14, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay
(3) UMR TEMPS 8068, Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques

DOI : https ://doi.org/10.17184/eac.9853

Résumé : Au cours des années 2000, des recherches archéologiques menées en République centrafricaine, sur les sites d'Ôboui et de Gbabiri, ont mis au jour un ensemble significatif de vestiges métallurgiques liés au travail du fer. Du point de vue de l'archéologie des métaux, ces découvertes constituent un corpus majeur pour l'étude des procédés anciens en Afrique centrale. Les datations radiocarbone des charbons de bois, obtenues à cette époque, ont permis de proposer une chronologie des occupations entre le 1er millénaire av. J.-C. et le 1er millénaire apr. J.-C. Parallèlement, l'analyse du mobilier métallique, conduite par Philippe Fluzin, a apporté des éléments de caractérisation des activités métallurgiques. Plus récemment, les avancées en datation radiocarbone appliquée directement au métal ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'analyse des contextes techniques. L'analyse radiocarbone de deux artefacts métalliques, couplée à une synthèse des datations disponibles sur les charbons, met en évidence le potentiel de cette approche pour préciser la chronologie du mobilier et des activités métallurgiques, et aussi enrichir l'interprétation des contextes archéologiques régionaux.

Abstract: During the 2000s, archaeological research conducted in the Central African Republic at the sites of Ôboui and Gbabiri uncovered a significant collection of metallurgical remains linked to ironworking. From a metal archaeology perspective, these discoveries constitute a major corpus for the study of ancient processes in Central Africa. Radiocarbon dating of charcoal obtained at that time has made it possible to propose a chronology of occupations between the 1st millennium BC and the 1st millennium AD. At the same time, analysis of metal artefacts conducted by Philippe Fluzin has provided information on metallurgical activities. More recently, advances in radiocarbon dating applied directly to metal have opened up new perspectives for the analysis of technical contexts. Radiocarbon analysis of two metal artefacts, coupled with a synthesis of available carbon dating, highlights the potential of this approach to refine the chronology of artefacts and metallurgical activities, and also to enrich the interpretation of regional archaeological contexts.

1 Introduction

Les ateliers d'Ôboui, qui comprennent les sites d'Ôboui et Gbabiri, ont été découverts en 1992 dans la région de Ndio, en République centrafricaine (Figure 1). L'analyse des vestiges retrouvés a permis d'établir un cadre chronoculturel régional couvrant les périodes du Néolithique et de l'Âge du fer, sans indice de transition vers l'Âge du bronze. Cette séquence chronologique se divise en trois grandes périodes : le Fer 1, daté de 2500 à 1500 av. J.-C., le Fer 2, qui s'étend de 1500 av. J.-C. à 500 ap. J.-C., et le Fer 3, à partir de 500 ap. J.-C. (Zangato 2022). La période Fer 2 à Ndio est elle-même subdivisée en trois phases distinctes : Fer 2a, marquée par l'arrivée des communautés villageoises à Gbabiri ; Fer 2b, caractérisée par la multiplication des monuments ; et Fer 2c, avec l'émergence des territoires villageois. Les deux sites, distants d'environ cinq kilomètres, ont ainsi fait l'objet de travaux archéologiques menés sur plusieurs années.

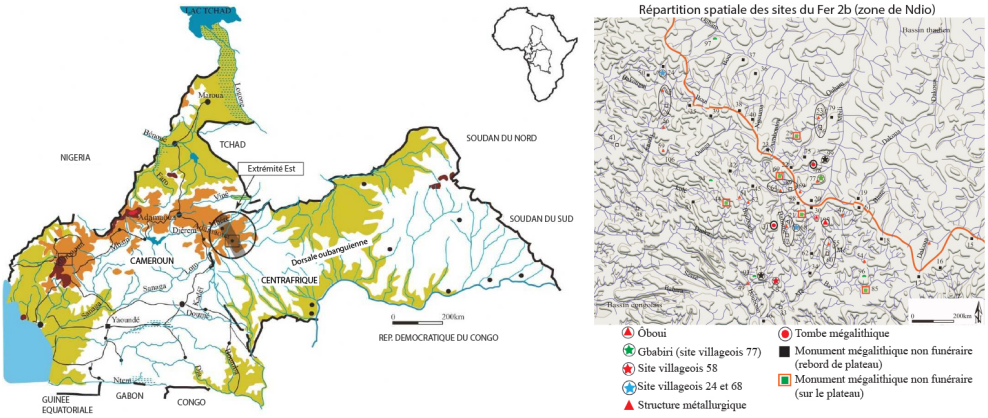


Fig. 1 : Cartes de localisation de la zone Ndio en Centrafrique (gauche ; rectangle noir) et répartition spatiale des sites du Fer 2b au sein de la région Ndio (droite). Le contexte chrono-culturel de l'extrémité Est de l'Adamaoua, qui n'est pas détaillé ici, peut être consulté dans Zangato (2022).

Dans ce cadre, une recherche approfondie sur la « dynamique des sociétés des communautés métallurgistes dans les marges forestières de l'Afrique centrale » a été entreprise, impliquant des spécialistes de diverses disciplines et des institutions telles que le laboratoire *Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques* (Temps), *l'Institut de Recherche sur les Archéomatériaux* (IRAMAT), Sorbonne Université, et le *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire* (CreAAh). L'analyse a débuté par une observation générale, suivie d'une caractérisation plus détaillée des phénomènes étudiés. Des fouilles, comprenant des décapages de surface étendus, ont permis de mettre en évidence divers types de traces liées aux activités anciennes, notamment celles du travail du métal et de la forge, ainsi que leur répartition spatiale, un aspect encore peu développé en 2000 en Afrique centrale. Cette approche a permis de redéfinir et de préciser la notion « d'atelier métallurgique », qui, ici, désigne un ensemble de configurations archéologiques comprenant des structures centrales telles que des foyers ou des fours de réduction, organisées sur un sol d'occupation. Cette

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

approche s'est avérée fondamentale pour comprendre l'organisation des ensembles archéologiques sur site, en se basant sur l'analyse de la *chaîne opératoire du terrain* (Zangato 2022, p. 131-134 ; Zangato à paraître). Différents types de vestiges ont été relevés sur le terrain, et des protocoles d'échantillonnage spécifiques ont été élaborés pour mener des analyses ciblées[1] (Zangato 2008). Parmi celles-ci, la datation radiocarbone des charbons de bois a permis de proposer des dates pour les niveaux d'occupation (Saliège 2008). Un examen du mobilier métallurgique a également été réalisé, incluant une analyse métallographique des échantillons, dans le but de mieux comprendre la fonction des structures et la nature des activités métallurgiques sur le site (Fluzin 2008a & 2008b).

Les échantillons de charbon ont été collectés dans des contextes précis comme les sédiments, les foyers de forge et les scories de fond de four. Ces deux derniers contextes (foyers de forge et scories de fond de four) ont été utilisés pour écarter les échantillons d'origine douteuse, c'est-à-dire qui ne seraient pas directement liés aux processus métallurgiques. Seuls les charbons mesurant plusieurs centimètres en longueur et en épaisseur ont été retenus, car ils sont moins susceptibles de subir des migrations entre différents niveaux du site archéologique. La caractérisation anthracologique des charbons n'ayant malheureusement pas été réalisée, la nature des combustibles reste incertaine. La présence d'endocarpes de Burseraceae dans une structure de forge pourrait suggérer l'usage de bois de cette famille, issus d'arbres adultes âgés de 20 à 100 ans et provenant des forêts voisines (Saliège 2008). Pour pallier l'incertitude liée à l'âge du combustible, une autre approche a été adoptée : multiplier les datations de lots de charbons d'une même couche pour en analyser la répartition et détecter d'éventuels effets de « vieux bois »[2] (voir la discussion et la démarche dans Saliège 2008). La cohérence des résultats semble exclure cette possibilité. L'idée d'un recours systématique à du bois fossile, issu de dépôts anciens ou de reliquats d'incendie par exemple, est également écartée par l'auteur. En métallurgie du fer, les besoins importants en combustible suggèrent un usage majoritaire de la végétation environnante, contemporaine des activités métallurgiques[3].

Ce travail de datation a conduit à proposer de deux grandes périodes d'activité métallurgique, à savoir une phase récente (1500 av. J.-C. à 500 apr. J.-C.), et une phase plus ancienne (3^{e} millénaire av. J.-C.) associée au site d'Ôboui. Il s'inscrit dans une analyse plus large de la chaîne de production du métal, où, à l'autre extrémité de la transformation, les vestiges métalliques (fragments bruts, loupe, objets métalliques) fournissent des éclairages sur les propriétés physiques et chimiques de la production, offrant ainsi une vision d'ensemble des processus métallurgiques.

Dans cette optique, le protocole d'étude, fondé sur le savoir-faire de l'IRAMAT et plus particulièrement le Laboratoire Métallurgies et Cultures dirigé par Ph. Fluzin, a

[1] Pétrographiques, métallographiques, palynologiques, micro morphologiques.

[2] « L'effet vieux bois » résulte de la datation de tissus ligneux appartenant à une espèce longévive et/ou provenant du cœur du tronc et, par conséquent, formés bien avant le dépôt dans la couche que l'on cherche à dater (Stouvenot *et al.* 2015).

[3] Les observations effectuées pour les périodes récentes, notamment en Afrique de l'Ouest et en Afrique subsaharienne, montrent que le choix du combustible par les métallurgistes ne relève pas du hasard. Il repose au contraire sur une connaissance du milieu naturel, combinant l'exploitation de forêts denses et la disponibilité des essences locales (Aremu, 2002 ; Akinjogbin, 2002 ; Chrétien 1983 ; Echard, 1983 ; Martinelli, 2000 ; Monino, 1983).

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

impliqué une préparation ad hoc des échantillons, suivie par l'observation des textures et microstructures du métal. La caractérisation des éléments de scorie[4] a complété cette démarche, pour une compréhension plus approfondie des différentes étapes de la production métallurgique. En parallèle, depuis les années 2000, des avancées significatives dans l'étude du métal, notamment à travers l'analyse de sa composition et de ses caractéristiques, ont enrichi notre compréhension de son empreinte chronologique, grâce à l'exploitation du radiocarbone qu'il contient. Ce nouvel indicateur datable a ainsi ouvert des perspectives de recherche jusqu'ici inaccessibles. Dans le cadre des ateliers d'Ôboui, la disponibilité des dates sur les charbons, associée à la présence de métal, permet pour la première fois d'estimer la datation du fer en lien avec les spécificités de l'activité métallurgique locale. Nous espérons que cette démarche, ainsi que les résultats préliminaires qui en découlent, alimenteront une discussion plus large sur leurs implications pour la compréhension des contextes archéologiques de la région.

2 Les chronologies et le mobilier métallique des ateliers d'Ôboui

2.1 Le site de Gbabiri

2.1.1 Stratigraphie et Datation

Sur le site de Gbabiri (Figure 1), une superficie de 500 m^2 a été fouillée, permettant de décrire plusieurs secteurs de fouilles. La similitude des niveaux stratigraphiques et la bonne connexité des couches sédimentaires avec les vestiges archéologiques qui s'y rapportent ont permis d'établir une stratigraphie de l'ensemble (Zangato 2008) (Figure 2). Les datations des occupations métallurgiques sont présentées dans le Tableau 1. La couche 4 (C4) a livré de nombreux fragments de loupe, culots et scories. Dans l'ensemble C3, et plus particulièrement dans l'horizon C3h2, un atelier de forge a été identifié. Celui-ci comprend plusieurs structures (st.) techniques : un foyer (st.1), une fosse à charbon (st.2), une enclume, une forte proportion de déchets métallurgiques et des objets métalliques. La couche C2 divisée en deux horizons – C2h1 et C2h2 – a livré un matériel archéologique varié, incluant des vases cinéraires, des pipes, des scories, des fragments de loupe et quelques objets en fer, répartis sur différentes zones. En outre, la fouille d'un four de réduction dans le secteur 2, non connecté à la stratigraphie précédente, a permis de prélever un charbon piégé dans une scorie de fond de four. Au total, huit mesures de datation ont été réalisées, fournissant une fourchette chronologique pour les charbons datés entre 903-786 calAEC et 252-528 calEC (95,4 %)[5] (Tableau 1). Dans l'ensemble, l'étude a suggéré une « possible continuité du processus technique », s'étendant de la réduction jusqu'aux dernières étapes de compactage du métal. Cette hypothèse, fondée sur l'analyse des vestiges et leur répartition spatiale en lien avec les structures et équipements métallurgiques identifiés (Fluzin 2008a), doit néanmoins être considérée avec prudence, faute d'éléments suffisants pour la confirmer avec rigueur.

[4]La morphologie, la minéralogie, la composition élémentaire et la proportion des éléments dans le métal constituent des aspects fondamentaux de l'analyse. Toutefois, le protocole d'analyse de la composition chimique des inclusions dans les objets, tel qu'il est appliqué aujourd'hui par l'IRAMAT pour assurer une analyse aussi exhaustive que possible à l'échelle de l'objet, n'était pas encore développé au début des années 2000.

[5]La notation AEC pour avant l'ère commune et EC pour ère commune est utilisée ici pour exprimer les âges radiocarbone calibrés.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

2.1.2 Mobilier métallique

Une étude métallographique menée par Ph. Fluzin dans les années 2000 (Fluzin 2008a) a fourni des indices sur la nature du métal retrouvé sur site ainsi que sur les transformations qu'il a subies. L'analyse[6] a porté sur deux objets et deux fragments de loupe, dans le but de les associer à une modalité de la chaîne opératoire. Le premier objet, une pointe de flèche issue de C2h2, ne présente ni repli ni soudure. Il est composé principalement d'un alliage ferritique (%C < 0,02), avec une concentration locale plus élevée en carbone (0,3 %) à l'une de ses extrémités. Le second, une pointe de flèche à soie provenant de la même couche, est constitué d'un alliage homogène proche de l'eutectoïde (0,8 % de carbone) et présente une trempe en son centre. Bien que quelques replis aient été identifiés, aucune soudure n'a été observée. L'examen des fragments de loupe provenant de C3h2 révèle qu'ils ont subi un martelage partiel après un passage en forge. L'un est entièrement composé d'un métal ferritique, tandis que l'autre présente localement un acier proche de l'eutectoïde ayant fait l'objet d'une trempe. En raison de leur nature, ces fragments se caractérisent par un « aspect déchiqueté » et une matrice hétérogène mêlant métal, scories, porosités et impuretés (Fluzin 2008a) (Figure 3). Des similitudes structurelles[7] observées n'indiquent pas de « disparité forte entre ces éléments métalliques », ce qui a conduit à l'hypothèse que les objets finis auraient été fabriqués directement sur site, à partir de fragments de loupe, sans étape intermédiaire (Fluzin 2008a). Toutefois, ces fragments de loupe et les objets étudiés proviennent de contextes archéologiques distincts, ce qui soulève des questions sur l'origine des pointes de flèche et leur lien avec les fragments de loupe retrouvés à proximité. La datation du métal pourrait constituer un repère chronologique pertinent, permettant de clarifier les liens entre ces éléments métalliques tout en approfondissant l'analyse des pratiques métallurgiques locales.

2.2 Le site d'Ôboui

2.2.1 Stratigraphie et datation

À Ôboui (Figure 1), les fouilles sur plus de 1300 m² ont révèlé une quantité importante de déchets métallurgiques, des fosses à charbon ainsi que trois structures de forge (st.4-secteur 2 ; st.1-secteur 9 et st.6-secteur 5), l'ensemble témoignant d'une activité de forge soutenue (Zangato 2008, p. 80-85). Ces activités s'organisent autour de trois niveaux d'occupation : C3h1, C3h2 et C3h3 (Figure 2). Les couches C3h3 et C3h2 se distinguent par un mobilier archéologique particulièrement riche, incluant de la céramique, des outils lithiques, des fragments de loupes et de métal (tiges en fer), ainsi que des structures de forge bien conservées (st.4 et st.1). Leur datation repose sur dix mesures radiocarbone, situées entre 368-66 AEC et 393-572 EC (95,4 %) (Tableau 1). Le niveau C3h, quant à lui, a livré un foyer de forge, des fosses « dépotoirs », des fosses à charbon ainsi que divers artefacts métalliques. Il serait plus ancien, remontrant à la fin du 3e millénaire av. J.-C. (Saliège 2008). Malgré l'attention particulière portée à ce dernier niveau dans le cadre d'études antérieures, il ne fait pas directement partie de

[6] La composition de quelques particules de scorie associées au métal a également été étudiée, mais les observations obtenues restent limitées pour documenter les liens possibles entre le métal brut et l'objet fini (Fluzin 2008a).

[7] Combinées aux quelques observations faites sur les inclusions de scories.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

notre analyse ici. En effet, la texture très hétérogène des échantillons qu'il contient, un mélange complexe de scorie et de métal, n'a pas encore permis d'extraire de données de datation fiables pour le métal.

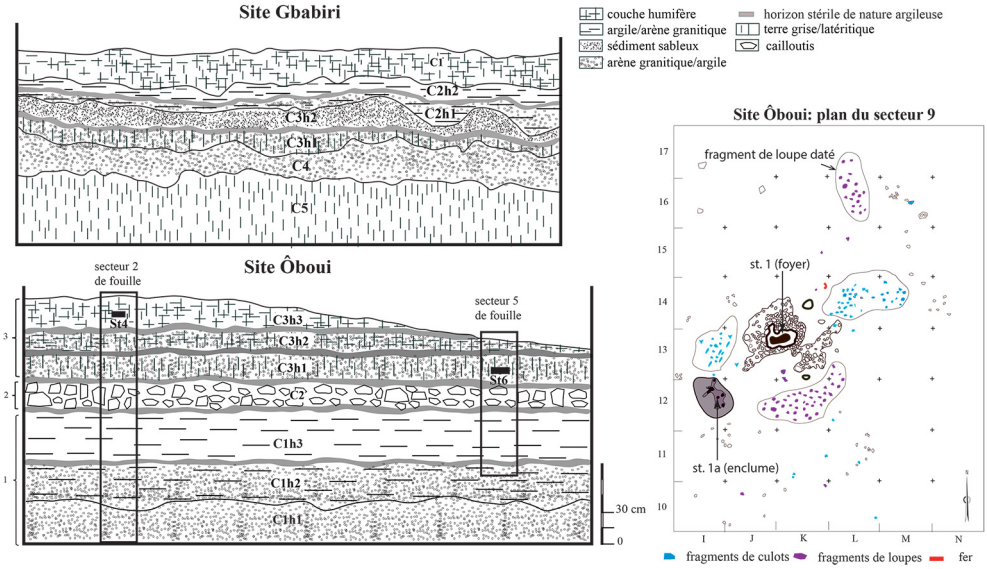


Fig. 2 : Gauche : Coupes stratigraphiques pour Gbabiri (haut) et Ôboui (bas). Droite : Plan général du secteur 9 à Ôboui avec répartition des vestiges et structures.

2.2.2 Mobilier métallique

L'étude métallographique s'est principalement concentrée sur deux fragments de loupe provenant des secteurs de fouilles 2 et 9, séparés par quelques dizaines de mètres (Fluzin 2008a). Le premier fragment a été prélevé dans la couche C3h3 du secteur 2, à proximité du foyer de forge (st.4) (Figure 2). Le métal de cet échantillon présente un aspect parfois filamentaire, associé à de nombreuses porosités et des replis partiellement écrasés. L'alliage est principalement ferritique, avec une teneur en carbone inférieure à 0,02 %. Le second fragment a été prélevé près du foyer de forge (st.1) du secteur 9, au sein d'une jonchée de fragments de loupe. Le métal, en plus forte proportion dans cet échantillon, contient quelques vides de scories et des replis pratiquement fermés, témoignant d'un martelage poussé. La quantité de scories résiduelles est moindre par rapport au premier fragment, ce qui confère au métal une homogénéité plus marquée. Bien que l'alliage soit principalement ferritique, des zones localisées, atteignant jusqu'à 0,7 % de carbone, ont été observées. Ces fragments, témoins des étapes d'épuration ou d'élaboration des objets, sont particulièrement précieux pour dater et mieux appréhender la chronologie des activités de post-réduction.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

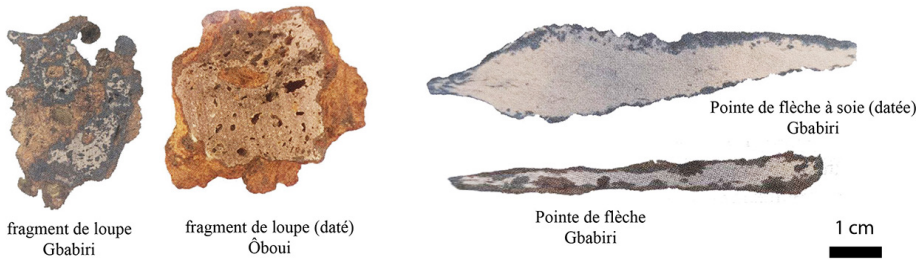


Fig. 3 : Variabilité des proportions de métal et diversité des textures observées dans le mobilier métallique : du fragment de loupe à l'objet fini (coupes et photos extraites de Fluzin 2008a).

3 La datation radiocarbone du métal : nouvelles perspectives

3.1 Démarche scientifique

3.1.1 Que signifie 'dater le métal' ?

Le métal ferreux résulte de la réduction d'un minerai de fer, un processus par lequel le fer est extrait des oxydes de fer exploitables à l'aide d'un four et d'un combustible. Ce dernier, constitué de charbons de bois[8], fournit non seulement l'énergie calorifique nécessaire, mais aussi du carbone et de l'oxyde de carbone, qui interviennent dans les réactions métallurgiques. Le carbone ainsi introduit diffuse dans le métal et se trouve majoritairement piégé sous forme de cémentite (Fe_3C), générant des hétérogénéités de l'état de carburisation en fonction des conditions thermodynamiques régnant dans le four. Il convient de souligner que le métal issu des procédés anciens est généralement hétérogène et pauvre en carbone, avec des teneurs souvent inférieures à 0,8 %), et une répartition inégale. Bien que très faible en comparaison du charbon de bois, ce carbone d'origine organique peut néanmoins être analysé par analyse radiocarbone pour estimer la date de production du métal. Cette méthode permet en réalité d'estimer l'âge du combustible utilisé – un assemblage de charbons – offrant ainsi une chronologie indirecte de l'activité métallurgique. Plus largement, la datation radiocarbone appliquée au métal fournit un repère chronologique pour le matériau lui-même et permet, de manière relative, de situer des événements tels que la production, la fabrication ou l'utilisation d'un objet. La fiabilité de ces datations dépend toutefois de la qualité des liens établis entre les échantillons analysés et les contextes auxquels ils se rapportent. La précision chronologique repose donc sur une analyse contextuelle rigoureuse.

Quant à l'âge du combustible, il faut rappeler que le charbon utilisé pour la réduction provient souvent de bois d'âges variés, en fonction de la disponibilité locale ou des choix opérés par les métallurgistes, qui pouvaient privilégier aussi bien des branches fines que des pièces de plus grand diamètre. Le combustible, issu de ce mélange hétérogène, reflète ainsi un âge moyen généralement antérieur[9] à celui de l'opération de réduction. Cet écart, qui se distingue de l'effet « vieux bois » évoqué plus haut,

[8] À partir de la fin du Moyen Âge, le charbon fossile s'impose progressivement dans les industries métallurgiques de certaines régions du monde.

[9] Il paraît peu probable que les métallurgistes aient minutieusement sélectionné les derniers cernes de croissance des branches pour produire du charbon de bois.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

résulte de la différence entre l'âge moyen des bois utilisés pour produire le charbon et le *moment* effectif de l'activité métallurgique. Une estimation expérimentale prenant en compte la production du combustible, la sélection des essences et la datation de divers marqueurs a suggéré, dans un autre contexte culturel, un décalage possible de l'ordre de 15 à 20 ans (Leroy *et al.* 2020). Dans tous les cas, cette différence reste probablement modérée et inférieure à l'incertitude associée à la date radiocarbone du métal.

3.1.2 Étude, mesure et calibration

Sous l'impulsion des travaux pionniers de van der Merwe & Stuiver (1968), plusieurs études sur la mesure radiocarbone du métal ont été menées dans divers laboratoires (Cresswell 1992, Cook *et al.* 2001, Hüls *et al.* 2004, Oinonen *et al.* 2009), et plus récemment, renforcées par la collaboration entre l'IRAMAT-LAPA et le LSCE-LMC14. Les premières recherches ont mis en évidence de nombreuses sources d'erreurs et d'incertitudes dans l'interprétation des résultats, liées notamment à l'intégration de plusieurs âges dans un même objet[10] – du fait de l'assemblage de masses métalliques hétérogènes – ou à des contaminations exogènes. Ces anomalies peuvent résulter à la fois de phénomènes taphonomiques, de la complexité des chaînes opératoires, ou encore des protocoles d'extraction du carbone. Face à ces enjeux, une approche rigoureuse s'est progressivement imposée, reposant sur une analyse approfondie de l'objet et de ses matériaux, conjuguée à une compréhension des pratiques métallurgiques associées (Leroy *et al.* 2015a, Leroy *et al.* 2015b, Delqué-Količ *et al.* 2017, Leroy *et al.* 2021, Berthaut-Clarac *et al.* 2022, L'Héritier *et al.* 2023). Dans la pratique, cette démarche permet de déterminer la texture et la nature du métal, ce qui aide à cibler les zones les plus favorables à l'extraction du carbone — notamment les parties homogènes, riches en carbone, et éloignées des inclusions non métalliques ou des porosités[11]. Elle inclut également un processus de préparation spécifiquement adapté pour l'extraction et la mesure du carbone.

La réalisation d'une date radiocarbone dépend également de la nécessité d'extraire une quantité suffisante de carbone – entre 0,5 et 1 mg environ pour des mesures par SMA – pour garantir une précision satisfaisante et, par conséquent, disposer de la quantité de matière adéquate. Après la mesure par SMA, l'âge radiocarbone obtenu (âge BP) est converti en âge calendaire en utilisant les courbes de calibration internationales (Hogg *et al.* 2020, Reimer *et al.* 2020) et le logiciel libre Oxcal v4.4.4 (Ramsey 2009). Pour les échantillons provenant des zones intertropicales, comme c'est le cas pour le Centrafrique, il est recommandé de calibrer les datations en prenant en compte, de manière égale, les données disponibles pour l'hémisphère Nord et pour l'hémisphère

[10] Le carbone minéral naturellement présent dans le minerai (sidérite par exemple), qui aurait pu être exploité, n'intervient, a priori, pas de manière significative dans la contamination. En effet, les procédés thermiques utilisés dans les transformations métallurgiques entraînent la dissociation des carbonates à des températures plus basses que celles atteintes dans les fours, limitant ainsi la contribution du carbone minéral. Par ailleurs, cette hypothèse a été testée dans le cadre d'expérimentations portant sur la réduction de sidérite non grillée ((Leroy *et al.* 2013).

[11] Notons que l'analyse de la composition des inclusions, quand elle est possible, est également utile pour renseigner le type de procédé métallurgique et la nature composite de l'objet (plusieurs masses de métal utilisées), signe possible de l'emploi de matière recyclée ou réutilisée.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Sud. Toutes les datations présentées ici, concernant aussi bien les charbons que le métal, ont été calibrées selon cette approche (Tableau 1).

3.2 Pointe de flèche à soie à Gbabiri

Les observations sur les caractéristiques métallurgiques du mobilier métallique de Gbabiri nous ont amenés à choisir la pointe de flèche à soie pour une analyse radiocarbone. Provenant de la couche C2, qui a livré des charbons de bois datés entre 150 AEC et 200 EC, cet objet est constitué d'un acier proche de l'eutectoïde. Sa teneur en carbone (0,8 %) et sa grande taille ont permis l'extraction d'une quantité suffisante de carbone. Trois prélèvements ont été effectués, chacun fournissant une quantité de carbone conforme à celle estimée par l'observation microscopique du métal (Tabl. 1). Les trois prélèvements situent l'objet dans une fourchette chronologique allant de 1650 à 1948 EC. Bien que les fluctuations de la courbe de calibration à cette période limitent la précision des dates, la cohérence des trois dates attestent sans ambiguïté de l'origine moderne de l'objet. Dans un contexte où les anciennes forges partagent des similitudes avec les forges modernes et où la transmission des techniques est supposée (Zangato, 2008), la datation de cet objet constitue une contribution importante à la documentation des aspects techniques. Cependant, n'étant pas directement associé à l'occupation ancienne de la couche, il est probable que l'objet ait migré depuis son emplacement d'origine vers des niveaux plus profonds, un phénomène facilité par les fortes pluies et le ruissellement caractéristiques de l'environnement tropical. Ce résultat suggère également des perturbations notables dans les couches supérieures du terrain, soulignant ainsi la nécessité de prendre en compte la problématique des mélanges de mobilier dans la méthodologie de description des configurations archéologiques de la région.

3.3 Fragment de loupe à Ôboui

À Ôboui, seul un fragment de loupe trouvé près du foyer (st.1) dans C3h3 présentait des caractéristiques adaptées à l'analyse radiocarbone, étant débarrassé de scories et d'éléments exogènes. Bien que la quantité de carbone extraite (0,26 mg) soit faible, elle suffisait pour permettre une datation, révélant un âge compris entre 56 AEC et 121 EC. Cet âge, plus ancien que celui des charbons du foyer st.1 (entre 250 et 418 EC), est néanmoins cohérent avec les datations des charbons dans d'autres secteurs de la même couche (secteur 8 : entre 41 AEC et 201 EC). Les dates des charbons du foyer peuvent être interprétées comme des Termini ante quem pour l'utilisation de la structure, suggérant que le fragment de loupe est le vestige d'une utilisation antérieure. En l'absence de données détaillées sur les fragments métalliques couvrant l'intégralité du secteur et sur l'étendue des activités métallurgiques (en termes de durée et d'espace), il est impossible de préciser davantage les relations entre les éléments métallurgiques de ce niveau. Néanmoins, cette étude offre une nouvelle date pour ce contexte et suggère une durée d'activité plus longue que celle initialement envisagée pour cet espace technique.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Tab. 1 : Datations radiocarbone réalisées sur les ateliers. Synthèse des résultats obtenus sur charbons de bois par Saliège 2008 et sur métal au cours de cette étude.

Site	Unité archéologique	Echantillon daté	Id. Labo ^{14}C	%C °	Age BP	Age calibré (95,4%)*
Gbabiri	C1h1	charbon de bois	OBDY 1112		1840 ± 60	70 EC - 364 EC
	C1h2	charbon de bois	OBDY 1113		1690 ± 40	252 EC - 528 EC
	C2h1	charbon de bois	Pa 1447		2050 ± 40	146 AEC - 65 EC
	C2h2	charbon de bois	OBDY 1529		1930 ± 40	20 EC - 222 EC
		éch.3 - pointe de flèche à soie	SacA 26319	0,9	155 ± 30	1672 EC - 1948 EC
			SacA 26320	0,7	205 ± 30	1648 EC - 1948 EC
			SacA 26321	0,8	215 ± 30	1645 EC - 1948 EC
Gbabiri (secteur 1)	C3h1	charbon de bois	Pa 1446		2670 ± 40	900 AEC - 778 AEC
	C3h2	charbon de bois	OBDY 1515		2630 ± 40	896 AEC - 574 AEC
	C3h2 - st.2 forge	charbon de bois	Pa 1538		2640 ± 40	899 AEC - 596 AEC
	C4	charbon de bois	Pa 1451		2680 ± 40	903 AEC - 786 AEC
Gbabiri (secteur 2)	four de réduction	charbon de bois	Pa 1537		2360 ± 40	718 AEC - 208 AEC
Ôboui (secteur 9)	C3h3 - st.1a fosse	charbon de bois	Pa 1946		1615 ± 40	393 EC - 572 EC
	C3h3 - st.1 foyer de forge	charbon de bois	Lyon 10379		1720 ± 35	250 EC - 418 EC
	C3h3 - st.1	fragment de loupe	SacA 26322	0,4	2005 ± 40	56 AEC - 121 EC
Ôboui (secteur 2)	C3h3 - st.4 foyer de forge	charbon de bois	Lyon 10383		1685 ± 35	255 EC - 526 EC
	C3h3 - st.5 fosse	charbon de bois	Pa 1947		1805 ± 40	132 EC - 364 EC
Ôboui (secteur 8)	C3h3 - st.7a amas charbonneux	charbon de bois	Pa 2089		1960 ± 30	41 AEC - 201 EC
	C3h2 - st.8b amas charbonneux	charbon de bois	Pa 2090		2025 ± 30	58 AEC - 75 EC
Ôboui (secteur 7)	C3h2 - st.10a amas charbonneux	charbon de bois	Pa 2085		2150 ± 30	346 AEC - 56 AEC
Ôboui (secteur 6)	C3h2 - st.12 fosse	charbon de bois	Pa 2087		2155 ± 30	348 AEC - 57 AEC
	C3h2 - st.11 fosse	charbon de bois	Pa 2086		2160 ± 40	356 AEC - 52 AEC
	C3h2 - st.13 fosse	charbon de bois	Pa 2088		2190 ± 40	368 AEC - 66 AEC

° Calculée à partir du carbone extrait de la combustion des copeaux de métal échantillonnés pour la datation

*OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021) ; r :5 / Atmospheric data from Reimer et al (2020), NH Curve(intcal20.14c) / Atmospheric data from Hogg et al (2020), SH Curve(SHCal20.14c) /Mix_Curves (NH,SH,50,10)

4 Conclusion

Aujourd'hui, l'étude des métaux en archéologie ne se limite plus à une approche strictement technique ou chronologique. Elle cherche à comprendre les traces et vestiges laissés par les activités humaines pour mieux saisir les comportements techniques ainsi que leurs implications sociales et culturelles. Ce processus s'appuie sur les travaux de terrain et des études approfondies des matériaux, afin de mieux appréhender l'*objet métallurgique*. Il repose sur des analyses complémentaires, convergeant vers une problématique commune. L'analyse des charbons de bois – notamment par leur caractérisation anthracologique et datation –, combinée à l'analyse du métal – par leur caractérisation métallographique et datation – permettrait de fournir des repères temporels cruciaux pour éclairer l'organisation des activités métallurgiques et les dynamiques de production. En croisant les données de datation issues de divers marqueurs matériels, comme ici le charbon de bois et le fer, on met en lumière les différents contextes et on souligne l'importance de la systématique archéologique, avec ses méthodologies spécifiques, dans l'analyse des pratiques métallurgiques. Dans le

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

contexte des ateliers d'Ôboui, les premières datations basées sur les caractéristiques intrinsèques du mobilier métallique offrent des éléments précieux pour cette réflexion. D'un point de vue taphonomique, elles enrichissent l'interprétation du terrain et incitent à affiner la méthodologie de caractérisation des ensembles archéologiques. D'un point de vue technique, elles offrent de nouveaux repères chronologiques et permettent de mieux comprendre les interactions entre les différents éléments métallurgiques qui organisent l'espace d'activité. Chaque donnée supplémentaire invite à réexaminer les hypothèses concernant les activités, les techniques et même les communautés, contribuant ainsi à l'anthropologie des techniques. La diversité des données temporelles ainsi collectées permet de situer les pratiques métallurgiques dans un cadre interprétatif plus large, intégrant leurs dimensions sociales, économiques, symboliques et culturelles, tout en révélant la complexité des dynamiques humaines dans lesquelles elles s'inscrivent. Même si notre contribution repose sur un nombre restreint de datations du métal, nous espérons que ces premières indications pourront à leur manière nourrir les recherches et discussions futures sur le terrain.

Bibliographie

Akinjogbin, I., 2002. L'impact du fer en Pays yoruba. *In* H. Boccoum (dir.), Unesco (éd.), *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienneté méconnue - Afrique de l'Ouest et Afrique centrale* : 49-56.

Aremu, D., 2002. Les routes du fer en Afrique : une contribution du Nigeria. *In* H. Boccoum (dir.), Unesco (éd.), *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienneté méconnue - Afrique de l'Ouest et Afrique centrale* : 147-164.

Berthaut-Clarac, S., Nantet, E., Leroy, St., Delqué-Količ, E., Perron, M., Adam, P., Schaeffer, P., Kerfant, C., 2022. Dating of a ring on one of the largest known Roman iron anchors (La Grande-Motte, France) : Combined metal and organic material radiocarbon analysis. *Journal of Archaeological Science : Reports*, 46 : 103693.

Chretien, J-P., 1983. La production du fer au Burundi avant la mainmise coloniale *In* N. Achard (éd.), *Métallurgie africaine : nouvelles contributions*, Mémoires de la Société des Africanistes, Paris : 311-325.

Cook, A.C., Wadsworth, J., Southon, J.R., 2001. AMS Radiocarbon Dating of Ancient Iron Artifacts : A New Carbon Extraction Method in Use at LLNL. *Radiocarbon*, 43 : 221-227.

Cresswell, R.G., 1992. Radiocarbon Dating of Iron Artifacts. *Radiocarbon*, 34 : 898-905.

Delqué-Količ, E., Leroy, S., Pagès, G., & Leboyer, J., 2017. Iron Bar Trade between the Mediterranean and Gaul in the Roman Period : 14C Dating of Products from Shipwrecks Discovered off the Coast of Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône, France). *Radiocarbon*, 59(2) : 1-14.

Échard, N., 1983. Scories et symboles : remarques sur la métallurgie Hausa du fer au Niger, *In* N. Échard (éd.), *Métallurgie africaine : nouvelles contributions*, Mémoires de la société des Africanistes, Paris, 209-224.

Fluzin Ph., 2008a, Les analyses métallographiques, *In* É. Zangato (éd.), *Les ateliers d'Ôboui : premières communautés métallurgistes dans le Nord-ouest du Centrafrique*, Recherches sur les Civilisations, Paris, 72-77.

Fluzin Ph., 2008b, Les analyses métallographiques, *In* É. Zangato (éd.), *Les ateliers d'Ôboui : premières communautés métallurgistes dans le Nord-ouest du Centrafrique*, Recherches sur les Civilisations, Paris, 60-67.

Hogg, A. G., Heaton, T. J., Hua, Q., Palmer, J. G., Turney, C. S., Southon, J., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Boswijk, G., Bronk Ramsey, C., Pearson, C., Petchey, F., Reimer, P., Reimer, R., Wacker, L., 2020. SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0–55,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 62(4), 759-778. Cambridge Core.

Hüls, C.M., Grootes, P.M., Nadeau, M.-J., Bruhn, F., Hasselberg, P., Erlenkeuser, H., 2004. AMS radiocarbon dating of iron artefacts. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B :

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Beam Interactions with Materials and Atoms, *Proceedings of the Ninth International Conference on Accelerator Mass Spectrometry*, 223–224 : 709–715.

Leroy, St., Delque-Kolic, E., Dumoulin, J.-P., Moreau, C., & Dillmann, Ph. 2013. Datation radiocarbone des alliages ferreux anciens. Actes du colloque Sciences des matériaux du patrimoine culturel, Paris, 20 et 21 novembre 2012, 1, 57-63.

Leroy, St., Delqué-Količ, E., Vincent, B., Baptiste, P., Vega, E., McGill, F., Fenn, M., 2021. Le fer comme moyen de datation des bronzes khmers : Première approche de prélèvement in situ. *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels*, 52 : 82-91.

Leroy, St., L'Héritier, M., Delqué-Kolic, E., Dumoulin, J.-P., Moreau, C., & Dillmann, Ph. 2015a. Consolidation or initial design ? Radiocarbon dating of ancient iron alloys sheds light on the reinforcements of French Gothic Cathedrals. *Journal of Archaeological Science*, *53*, 190-201.

Leroy, S., Hendrickson, M., Delqué-Kolic, E., Vega, E., & Dillmann, Ph. 2015b. First Direct Dating for the Construction and Modification of the Baphuon Temple Mountain in Angkor, Cambodia. *PLOS ONE*, 10(11) : e0141052.

L'Héritier, M., Azéma, A., Syvilay, D., Delqué-Kolic, E., Beck, L., Guillot, I., Bernard, M., & Dillmann, Ph., 2023. Notre-Dame de Paris : The first iron lady ? Archaeometallurgical study and dating of the Parisian cathedral iron reinforcements. *PLOS ONE*, 18(3) : e0280945.

Martinelli, B., 2000. Le choix de la combustion lente. Mutation technique et mutation sociale au Yatenga, Burkina Faso, *In* P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot, P. Benoit (éds.), *Arts du feu et productions artisanales*, *Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 1999*, CNRS/APDCA, Paris/Antibes, 123-142.

Monino, Y., 1983. Accoucher du fer : la métallurgie Gbaya (Centrafrique), *In* N. Achard (éd.), *Métallurgie africaine : nouvelles contributions*, Mémoires de la Société des Africanistes, Paris, 281-309.

Oinonen, M., Haggren, G., Kaskela, A., Lavento, M., Palonen, V., Tikkanen, P., 2009. Radiocarbon Dating of Iron : A Northern Contribution. *Radiocarbon*, 51 : 873–881.

Ramsey, C. B., 2009. Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, 51(01) : 337-360.

Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Talamo, S., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4) : 725-757.

Van der Merwe, N. J., Stuiver, M., 1968. Dating Iron by the Carbon-14 Method. *Current Anthropology*, 9(1) : 48-53.

Saliège, J.-F., 2008. Apport de la chronologie 14C, la méthode et ses limites, *In* É. Zangato (éd.), *Les ateliers d'Ôboui : Premières communautés métallurgistes dans le Nord-ouest du Centrafrique*, Recherches sur les Civilisations, Paris, 131-135.

Stouvenot, C., Beauchêne, J., Bonnissent, D., Oberlin, C., 2013. Datations radiocarbone et le " problème vieux bois " dans l'arc antillais : état de la question. *In* Puerto Rico 2013 : Actas Del 25to Congreso Internacional de Arqueología Del Caribe - Proceeding of the 25th International Congress for Caribbean Archeology - Comptes Rendus Des Communications Du 25e Congrés International de l'Archéologie de La Caraïbe. Instituto de Cultura Puertorriqueña, el Centro de Estudios Avanzados de Puerto Rico y el Caribe y la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, San-Juan, Puerto Rico, 459-494.

Zangato, E., 2008. *Les ateliers d'Ôboui : Premières communautés métallurgistes dans le Nord-ouest du Centrafrique*, Recherches sur les Civilisations, Paris.

Zangato, E., 2022. *L'essor des premières sociétés de métallurgistes en Afrique centrale : Anthropologie du terrain*, éd. L'Harmattan, Cahier 5 Collection Cahiers d'anthropologie des Techniques, Paris.

Zangato E., à paraître. Pratiques métallurgiques en Afrique sub-saharienne ; une question archéologique.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984