Analyse de la répartition spatiale de bas fourneaux d'un territoire sidérurgique au sud-ouest du Niger (4e-14e siècle ap. J.-C.)

Rodrigue GUILLON[1], Christophe PETIT[2], Jean Louis RAJOT[3], Vincent BICHET[4], Oumarou Amadou IDÉ[5], Zibo GARBA[6], David SEBAG[7], Amadou Abdourhamane TOURÉ[1,3,6]

[1] ARTeHIS, UMR 5594, Dijon, France ; [2] Arscan, UMR 7041, Paris, France ;
[3] Bioemco, UMR IRD 211, Niamey, Niger ; [4] Chrono-environnement UMR 6249, Besançon, France ;
[5] IRSH UAM, Niamey, Niger ;[6] UAM, équipe AIRE-développement, Niamey, Niger ;
[7] M2C, UMR 6143, Mont-Saint-Aignan, France

Au Niger, des prospections pédestres ont permis la cartographie d'un grand nombre de bas fourneaux. Sur un secteur test d'une superficie de 32km², situé en rive gauche du fleuve Niger, plus de quatre mille bas fourneaux ont été recensés par GPS. Ces bas fourneaux à usage unique ont été identifiés par la cuve ou, dans les secteurs érodés, par des blocs ou des fragments de scories piégées. Cette métallurgie couvre un millénaire, du 4e siècle au 14e siècle. Les données spatiales ont été traitées à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) et par des outils mathématiques (Fonction K de Ripley et densité par la méthode du noyau). Les résultats de ces analyses montrent que les forgerons construisaient leurs bas fourneaux à proximité du minerai et sur des sols sableux. Toutefois, des facteurs socioculturels semblent intervenir dans le choix d'implantation, ce qui occasionne des concentrations dans des secteurs spécifiques.

réduction du minerai de fer, bas fourneaux, Niger, répartition spatiale, géomorphologie, période médiévale

On the west bank of the Niger River, archaeological prospecting has mapped more than 4000 low shaft furnaces on an area of 32km². These single-use furnaces have been identified by either a shaft or a block of slag in the erosion surface. This smelting activity is dated between 4th and 14th century AD. Spatial data were processed by a Geographic Information System (GIS) and mathematical tools (Ripley's K function, Kernel density estimation). The results of this analysis show that smiths built low shaft furnaces near ores and in sandy soils. However, the choice of location for the furnaces seems also to depend on sociocultural factors, thus leading to the formation of clusters in specific places.

reduction of iron ore, low shaft furnaces, Niger, spatial analysis, geomorphology, medieval period

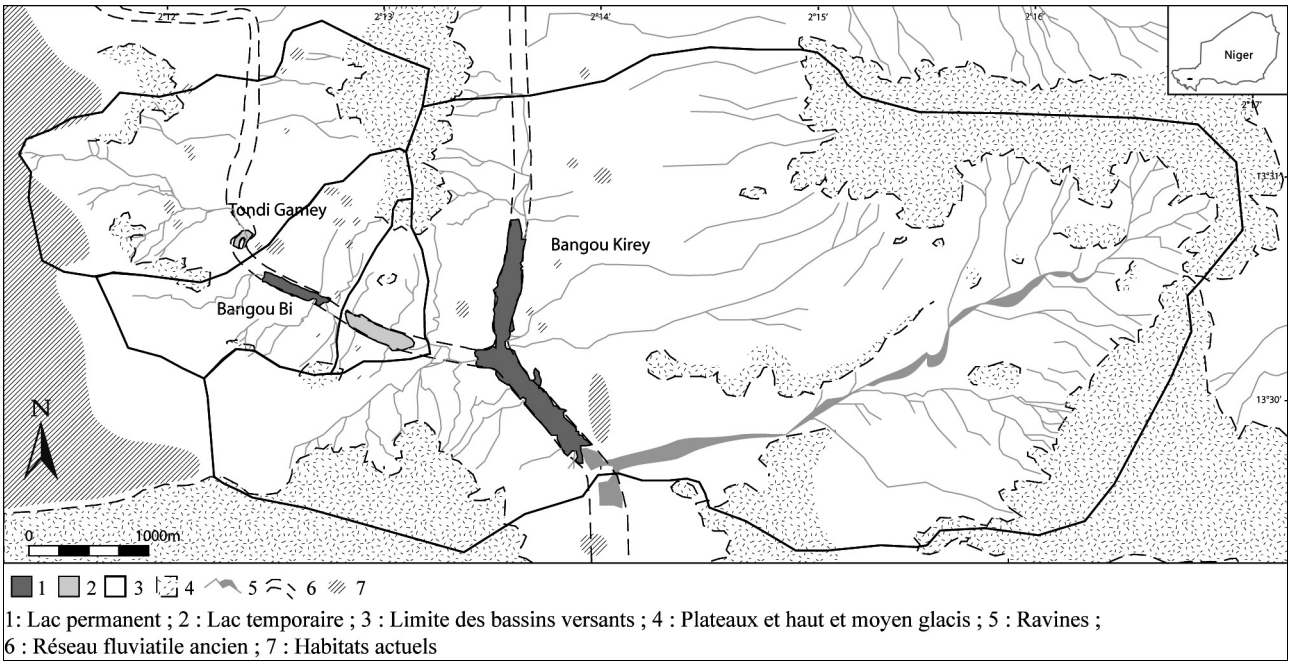


Fig. 1 : Carte générale du territoire sidérurgique

Introduction

La vallée moyenne du fleuve Niger, à la latitude de Niamey, est connue pour ces quelques riches découvertes archéologiques ; les sites néolithiques tels que l'habitat de Kirkissoye et les sites funéraires de notre ère comme Bura et Karey Gourou n'en sont que les exemples les plus remarquables (Devisse, 1993 ; Gado, 2004 ; Vernet, 1996). Toutefois, les traces de métallurgie du fer ont été peu signalées dans cette région, bien qu'il faille peu de temps à un œil averti pour découvrir dans ce paysage sahélien les nombreux témoins archéologiques de cette activité. Les scories, résidus de la réduction du minerai de fer, sont généralement présentes sous forme de très nombreux blocs affleurant sur des sols, le plus souvent érodés.

Dans cette région et plus largement au sud du Niger, la métallurgie du fer a été principalement étudiée en suivant une approche ethnographique qui s'est intéressée au symbole du fer et des forgerons dans la société et à l'organisation sociale des ateliers par le biais d'enquêtes et de reconstitutions (Celis, 1994 ; Echard, 1983 ; Luxereau, 1983). Cependant, aucun de ces travaux ne signale les nombreux vestiges archéologiques visibles sur le terrain. Quant aux archéologues, ils se sont plutôt intéressés à la datation des plus anciennes réductions de minerai de fer comme dans le massif de Termit où la métallurgie apparaîtrait dès la seconde moitié du 3^{e} millénaire avant notre ère (Paris *et al.*, 1992 ; Quéchon, 2002). Ces travaux ont ainsi permis de remettre en cause la thèse diffusionniste en Afrique de l'Ouest. L'intérêt des archéologues s'est aussi porté sur les sites métallurgiques d'envergures industrielles comme dans le pays Dogon au Mali (Huysecom *et al.*, 2004 ; Robion-Brunner, 2010) ou dans la région de Bassar au Togo (de Barros, 1986, 1988, 2000).

Cet article propose, à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), l'analyse spatiale des données archéologiques concernant la métallurgie du fer inventoriées sur trois bassins versants totalisant une superficie de 32km^2. Au sein de ce territoire, l'ensemble métallurgique de Bilfouda correspondant à une observation à l'échelle hectométrique, est présenté comme exemple. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'organisation spatiale des structures de réduction du fer dans son contexte géomorphologique et socio-culturel.

Contexte géomorphologique

La région de Niamey se trouve au cœur du Sahel, zone climatique tampon qui présente une pluviométrie comprise entre 150 et 600mm suivant un gradient nord-sud entre le désert saharien, au nord, et la savane soudanienne, au sud. Le paysage géomorphologique est constitué de plateaux latéritiques cuirassés étagés, vestiges de surface d'érosion et de grands glacis tertiaires, entaillés par des vallées fossiles. A l'échelle du site, il est ainsi possible de distinguer schématiquement de haut en bas ; la surface cuirassée du plateau supérieur (255m d'altitude) définie par Eschenbrenner et Grandin (1970) pour l'Afrique de l'Ouest, comme la surface intermédiaire. Celle-ci se distingue des surfaces cuirassées du haut glacis qui

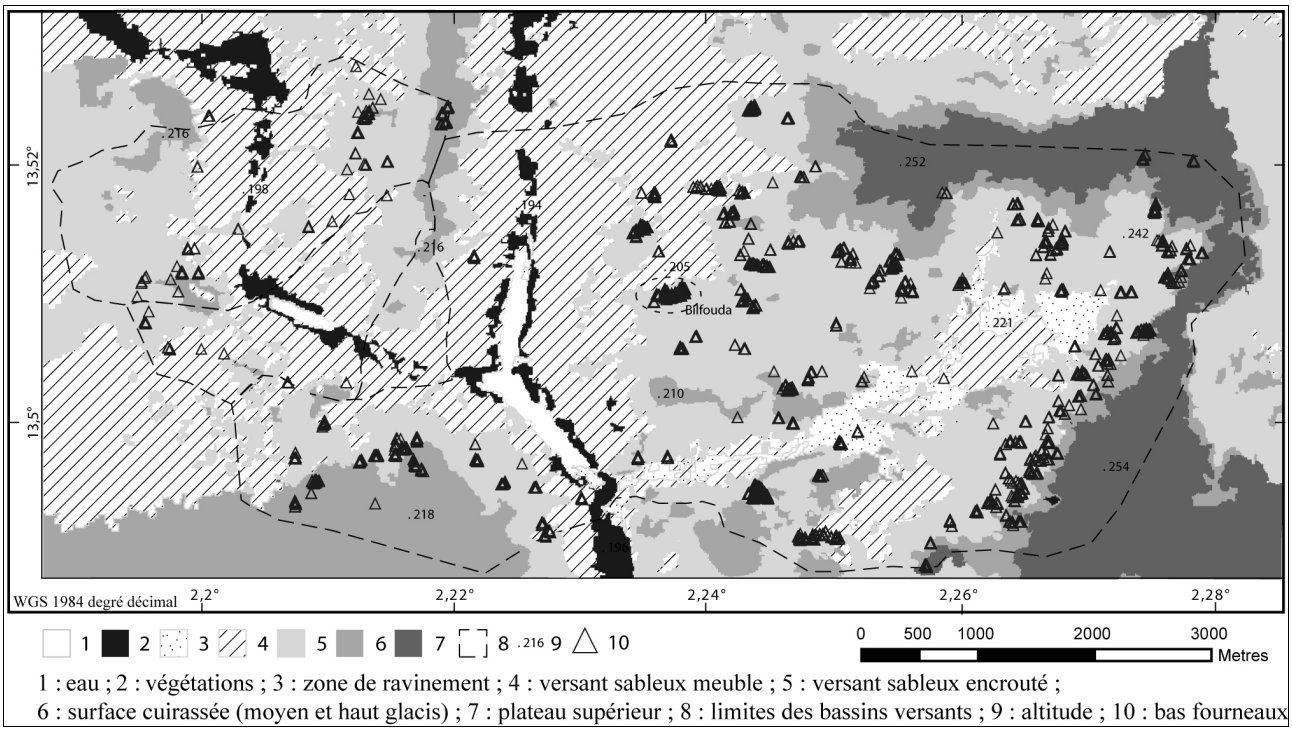


Fig. 2 : Carte de répartition des bas fourneaux et des unités de surfaces (modifiée, d'après Guillon et al., 2010).

arment les bords de plateaux (240m) et du moyen glacis (210-220m). Ces glacis, hérités de l'époque tertiaire, sont partiellement recouverts par des dépôts de sables éoliens quaternaires plus ou moins épais qui forment des surfaces sableuses sur lesquelles un réseau largement ramifié de ravines draine les bassins endoréiques actuels lors de la saison des pluies.

La géomorphologie du secteur est structurée par un réseau hydrographique qui s'étire du nord au sud, du territoire malien jusqu'au fleuve Niger à 30km en aval de Niamey (Fig. 1). Cette paléo-rivière appelée « Kori de Ouallam » fait partie des principaux affluents fossiles en rive gauche du fleuve Niger ; elle est aujourd'hui parsemée de nombreux lacs qui se développent dans les bas-fonds délimités par les dépôts sableux éoliens plus ou moins remaniés. L'étude est menée à 15km à l'est de Niamey, sur un territoire de 32km² qui couvre les bassins versants des lacs permanents de Bangou Bi et de Bangou Kirey ainsi que celui du lac temporaire de Tondi Gamey. Les bas-fonds les plus profonds de cette paléo-rivière se sont remis en eau dans les années 1960 suite à la remontée de la nappe phréatique (Leduc *et al.*, 2001). Ce phénomène paradoxal qui se poursuit en période de déficit pluviométrique a permis à la population actuelle, installée à proximité, d'aménager les rives en jardins maraîchers. La brousse en périphérie de la ville de Niamey fondée en 1924 à partir d'un village de pêcheurs connaît depuis, une pression anthropique croissante sur le milieu agricole et forestier (Banoin et Guengant, 1998).

Le traitement d'une image SPOT 5 a permis de réaliser une carte (Guillon *et al.*, 2010), mettant en évidence sept unités de surfaces présentées ci-dessous par ordre croissant d'altitude (Fig. 2).

Les surfaces en eau, correspondant aux deux lacs permanents, couvrent une superficie de 0,4km² autour desquelles des zones fortement arborées ou maraîchères se développent sur 0,6km², le plus souvent, dans les bas-fonds. Les ravinements anciens ou récents, sont répartis sur 1,2km². Ils incisent les versants qui se différencient en fonction de la nature de leur sol et de leur couverture végétale : un bas versant sableux meuble, aujourd'hui cultivé en mil (10,5km²) et un haut versant sableux encroûté (11,8km²). Le reste des bassins versants (7,3km²) est constitué de surfaces cuirassées. La surface cuirassée du moyen glacis apparaît à mi-versant en de nombreux points et forme, au sud-ouest de notre zone d'étude, une large zone tabulaire. Cette surface est regroupée avec celle du haut glacis qui arme les talus des hauts plateaux. Ces deux entités couvrent une superficie de 4,6km² et renferment de nombreux affleurements de bancs d'oolithes ferrugineuses interstratifiés appartenant à la formation géologique du Continental Terminal (CT3) (Dubois et Lang, 1984). Pour finir, la surface cuirassée supérieure, dite surface intermédiaire, forme un plateau à surface encroûtée et caillouteuse d'une superficie de 2,7km² où la végétation arbustive a pratiquement disparu.

Les bas fourneaux du sud-ouest nigérien

Caractérisation

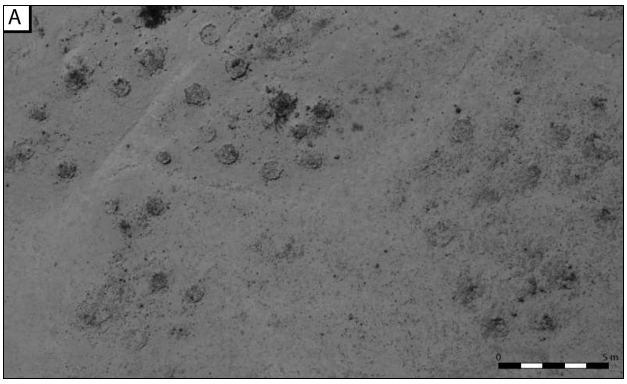
Les bas fourneaux sont identifiés par des cuves contenant des scories affleurant à la surface du sol ou par des blocs massifs de scories plus ou moins démantelés (Fig. 3). Une vingtaine de sondages archéologiques ont permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs types de bas fourneaux. Les fours présents sur l'ensemble métallurgique de Bilfouda appartiennent tous au type le plus courant. Il s'agit de blocs de scories correspondant au remplissage d'une fosse située sous la cuve du bas fourneau construite au niveau du sol. Pour ce type de structure, l'essentiel des résidus de réduction du fer étaient évacués de la cuve par égouttage dans une fosse sous-jacente qui recueillait ainsi la majeure partie de la scorie produite en formant un bloc prenant l'empreinte de la fosse. Ce bloc est parfois surmonté d'une colonne, analogue à un spéléothème tel la jonction entre une stalactite et une stalagmite, qui joint les scories restant dans la cuve à celles qui se sont écoulées dans la fosse. Cette configuration s'explique par le refroidissement rapide de la scorie lors de son écoulement à la fin de la phase de réduction (Fig. 4). Ces observations attestent clairement que ces bas fourneaux, dits à scorie piégée, sont à usage unique. Ceci explique la construction d'un grand nombre de bas fourneaux tout au long de la période d'activité. Cette pratique n'est pas unique en Afrique de l'Ouest. Elle a été observée, par exemple, sur le site de Silla dans la vallée moyenne du Sénégal en Mauritanie (Robert-Chaleix, 1994) et dans la région de Markoye sur les rives du Gorouol au nord-est du Burkina Faso (Fabre, 2009).

Au cours des prospections, de nombreux fragments d'oolithes ferrugineuses concassés et calibrés de taille centimétrique ont été découverts en tas à proximité des bas fourneaux ou agglomérés à la scorie restant dans la cuve. Ceci démontre leur utilisation comme minerai de fer, d'autant plus qu'il est facilement exploitable en surface ou à faible profondeur. Les pisolithes ferrugineuses présentes sur les plateaux sont rarement utilisées comme minerai. Quant aux niveaux latéritiques, potentiellement riche en fer, ils semblent ne jamais avoir été exploités dans la région.

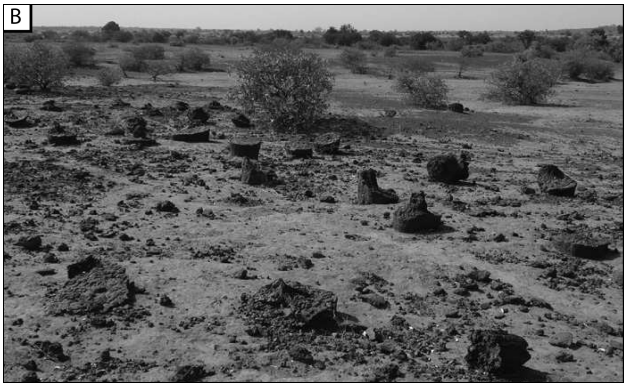
Cartographie

L'inventaire des bas fourneaux a été réalisé par prospection pédestre par deux personnes sur une quinzaine de jours cumulés ce qui a permis de prospecter de manière exhaustive plus de 88% des surfaces non lacustres des bassins versants. Si les bas fourneaux ne sont pas sur des terrains érodés, ils sont identifiables par la présence d'une cuve en argile sableuse cuite à la surface du sol; par contre, si l'érosion des sols est importante, il ne reste que les blocs massifs de scories. Ainsi, chaque bas fourneau a pu être géoréférencé à l'aide d'un GPS (Global Position System, Garmin 76S) avec une précision comprise entre 5 et 10m. Pour les ensembles métallurgiques qui concentrent plusieurs centaines de bas fourneaux sur quelques hectares tels que Bilfouda, un plan précis a été réalisé à partir des photographies aériennes à faible altitude prises à l'aide d'un PIXY©, un paramoteur radiocommandé. Chacune d'elles a été géoréférencée à l'aide de repères installés au sol, puis l'identification et la position de chaque bas fourneau ont été vérifiées sur le terrain. La cartographie obtenue a une précision inférieure au mètre.

Fig. 3 :



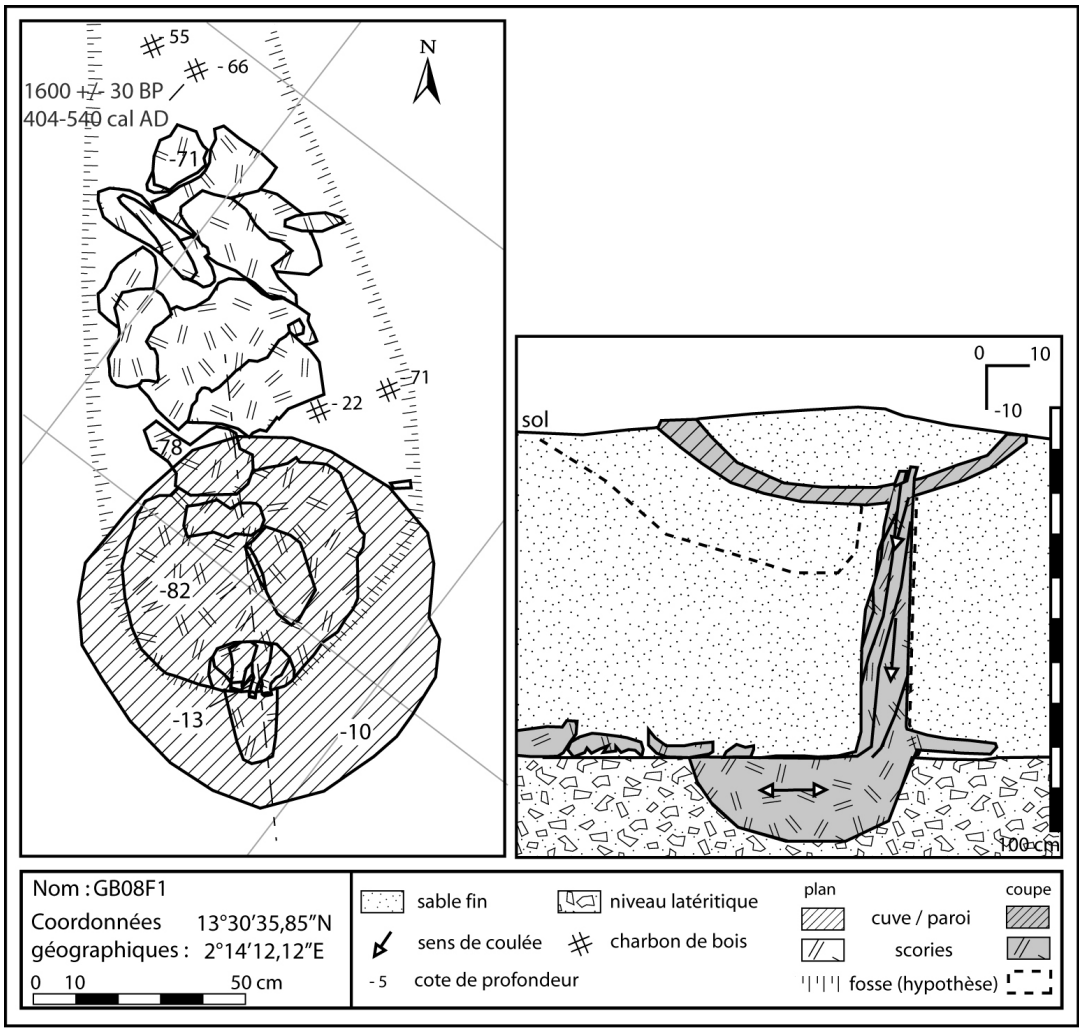
A. Vue aérienne ; cuves de bas fourneaux visibles sur des surfaces non érodées.



B. Vue au sol ; blocs de scorie piégée visibles sur des surfaces fortement érodées.

Datation

Les activités de métallurgie sur l'ensemble du secteur d'étude s'étendent sur près de mille ans, du 4^{e} siècle au 14^{e} siècle de notre ère. Cette chronologie est établie d'après des datations radiocarbones réalisées sur des charbons de bois récoltés lors des sondages



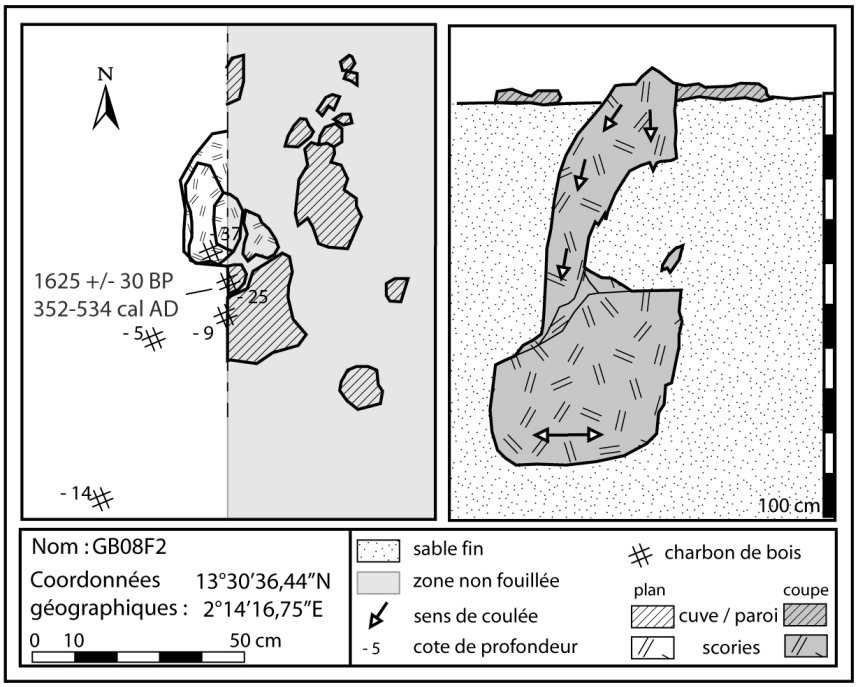


Fig. 4 : Plan et coupe de deux bas fourneaux avec évacuation de la scorie par égouttage

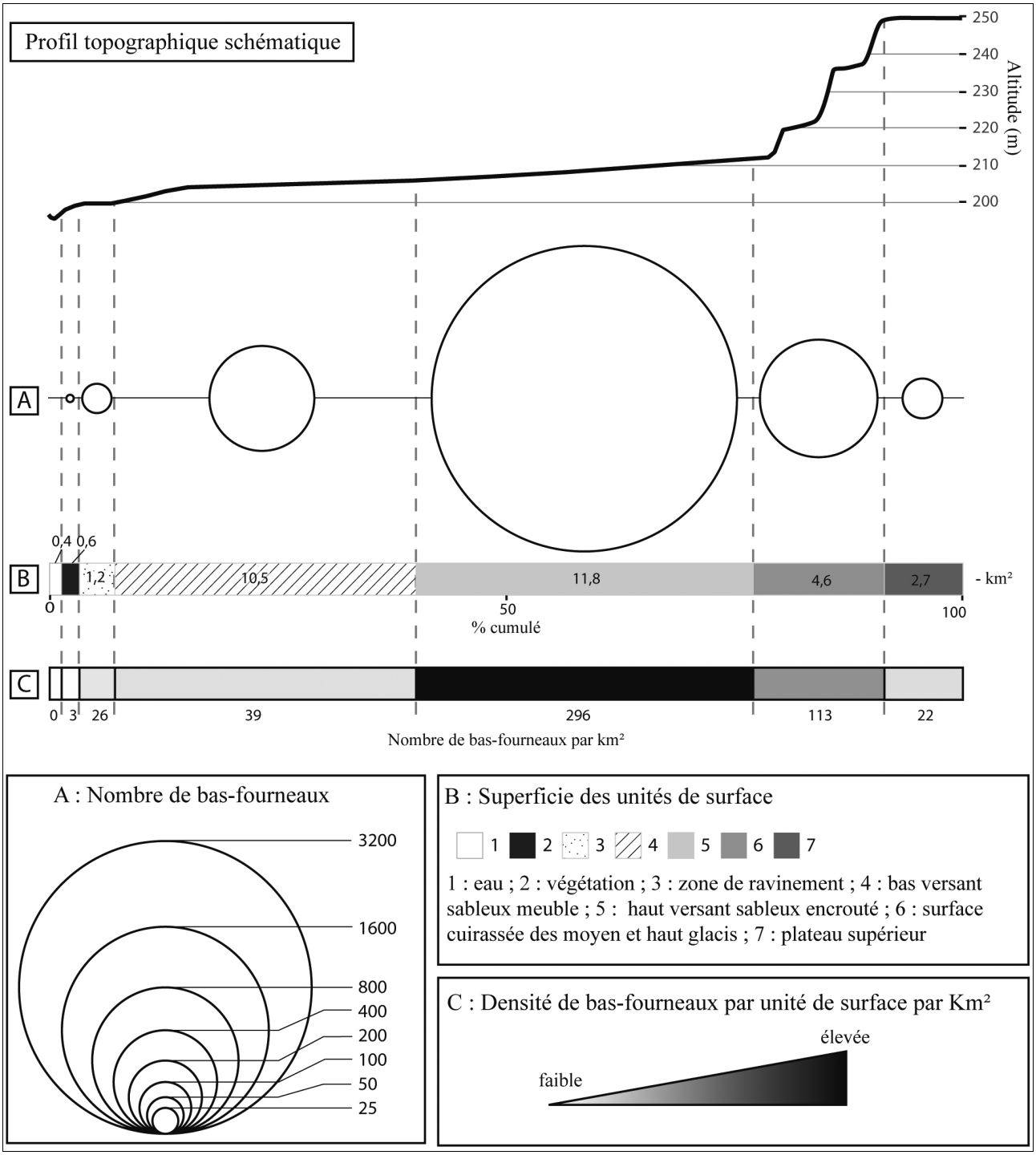


Fig. 5 : Comptage et densité des bas fourneaux en fonction des unités de surface.

archéologiques sur une vingtaine de bas fourneaux. Il est encore trop tôt pour présenter de façon synthétique les données chronologiques obtenues sur la totalité de la zone prospectée. Toutefois pour l'ensemble métallurgique de Bilfouda deux dates issues de deux bas fourneaux à usage unique sont disponibles : la période de fonctionnement du bas fourneau GB08F1 se place entre 404 et 540 cal AD (1600 ± 30 BP ; Ly 6320) et, celle du four GB08F2 entre 352 et 534 cal AD (1625 ± 30 BP ; Ly 6321).

Répartition spatiale contrainte par les facteurs géomorphologiques

Sur les 32km² du secteur d'étude, 4504 bas fourneaux ont été recensés. La répartition spatiale des bas fourneaux est à première vue très hétérogène. Plus de 75% des structures de réduction du fer se trouvent

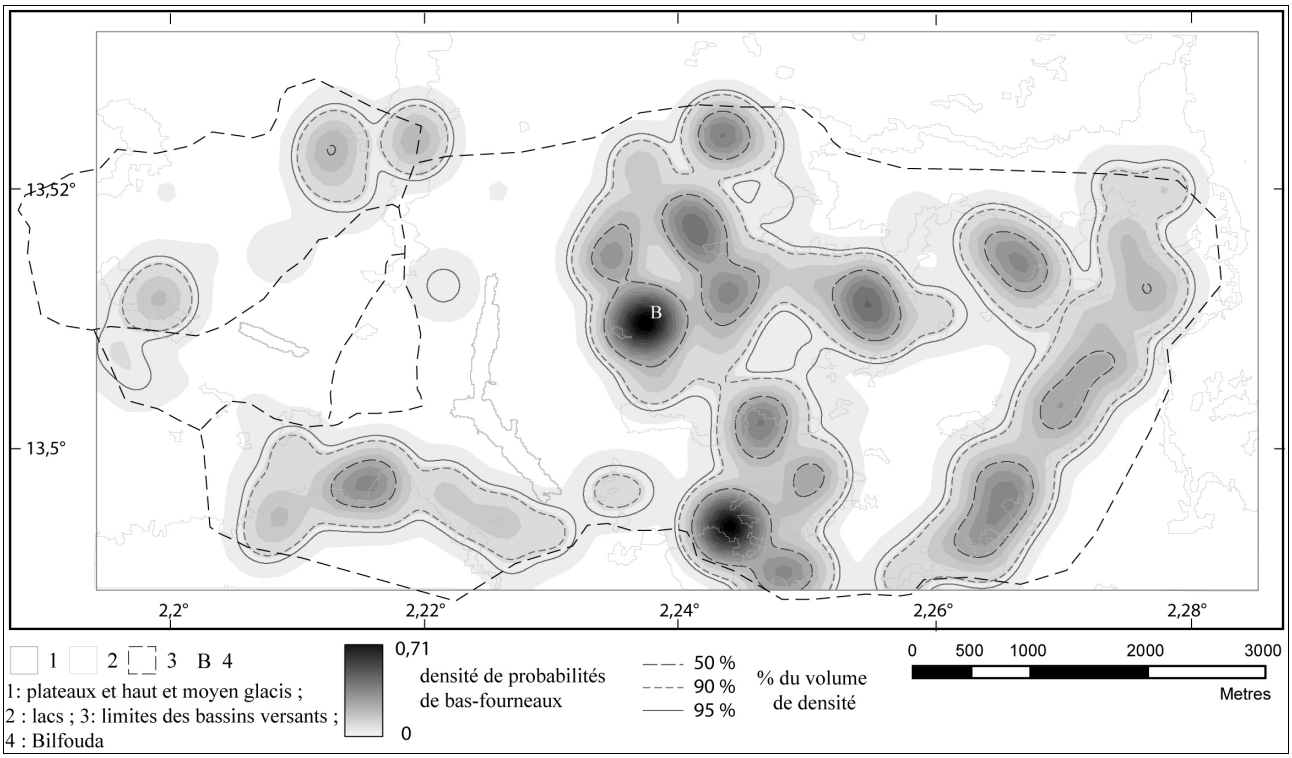


Fig. 6 : Carte de densité par la méthode du noyau construite avec un rayon d'influence h de 160m déterminé par la valeur maximale de la fonction transformée L(r) de l'analyse K(r) de Ripley tel que le définie Zaninetti (2005).

sur les versants sableux encroûtés où la densité atteint 296 bas fourneaux par km² (Fig. 5). Sur le bas versant, où les sols sont sableux et cultivés, la densité n'est que de 39 par km². Les surfaces cuirassées de mi-versant, pentues ou tabulaires présentent une densité qui s'élève à 113 bas fourneaux par km², alors que les plateaux supérieurs ont une densité faible de 22 bas fourneaux par km².

Les bas fourneaux qui nécessitaient le creusement d'une fosse n'ont pas été directement installés sur les affleurements d'oolithes ferrugineuses qui arment le sommet des haut et moyen glacis ou des plateaux cuirassés. Ils occupent essentiellement les hauts versants qui présentent une couverture sableuse plus facile à creuser. Les bas fourneaux qui ont été construits sur le moyen glacis ou les talus, sont largement érodés ; ceci implique donc la présence lors de leur installation d'une couverture sableuse qui est aujourd'hui érodée. De la même façon, sur les plateaux, ce sont les surfaces sableuses qui ont été utilisées par les forgerons pour construire des bas fourneaux.

Dans la plupart des cas, la ressource en minerai n'est jamais très éloignée ; la moitié des bas fourneaux se trouve à moins de 100m de zones potentiellement utilisables comme sources de minerai de fer.

La prospection exhaustive permet d'affirmer que les secteurs à proximité des bas-fonds ont été très peu utilisés par les métallurgistes alors qu'ils ont un certain potentiel pour les ressources en eau, en bois et en argile qui sont des éléments indispensables à la construction des structures de réduction et à leur fonctionnement. L'absence de bas fourneaux près de ces zones semblent donc être une volonté des métallurgistes.

Si globalement la répartition des bas fourneaux paraît contrainte par les facteurs géomorphologiques (sol meuble pour creuser les fosses et proximité du minerai) l'organisation de cette activité peut être perçue plus précisément en utilisant des méthodes mathématiques pouvant mettre en évidence des regroupements qui seraient plus le fruit de facteurs sociaux que de contraintes liées au milieu naturel.

Organisations spatiales des ensembles métallurgiques

Méthodes

Deux méthodes d'analyses spatiales ont été utilisées.

L'analyse de la fonction k de Ripley permet de tester la répartition spatiale des bas fourneaux en la comparant à une répartition aléatoire issue de la loi de Poisson (Besag, 1977). Cette analyse permet également d'identifier les concentrations relatives et la ségrégation de semis de points à différentes échelles. Cette répartition peut ainsi être qualifiée d'agrégée, de régulière, ou d'aléatoire (Bevan et Conolly, 2006). Cette

méthode a l'avantage de tenir compte des différentes échelles spatiales et de ne pas être influencée par la taille et la forme de la zone d'étude (Deweirdt, 2010). Elle a donc été préférée à l'analyse du plus proche voisin (nearest neighbor analysis) plus communément utilisée.

La seconde méthode est l'analyse de densité par la méthode des noyaux (Kernel density estimation ou KDE) ; elle permet, dans le cas d'une distribution agrégée, de délimiter les différents groupes de points en effectuant un lissage des densités de points. En archéologie, les cartes de densité d'artefacts ont déjà été interprétées comme le reflet d'actions ritualisées accomplies à certains endroits spécifiques (Barceló, 2002).

Résultats

L'analyse de la fonction K de Ripley met en évidence une distribution spatiale agrégée des bas fourneaux et ceci à toutes les échelles. A l'intérieur de la zone d'étude, des secteurs géographiques où se concentrent des bas fourneaux peuvent être délimités ; au sein de ces mêmes secteurs géographiques, une nouvelle distribution agrégée peut être décelée à une échelle plus locale.

La carte de densité (Fig. 6) permet d'identifier une vingtaine de zones dont la densité de probabilité est supérieure à 0,15. Ces zones délimitent des surfaces sur lesquelles l'activité de métallurgie se concentre. Le contour à 95% du volume de densité englobe seulement 46% du secteur étudié. Autrement dit, la majeure partie des bas fourneaux se trouve concentrée sur moins de la moitié de la surface disponible. Par conséquent, de très grandes surfaces autour des bas-fonds et sur les plateaux sont totalement dépourvues de bas fourneaux.

La délimitation des groupes de densité permet d'individualiser différents secteurs géographiques qui peuvent donc être interprétés comme des ensembles métallurgiques, lieux où se concentre la construction de bas fourneaux.

L'ensemble métallurgique de Bilfouda

L'ensemble métallurgique de Bilfouda est identifiable sur la carte de densité issue de la méthode des noyaux par une très forte valeur de densité ; il est composé de 470 bas fourneaux répartis sur environ 2,5ha (Fig. 7). Cet ensemble est situé à environ 700m au sud des plus proches talus sur lesquels affleurent en surface le minerai de fer. Toutefois à proximité du site, le Continental Terminal, qui est mis au jour dans les ravines actuelles, est facilement exploitable sous un faible recouvrement sableux. Il est alors probable que les oolithes ferrugineuses utilisées comme minerai aient été extraites par des puits peu profonds que les prospections n'ont pas pu repérer.

Les bas fourneaux montrent une certaine organisation spatiale au sein même de l'ensemble métallurgique. Comme le suggère l'analyse de la fonction K de Ripleys, des regroupements de bas fourneaux sont identifiables sur ce site à une échelle plus précise ; ils constituent des concentrations de plusieurs dizaines de bas fourneaux, et dessinent des formes linéaires, curvilignes ou en amas. De telles organisations spatiales ont été déjà décrites en Afrique de l'Ouest, au sud du Niger dans la région de l'Ader où Echard (1983) décrit des agencements de bas fourneaux linéaires. Par ailleurs, dans la vallée moyenne du Sénégal en Mauritanie, sur le site archéologique de Silla, Robert-Chaleix et Sognane (1983) ont cartographié deux types d'organisation, l'une étant décrite comme circulaire avec deux fours centraux et l'autre comme des « alignements sinueux ».

Eléments de discussion et perspectives

La répartition spatiale des bas fourneaux dans le secteur d'étude montre une organisation qui semble répondre d'une part à des exigences géomorphologiques par la proximité des talus riches en minerai de fer et par la présence d'une couche sableuse suffisamment épaisse pour creuser la fosse de collecte des scories et d'autre part à des facteurs anthropiques étant donné la répartition non uniforme des ensembles métallurgiques le long de ces talus.

Les prospections exhaustives menées sur ce territoire garantissent la présence de zones de concentration de ces vestiges métallurgiques et de zones où ils sont absents. Celles-ci peuvent s'expliquer par des facteurs ethnoculturels tels que la propriété du territoire, l'appartenance ethnique, ou bien encore les croyances spirituelles des métallurgistes, comme cela est fortement évoqué par les études ethnographiques (Echard, 1983 et Luxereau, 1983). Les rituels et les exigences de chaque groupe ethnique favorisent une prise de choix dans l'implantation des bas fourneaux qui est aujourd'hui difficile à interpréter. Comme le signale Coulibaly (2006, 160) pour les sites archéologiques du Bawmu au Burkina Faso « les facteurs qui, d'une manière ou d'une autre, ont pu contraindre les métallurgistes à implanter à tel ou tel autre endroit un atelier de réduction ne sont guère faciles à identifier ».

Nous constatons toutefois que les ensembles métallurgiques sont préférentiellement implantés sur les zones sableuses au plus près du minerai ce qui paraît être la principale condition pour les métallurgistes. Or, les points d'approvisionnement en eau et en bois, autres éléments nécessaires à la production du fer, sont actuellement concentrés dans

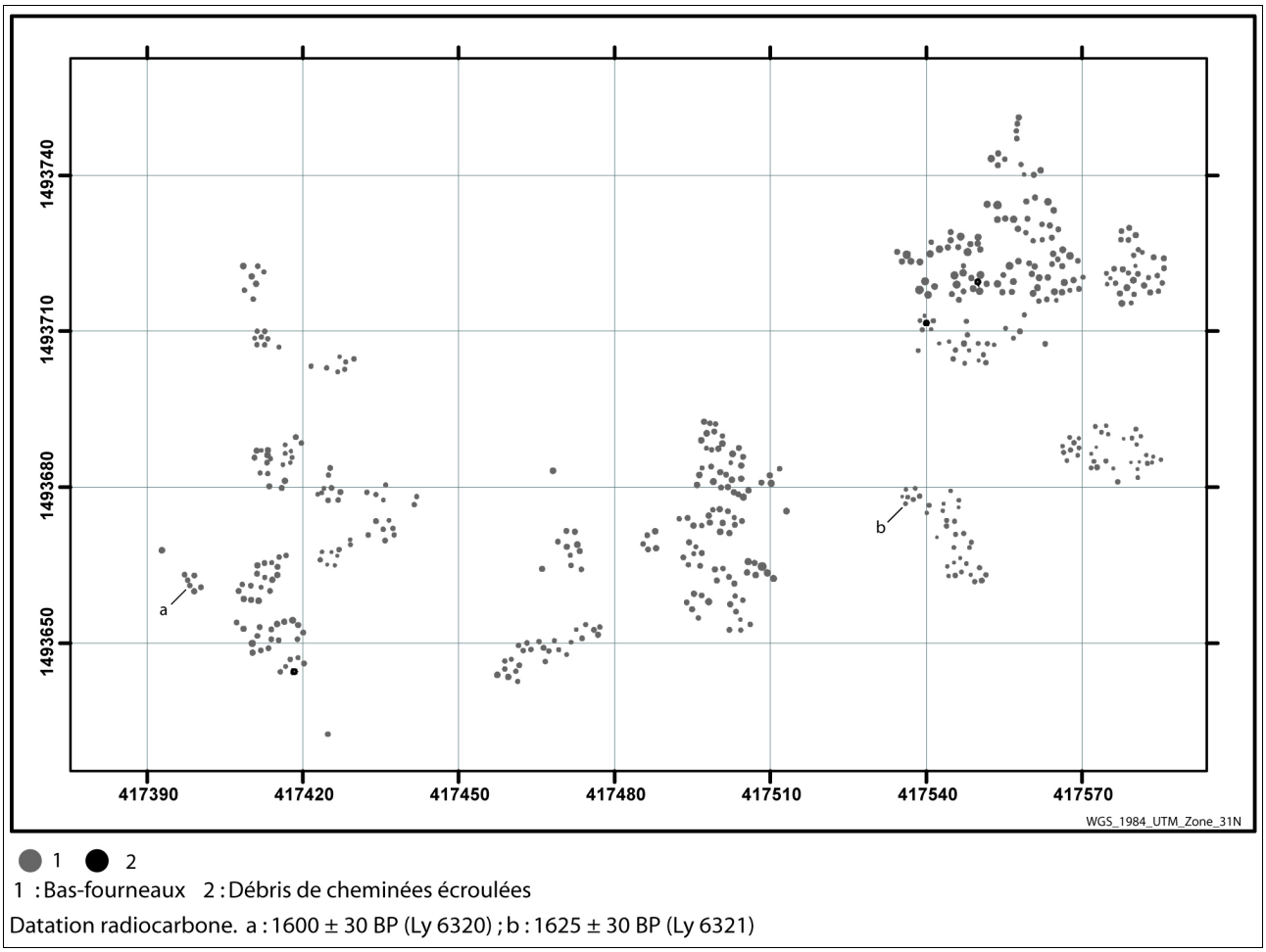


Fig. 7. Carte de répartition des bas fourneaux de Bilfouda

les bas fonds (Fig. 2) et donc éloignés des structures de réduction. Cependant, la localisation de ces ressources ne pouvait pas être négligée dans le choix du lieu de construction des bas fourneaux, car en comparaison avec le minerai de fer le transport de l'eau et du bois n'était pas plus aisé et les volumes à transporter étaient vraisemblablement équivalents. La répartition actuelle de ces ressources résulte en fait d'une détérioration progressive du paysage sahélien depuis une soixantaine année. Cela sous-entend qu'antérieurement aux années 1950 la ressource en bois était nettement mieux répartie et plus abondante (Touré *et al.*, 2010). En faisant l'hypothèse qu'il en était de même au cours du premier millénaire de notre ère, l'approvisionnement en bois des bas fourneaux ne constituerait donc pas une contrainte. Quant à l'eau, son accès est envisageable par des puits situés au plus près des ensembles métallurgiques. Cette pratique était ordinaire avant les années 1950 car la nappe phréatique était nettement plus base et les lacs dans les bas-fonds n'existaient pas (Leduc *et al.*, 2001).

Quel que soit le type de bas fourneaux à usage unique que nous avons pu identifier sur le terrain, un ensemble métallurgique identifiable à l'échelle hectométrique peut être défini par sa situation géomorphologique, le nombre de bas fourneaux qu'il contient et l'organisation spatiale des bas fourneaux à l'échelle décamétrique. Si à l'échelle du territoire les contraintes géomorphologiques sont prégnantes, les concentrations à plus petites échelles sont sans doute plutôt du ressort de facteurs anthropiques de nature sociale, culturelle et/ou rituelle. La distribution clustérisée des bas fourneaux rend compte de la dynamique de l'activité métallurgique qui s'est développée sur plus d'un millénaire dans le cadre géomorphologique de la région de Niamey en rive orientale du fleuve. Le territoire sidérurgique s'est structuré sur le long terme nécessitant une certaine continuité dans la pratique de la métallurgie.

Remerciements

Ce programme de recherche a pu être réalisé grâce à la participation des universités de Niamey, de Rouen et de Dijon ainsi que de l'IRSH et de l'IRD de Niamey. Son financement a été assuré par le projet 6116 de la Coopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique (CORUS2) intitulé ; Impacts de la pression anthropique et du changement global sur les flux sédimentaires en zone sahélienne : dynamique éolienne et aérosols terrigènes.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Aliko Maman, technicien de l'IRD de Niamey, pour sa participation active aux prospections et aux recensements des bas fourneaux.

Bibliographie

Abdourhamane Touré A., Guillon R., Garba Z., Rajot J.-L., Petit C., Bichet V., Durand A., Sebag D. 2010. Evolution des paysages du Sahel au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroûtement de la surface des sols. *Pangea* 47/48, Orléans, sous presse.

Banoin M., Guengant, J.P. 1998. Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie, in Ch. Floret et R. Pontanier (eds.). *Jachère et systèmes agraires*. 1-14. Niamey (SEN), Faculté d'Agronomie de Dakar, IRD.

Barceló, J. A. 2002. Archaeological thinking: Between space and time. *Archeologia e calcolatori*, 13, 237-257.

Barros (de) P. 1986. Bassar: A quantified, chronologically controlled, regional approach to a traditional iron production centre. *Journal of the International African Institute*, 56 (2), 148-174.

Barros (de) P. 1988. Societal repercussions of the rise of large-scale traditional iron production: a West African example. *The African Archaeological Review*, 6, 91-113.

Barros (de) P. 2000. Iron metallurgy: sociocultural context, in M. S. Bisson, S. T. Childs, P. de Barros et A. F. .C Holl, (eds). *Ancient African metallurgy. The socio-cultural context,* 147-198, J. O. Vogel edition.

Besag, J. E. 1977. Comments on Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 39, 193-195.

Bevan, A. et Conolly, J. 2006. Multiscalar approaches to settlement pattern analysis, in G. Lock, et B. L. Molyneaux, (eds.). *Confronting scale in archaeology. Issues of theory and practice*, 217-234 New York, Springer.

Celis G. R. 1994. La métallurgie traditionnelle chez les Songhraï (Niger). Techniques et croyances : la reconstruction de Yelwani. *Anthropos* 89, 401-420.

Coulibaly E. 2006. *Savoirs et savoir-faire des anciens métallurgistes d'Afrique. Procédés et techniques de la sidérurgie directe dans le Bwamu (Burkina Faso et Mali)*. Paris, Karthala.

Devisse J. 1993. *Vallées du Niger*. Paris, Réunion des Musées Nationaux.

Deweirdt E. 2010. *De l'analyse spatiale à la caractérisation de sites de la fin de l'âge du fer et du début de l'époque gallo-romaine dans le nord et l'est de la Gaule.* Thèse non publiée, Université de Bourgogne, Université de Gand.

Dubois D. et Lang J. 1984. Etude lithostratigraphique et géomorphologique du continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemmeden (Niger). *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire* 43 (1/2) série A, 1-42.

Echard N. 1983. Scories et symboles, remarques sur la métallurgie hausa du fer au Niger. in N. Echard (ed) *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions* 209-224 mémoires de la société des africanistes 9, Paris.

Eschenbrenner V. et Grandin G. 1970. La séquence de cuirasse et ses différenciations entre Agnibilékrou (Cote d'Ivoire) et Diébougou (Haute-Volta). *Cahier ORSTOM*, série géologie 2 (2) 205-245.

Fabre J. M. 2009. La métallurgie du fer au Sahel burkinabé à la fin du 1er millénaire AD. in S. Magnavita, L. Koté, P. Breunig et O. A. Idé (eds), *Crossroads, Cultural and technological developments in first millennium BC/AD West Africa* 167-178. Journal of African Archaeology Monograph Series, 2, Francfort sur le Main.

Gado B. 2004. Les systèmes des sites à statuaire en terre cuite et en pierre dans la vallée du Moyen Niger entre le Gorouol et la Mékrou. Une énigme archéologique entre le mythe, l'histoire et le pillage, in A. Bazzana et Bocoum (eds.). *Du nord au sud du Sahara. Cinquante ans d'archéologie française en Afrique de l'ouest et au Maghreb.* 155-181. Paris, Sépia.

Guillon R., Petit C., Rajot J. L., Idé O. A., à paraître. La métallurgie du fer au Sahel : répartition spatiale de bas fourneaux au sud-ouest du Niger. Premiers résultats. *Pangéa,* 47/48, Orléans, sous presse

Huysecom E., Ballouche A., Cissé L., Gallay A., Konaté D., Mayor A., Neumann K., Ozainne S., Perret S., Raeli F., Rasse M., Robert A., Robion C., Sanogo K., Serneels V., Soriano S. Stokes, S. 2004. Paléoenvironnement et peuplement humain en Afrique de l'ouest : rapport de la sixième campagne de recherche à Ounjougou (Mali). *Jahresbericht SLSA 2003*, 27-68.

Leduc, C., Favreau, G., Schroeter, P. 2001. Long time rise in a sahelian water table: The continental Terminal in south-West Niger. *Journal of hydrology* 243, 43-54.

Luxereau A., 1983. Métallurgie dans le Sahel nigérien : contraintes de l'écosystème, effet de la technique, l'exemple de la région de Maradi (Niger), in N. Echard *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions* 225-236, mémoires de la société des africanistes 9.

Paris F., Person A., Quéchon G., Saliège J. F. 1992. Les débuts de la métallurgie au Niger Septentrional Aïr, Azawagh, Ighazer, Termit. *Journal des Africanistes* 62 (2), 55-68.

Quéchon G. 2002. Les datations de la métallurgie du fer à Termit (Niger) : leur fiabilité, leur signification, in H. Bocoum (ed.), *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique, une ancienneté méconnue Afrique de l'Ouest et Afrique Centrale*, 105-114. Editions de l'UNESCO, Paris.

Robert-Chaleix D. et Sognane M. 1983. Une industrie métallurgique ancienne sur la rive mauritanienne du fleuve Sénégal. In: Echard N. *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions* 45-62, mémoires de la société des africanistes 9.

Robert-Chaleix D. 1994. Métallurgie du fer dans la moyenne vallée du Sénégal : les bas fourneaux de Silla. *Journal des africanistes* 64 (2) 113-127.

Robion-Brunner C. 2010. *Forgerons et sidérurgie en pays dogon. Vers une histoire de la production du fer sur le plateau de Bandiagara (Mali) durant les empires précoloniaux*. Journal of African Archaeology Monograph Series, 3. Francfort sur le Main.

Vernet R. 1996. *Le sud ouest du Niger : de la Préhistoire au début de l'Histoire*. Etudes nigériennes 56, IRSH, Niamey, Sepia, Paris.

Zaninetti, J.-M. 2005. *Statistique spatiale. Méthodes et applications géomatiques.* Lavoisier, Paris.