



HAL
open science

Nouvelles données sur l'Age ancien des métaux au Mali

Christian Dupuy, Philippe Fluzin, Alain Ploquin, Alain Durand, Christiane Rolando

► **To cite this version:**

Christian Dupuy, Philippe Fluzin, Alain Ploquin, Alain Durand, Christiane Rolando. Nouvelles données sur l'Age ancien des métaux au Mali. Sahara: preistoria e storia del Sahara prehistory and history of the Sahara préhistoire et histoire du Sahara, 2002. halshs-02398617

HAL Id: halshs-02398617

<https://shs.hal.science/halshs-02398617>

Submitted on 7 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Nouvelles données sur l'Âge ancien des métaux au Mali

Christian Dupuy*, Philippe Fluzin*, Alain Ploquin**,
Alain Durand*** et Christiane Rolando****

Riassunto

Le nostre conoscenze sull'età antica del Ferro nel Mali vengono arricchite di nuovi dati, da una parte grazie a 72 incisioni rupestri nell'Adrar des Iforas che rappresentano oggetti ricurvi, e dall'altra grazie a un bassoforno ritrovato in uno scavo archeologico nel villaggio di Koussané nella valle di Kolimbine. L'originalità delle forme delle incisioni suggerisce che si tratti di produzione locale. L'associazione di queste raffigurazioni con motivi diffusi nell'Adrar des Iforas e nelle regioni più settentrionali testimonia, per questo settore del continente africano, la trasmissione di beni di prestigio e di nuovi concetti relativi al mondo dei metalli del Mediterraneo occidentale e orientale nel secondo millennio a.C. A questo periodo risalgono probabilmente le incisioni di oggetti ricurvi nell'Adrar des Iforas. Secondo questa ipotesi, esse risultano circa un millennio più antiche rispetto alle più antiche testimonianze metallurgiche rinvenute fino ad oggi negli scavi effettuati nel Mali. Il bassoforno di Koussané va annoverato appunto tra i reperti più antichi. Datato al II-III secolo d.C., ha permesso la riduzione diretta di un minerale di ferro ricco di silice. Era costituito da una fossa a conca circondata da una costruzione cilindrica a base d'argilla modellata su cui poggiavano almeno quattro ugelli. Uno di essi, disposto obliquamente attraverso il corpo del forno, ha favorito la formazione di una spugna di ferro nella parte superiore della scoria, come mostrato dagli esami metallografici. Alla fine del processo di riduzione, la costruzione è stata rimossa e il blocco di 90 kg di scoria è stato frammentato per estrarre la massa di ferro spugnoso. Si può stimare che la quantità di metallo prodotto fosse di 11,5 kg.

Summary

Our knowledge of the early Metal Age in Mali has recently been enlarged by new data concerning 72 engravings depicting silhouettes of bent objects in the rock art of the Adrar des Iforas region, and a slag-pit furnace found in an archaeological dig near the village of Koussane in the Kolimbine valley. The originality of the shapes of the rock engravings suggests a local production. The association to motifs found in the rock art of the Adrar des Iforas and more northerly regions bears witness to the exchange, in the North-West of the continent, of valuable goods and of new world concepts from the West and from the East Mediterranean countries in the 2nd millennium B.C. The engravings of bent objects in the Adrar des Iforas probably date to this time. According to this hypothesis, approximately a thousand years would thus seem to separate the first engraved representations of metallic objects in the Adrar des Iforas from the oldest known metallurgical remains and metallic objects found in archaeological digs in Mali. The furnace excavated at Koussane counts among the oldest remains. Its functioning is dated to the 2nd-3rd centuries calibrated A.D. It was used for direct reduction of iron ore rich in silica and was composed of a basin-shaped pit surrounded by a clay construction supporting at least four puddled clay tuyeres. One of these, slanted across the main body of the furnace, caused the formation of an iron sponge on the upper part of the slag as shown in metallographical tests. At the end of the process, the construction was moved two or three meters and the 90 kg slag block was broken to allow the iron sponge to be extracted. The results of chemical analyses carried out on the iron ore and on the slag indicate that the mass of metal produced was around 11.5 kg.

Résumé

De nouvelles données viennent enrichir le dossier de l'Âge ancien des métaux au Mali. Il s'agit de 72 représentations d'objets métalliques gravées sur des parois rocheuses dans l'Adrar des Iforas et d'un bas fourneau mis au jour à l'occasion d'une fouille menée à proximité du village de Koussané dans la vallée de la Kolimbine. L'originalité des formes reproduites dans les gravures plaide en faveur d'une fabrication locale. L'association de ces représentations à des motifs que l'on retrouve figurés dans l'art rupestre de l'Adrar des Iforas et de régions plus septentrionales, témoigne de la transmission, sur le quart nord-ouest du continent africain, de biens de prestige et de concepts nouveaux en relation avec les mondes des métaux de l'Orient et de l'Occident méditerranéens du 2^e millénaire av. J.-C. De cette époque datent probablement les réalisations des gravures d'objets coulés dans l'Adrar des Iforas. Dans cette hypothèse, celles-ci s'avèrent environ un millénaire plus anciennes que les plus vieux vestiges métallurgiques et objets métalliques qu'aient livré à ce jour les fouilles au Mali. Le bas fourneau mis au jour à Koussané compte parmi ces anciens vestiges. Daté des 2^e-3^e siècles ap. J.-C., il a permis la réduction directe d'un minerai de fer siliceux. Son architecture consistait en une fosse en cuvette cernée par un mur à base d'argile modelée qui supportait au moins quatre tuyères en pisé. L'une d'elles, disposée obliquement à travers le corps du four, a favorisé la formation d'une éponge de fer en partie haute de la scorie comme le montrent les examens métallographiques. A la fin de la réduction, la construction a été déplacée et le bloc de 90 kg de scorie a été brisé pour permettre le prélèvement de l'éponge de fer. Nous pouvons estimer autour de 11,5 kg la masse du métal produit.

Les plus vieux vestiges métallurgiques connus du Mali se limitaient jusqu'à peu aux tuyères, aux scories de fer et aux restes d'objets en acier issus des plus bas niveaux du tell de Djenné-Djeno dans le delta intérieur du Niger. Onze datations ¹⁴C sur charbons ont donné pour ces niveaux des âges bruts s'échelonnant entre 2160±180 BP et 1660±150 BP (McIntosh et McIntosh, 1980; McIntosh et al., 1994), soit après correction dendrochronologique des âges réels compris entre 730

* Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, CNRS, Belfort (France)
** Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CNRS, Nancy (France)
*** Département de Géologie de l'Université de Rouen (France)
**** Inst. Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie, Marseille (France)

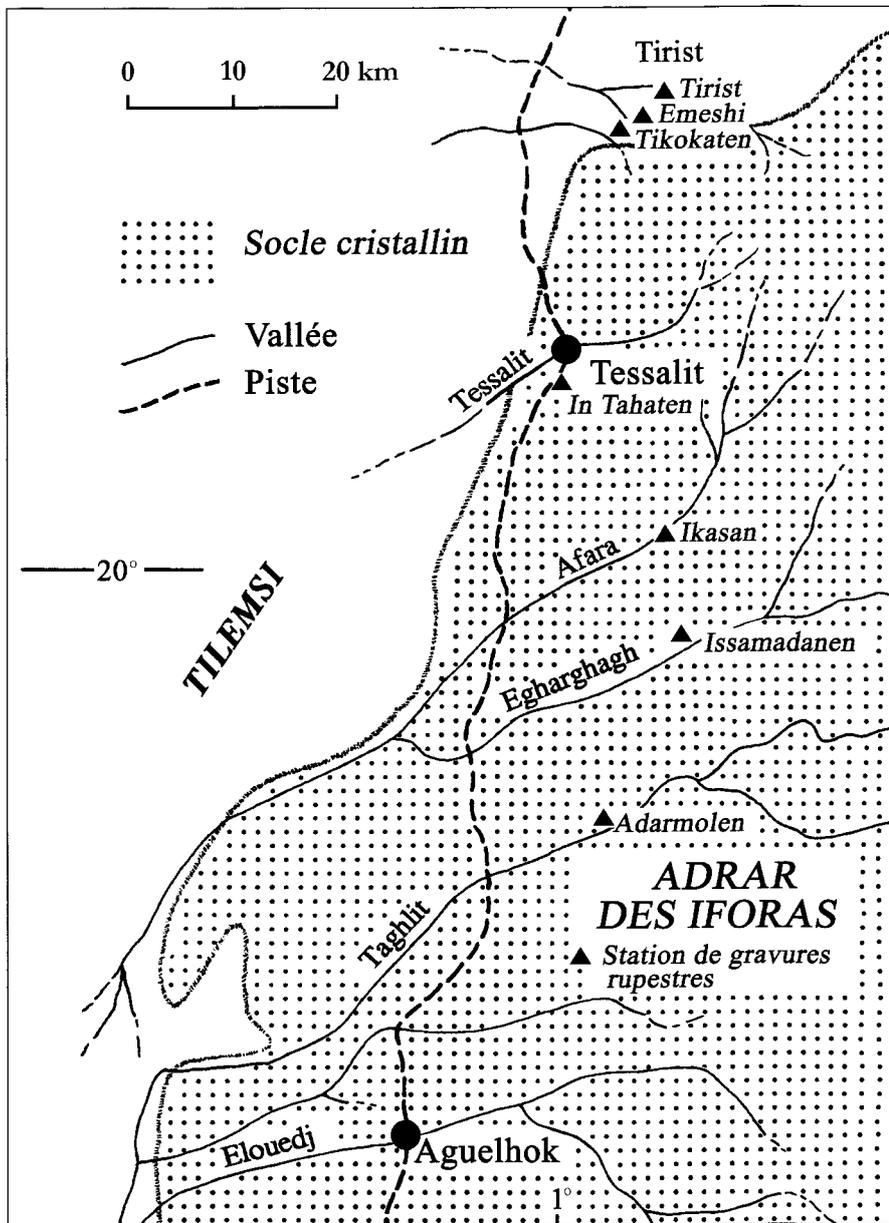


Fig. 1. Localisation des stations de gravures rupestres comprenant des représentations d'objets coudés sur le versant nord-occidental de l'Adrar des Iforas.

av. J.-C. et 640 ap. J.-C. (intervalle de confiance pris à 95%). C'est de ce même gisement, mais d'occupations postérieures au 5^e siècle ap. J.-C., qu'ont été exhumés les plus anciens objets en cuivre et alliages de cuivre du Mali. De nouveaux documents viennent aujourd'hui à notre connaissance. Il s'agit, d'une part, de plusieurs dizaines de représentations gravées d'objets métalliques réalisées dans l'Adrar des Iforas (massif de faible altitude situé dans le sud du Sahara au nord-est du Mali), et, d'autre part, d'un bas fourneau pris en stratigraphie au sein d'un gisement archéologique situé au voisinage du village de Koussané dans la vallée de la Kolimbiné, partie intégrante du bassin supérieur du Sénégal.

I. Les premières représentations gravées d'objets métalliques dans l'art rupestre de l'Adrar des Iforas (C.D.)

Trois missions archéologiques réalisées entre 1986 et 1990 dans l'Adrar des Iforas, permettent la découverte de plusieurs milliers de gravures rupestres en bordure de cinq vallées successives du versant nord-occidental (Dupuy, 1991). Parmi ces gravures figurent soixante douze objets coudés dont la morphologie peu commune mérite, pour commencer, une attention particulière.

LAMES	FILIFORMES			
	CROISSANT			
	SEGMENT DE CERCLE			
	FOLIACÉES			
	TRIANGULAIRES longues et étroites			
	TRIANGULAIRES courtes et larges			
	Manches épais LAMES PERPENDICULAIRES AUX MANCHES	Manches filiformes	LAMES NON PERPENDICULAIRES AUX MANCHES	

Fig. 2. Typologie des figurations d'objets coulés présentes dans l'art rupestre de l'Adrar des Iforas; les représentations de haches et de crosses ou bâtons de jets ne sont pas répertoriées ici, ne faisant pas l'objet de cette étude.

I.1 Typologie des figurations

Ces gravures d'objets coulés se répartissent aux sommets et sur les talus de sept éperons rocheux (Fig. 1). Dans tous les cas de figures, les lames apparaissent à l'extrémité des manches (Fig. 2). La plupart leur sont orthogonales, à l'exception de six d'entre elles positionnées à 120° et de trois autres à 70°. Le rapport de la longueur des lames sur celle des manches est relativement constant et en moyenne égal à 9/10. Il est égal à 1/2 pour trois représentations aux lames courtes et larges. Les profils des lames sont variés: triangulaires, foliacés, en segment de cercle, en croissant. La majorité présente à leur base un crochet qui est tourné vers le bas des manches lorsqu'il ne se referme pas en boucle sur eux. Un seul est tourné vers le haut. En l'absence de crochet, les manches montrent un léger renflement. Deux d'entre eux sont munis d'un œillet en partie proximale. Quelques silhouettes filiformes témoignent de stylisations extrêmes qui rendent délicate l'identification des objets ayant servi de modèles aux graveurs. Il s'avère toutefois difficile de concevoir qu'un seul et même modèle de lame ait pu induire une représentation en triangle équilatéral sur une paroi et en fin segment de cercle sur une paroi voisine comme cela s'observe à Issamadanen. Cette diversité des reproductions invite à la reconnaissance d'objets qui, bien

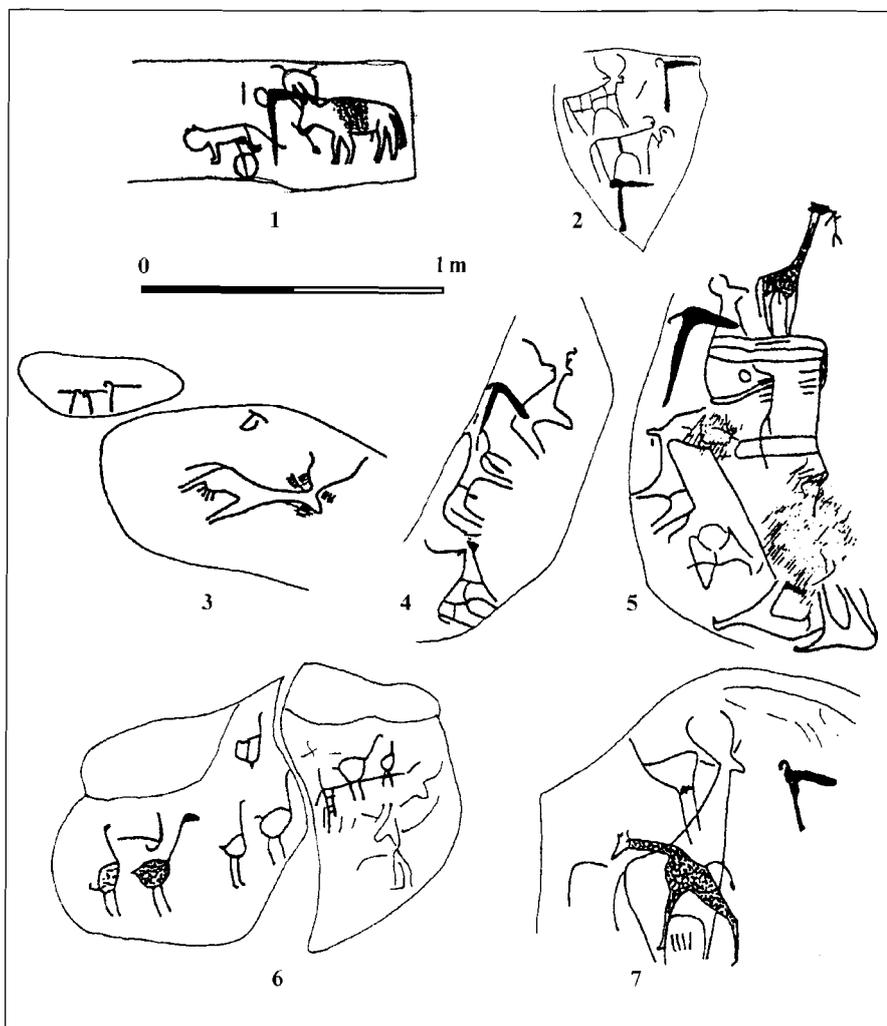


Fig. 3. Objet coudé à silhouette marginale (Tikokaten, H = 27 cm). La lame est située à l'extrémité du manche et lui est orthogonale comme sur les reproductions d'objets coudés données en fig. 2.

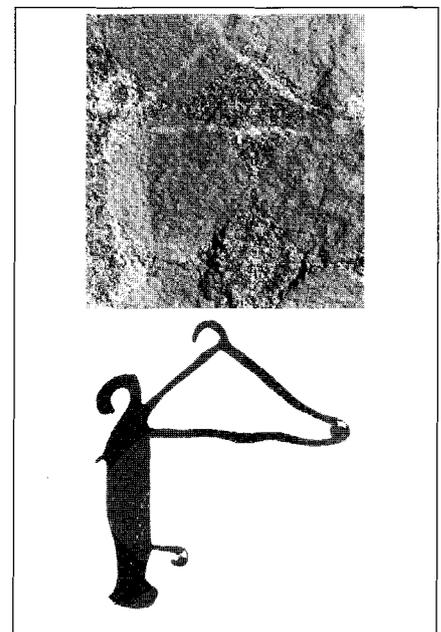
Fig. 4. Objets coudés associés à des animaux. 1, 2, 3: Issamadanen. 4, 5: Tirist. 6: Ikasan. 7: Adarmolen.

que de morphologie générale apparentée, suivaient dans la réalité des profils variés.

L'étroitesse de la plupart des lames alliée à la courbure plus ou moins accusée des crochets, suggèrent l'emploi d'un métal que l'on peut supposer en outre avoir été martelé ou forgé en dernier ressort. La représentation marginale d'un objet à lame en triangle isocèle ornée à deux de ses angles d'un crochet et au manche également pourvu d'un crochet, conforte plutôt cette hypothèse (Fig. 3). Quelle était la nature du métal ainsi ouvragé? S'agissait-il de fer ou d'acier, de cuivre ou d'un alliage de cuivre? Quelle était l'épaisseur des lames produites et, par voie de conséquence, leur massivité et leur résistance aux sollicitations mécaniques? Il est malheureusement impossible de répondre à ces questions à partir de l'observation de gravures rupestres.

Un autre problème posé par ces documents est relatif aux emmanchements. Il n'est pas sûr que les objets représentés aient été d'un seul tenant comme le suggère *a priori* l'absence de trait à la jonction lame-manche. Cette absence peut aussi s'expliquer par une abstraction figurative ou bien par la difficulté ou le manque d'intérêt des graveurs à reproduire le détail des emmanchements en surface interne de gravures qu'ils piquetaient souvent entièrement. En admettant l'existence d'objets constitués de deux parties distinctes, les lames pouvaient être soudées, brasées ou rivetées sur des manches métalliques. Mais elles pouvaient être aussi rendues solidaires de manches en bois par spatule et surliure, par mortaise et ligature ou par l'intermédiaire d'une soie, d'une douille ou d'un collier aménagé à la base des lames. Ces divers types d'emmanchements s'observent aujourd'hui sur les instruments aratoires de l'Afrique tropicale (Seignobos *et al.*, 1984, 2000).

Ces objets coudés de l'Adrar des Iforas étaient le plus souvent représentés non portés. Ils apparaissent soit isolés sur des parois soit associés à des animaux, plus rarement à des personnages. Quelques uns



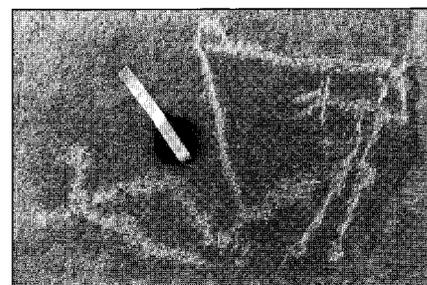
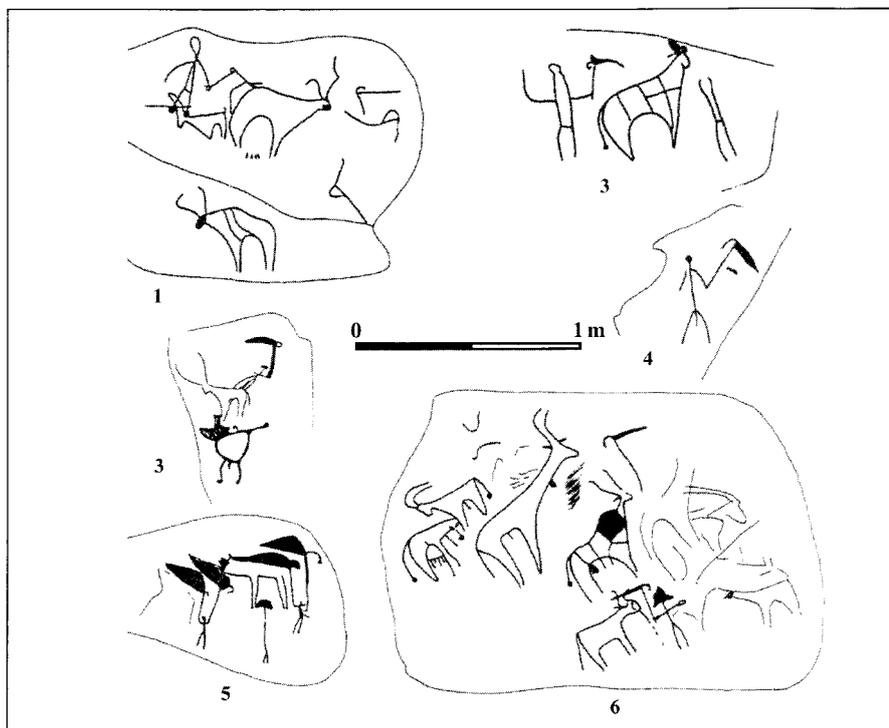


Fig. 5. Objets coudés portés.
1, 2, 3: Issamadanen. 4: Tirist.
5: Adarmolen 6: In Tahaten.
7: Emeshi .

étaient gravés à hauteur des cous d'autruches ou de girafes, d'autres sur l'échine, le front ou l'arrière-train de bovins (Fig. 4). Quinze de ces objets sont brandis à bout de bras par des personnages aux silhouettes de petite taille. Quatre parmi eux en dirigent les extrémités vers la tête ou vers le corps de bovins (Fig. 5). Les objets coudés sont surdimensionnés vis-à-vis des sujets qui leur sont associés. Ce non respect du rapport des tailles rend difficile leur identification à des outils aratoires ou à des armes qui auraient été d'un usage courant. L'hypothèse d'instruments valorisés, utilisés en des circonstances particulières, paraît en revanche plus vraisemblable. Peut-être ces objets servaient-ils au sacrifice de bovins et à des chasses aux autruches et aux girafes?

Une autre question se pose à propos de cette série d'objets coudés dont la fabrication faisait très probablement appel au métal et dont la vocation était, semble-t-il, plus rituelle qu'utilitaire, à savoir celle de leur âge de réalisation. Les représentations figuratives et non figuratives au sein desquelles s'intègrent ces gravures dans l'Adrar des Iforas, comparées aux données iconographiques connues des régions voisines, nous fournissent quelques précieux repères.

I.2 Les repères chronologiques associés

Des motifs abstraits datables des 3e-2e millénaires av. J.-C.

La station d'Issamadanen se singularise des sept autres stations de l'Adrar des Iforas comprenant des représentations gravées d'objets coudés par la place important qu'y tient l'art abstrait. Celui-ci se compose pour l'essentiel de motifs à base de cercles: cercles simples, cercles juxtaposés et reliés ou non par un trait, cercles concentriques munis ou non d'un ou plusieurs appendices rayonnants, cercles pointés en leur centre de piquetages ou d'une cupule, cercles barrés d'une croix. Apparaissent à leurs côtés, quelques spirales, arcs de cercle, alvéoles, ovales souvent biconcaves, rubans, serpentins, lignes ondulées auxquels il faut ajouter pour être complet deux croix inscrites à l'intérieur de lignes et une croix bouclée. La comparaison des compositions gravées dans lesquelles furent réalisés ces signes abstraits avec celles montrant des objets coudés, révèle toute une série de liaisons iconographiques qui plaident en faveur de réalisations au moins partiellement contemporaines (Dupuy, 1994: 106-107).

Des signes curvilignes réunis en un même lieu comme à Issamadanen ou bien plus épars à l'échelle d'une région mais renvoyant à un même éventail de formes après regroupement, ont été relevés dans l'Ahag-

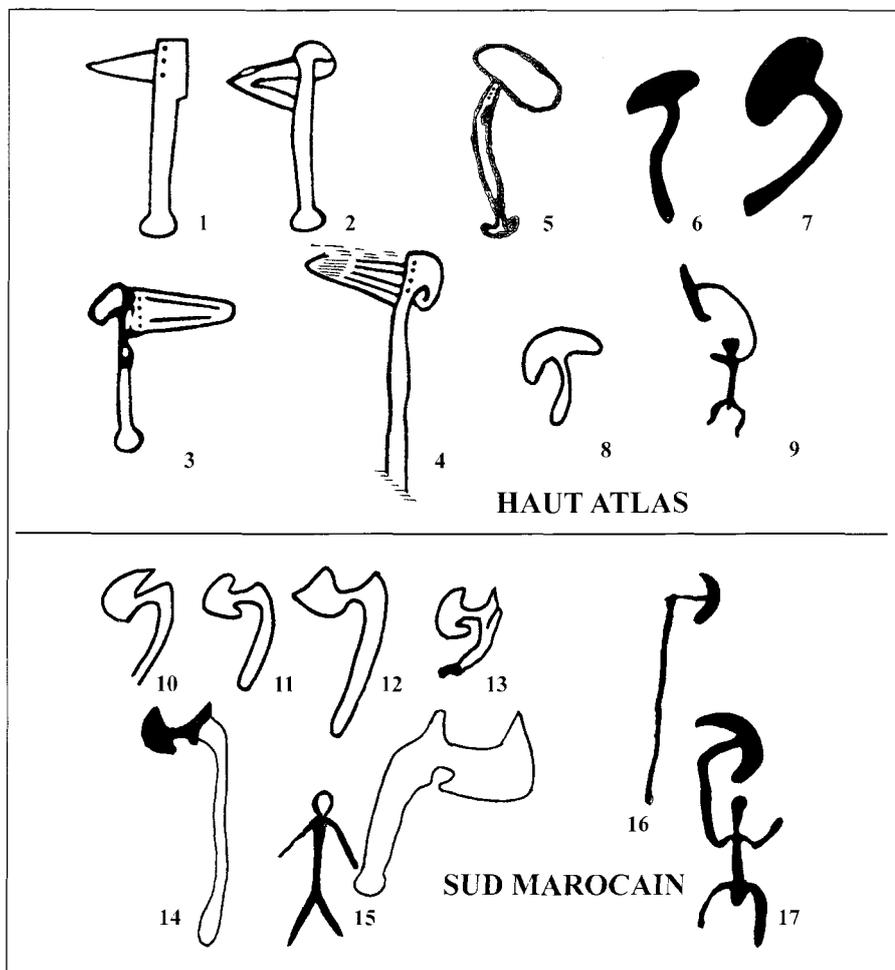


Fig. 6. Les différents types d'objets coulés en métal représentés dans le Haut Atlas et dans le Sud du Maroc à comparer avec ceux inventoriés dans l'Adrar des Iforas (Fig. 2). La hallebarde de Tin Souk dans l'Ahaggar demeure l'unique exemplaire connu du Sahara central. (Réductions différentes suivant les figures.) Sources: 1, 2, 3, 4, 6, 7: Malhomme, 1959/1961. 5: Rodrigue, 1991. 8, 9: Jodin, 1964 et 1966. 10, 11, 12: Puigauveau et Senones, 1953. 13, 17: Wolff, 1978/1979. 14, 16: Simoneau, 1977. 15: Lhote, 1964. 18: Relevé aimablement communiqué par Gabriel Camps.

gar (Trost, 1981 et 1997), au sud-est du Grand Erg Oriental (David et Huard, 1979; Aumassip, 1986), dans le Haut Atlas (Malhomme, 1959/1961; Rodrigue, 1999a) et sur son piémont méridional (Searight, 1996). L'art rupestre de ces régions, à l'exception du Grand Erg Oriental, comporte aussi des figurations d'objets coulés en métal. Certains d'entre eux sont brandis à bout de bras par des personnages aux silhouettes filiformes et miniaturisées (Fig. 6). Malgré le caractère encore lacunaire des inventaires dans certains secteurs, les ressemblances entre les régions sont, en l'état, suffisamment nombreuses et par trop spécifiques pour relever du simple hasard. Il semble plus logique d'y voir le témoignage d'une diffusion de croyances ou de concepts nouveaux sur de longues distances selon des modalités qui restent à définir et qui ont pu être diverses: échanges entre groupes voisins et/ou mobilité des populations (Dupuy et Searight, 2001).

À pousser plus loin les comparaisons, la plupart des figures géométriques rassemblées à Issamadane se retrouvent intégrées dans le répertoire non figuratif de l'art rupestre ibérique du Chalcolithique et de l'Âge du bronze dont les cercles, les spirales, les lignes ondulées et les cruciformes constituent les motifs de base (Abelanet, 1986; Costas Goberna et Pena Santos, 2000). Ces affinités iconographiques alliées aux documents archéologiques réunis par G. Camps depuis 1960 - tous jouant en faveur de l'existence d'un Âge du cuivre et du bronze au Maroc en relation avec celui de la Péninsule ibérique - donnent à penser que l'art abstrait des régions les plus occidentales des continents européen et africain participe d'un même horizon chrono-culturel.

Un rapide rappel des faits s'impose. Les découvertes de céramiques campaniformes et d'armes en cuivre et en bronze sur le littoral marocain et plus à l'intérieur des terres (Camps, 1960 et 1992; Daugas *et al.*, 1989; Souville, 1992), la présence d'ivoire d'éléphant sur des sites du Chalcolithique et de l'Âge du bronze du Sud de l'Espagne et du Portugal (Searight, 1994), témoignent d'un négoce entre le Maroc et la Péninsule ibérique à l'aube et au cours du 2^e millénaire av. J.-C. Ces échanges se

doublaient d'une diffusion de courants de pensée qui n'allaient pas sans influencer certaines pratiques funéraires comme l'attestent les sépultures en ciste de part et d'autre du Déroit de Gibraltar (Camps, 1961 et 1992; Ponsich, 1970). Se rattachent probablement à ce même contexte chrono-culturel, la statuette humaine cruciforme en andésite de Chella (Boube, 1983/1984), les deux stèles portant des décors incisés à base de lignes ondulées et d'arc de cercles concentriques trouvées dans la région de Rabat (Souville, 1973) et le cercle mégalithique du Sud-marocain constitué de gros blocs de grès gravés de serpentiformes, de spirales, de cercles et d'arc de cercles concentriques (Rodrigue, 1999b); des documents semblables se retrouvant dans la Péninsule ibérique. Le Haut Atlas fut touché par ce jeu des relations mutuelles nord-sud/sud-nord: ce sont ici les armes métalliques représentées en gravure sur des rochers à ciel ouvert qui en fournissent la preuve. En effet, certaines des hallebardes figurées dans le Haut Atlas de même que les pointes foliacées à languette et les poignards sans garde marquée réalisés à leurs côtés, renvoient aux profils d'armes qui étaient produites dans la Péninsule ibérique à l'aube et au cours du 2^e millénaire av. J.-C. (Chénorkian, 1988). En revanche, d'autres armes caractéristiques de l'art rupestre régional et sans équivalence dans la Péninsule ibérique, tels les haches munies de lames en éventail ou en croissant et les poignards à garde fortement marquée, pourraient être, selon R. Chénorkian (1988), de fabrication locale.

Ces diverses données étayent plutôt bien l'hypothèse selon laquelle les signes abstraits associés aux armes métalliques représentées au Maroc et, plus ouvertement, ceux répartis sur le quart nord-ouest du continent africain jusqu'à Issamadanen dans l'Adrar des Iforas, auraient servi de supports à la diffusion de croyances ou de concepts nouveaux au moins en partie contemporains du Chalcolithique et de l'Âge du bronze ibériques datés des 2^e-3^e millénaires av. J.-C.

Chars et entrelacs du Sahara

À Tirst, dans l'Adrar des Iforas, deux objets coudés non portés se trouvent associés sur une paroi commune à un char détélé à timon simple (Fig. 7). Plus de soixante chars comparables sont figurés dans des vallées voisines. Il est important de signaler que trois d'entre eux, réalisés sur la station de gravures rupestres d'Asenkafa, sont intégrés dans une composition animale située à l'aplomb d'une dalle incisée d'une spirale développée en entrelacs. Un motif en entrelacs, tout aussi complexe, est ébauché un kilomètre en amont, lui aussi sur une dalle. Cette présence conjointe de chars et d'entrelacs en des lieux identiques n'est pas exclusive à l'Adrar des Iforas mais s'étend à l'Ahaggar et au Tassili-n-Ajjer (Dupuy, 2001: 25-28). Des entrelacs et des chars ont été aussi relevés dans l'Atlas d'Algérie et sur le piémont méridional du Haut Atlas au Maroc mais ici, la contemporanéité de ces motifs reste à prouver, étant donné que ceux que l'on connaît n'apparaissent jamais réunis sur des parois communes. Précisons cependant que la parenté et la complexité de forme de ces entrelacs alliées à leur nombre restreint sur la vaste aire géographique qu'ils délimitent, rend très plausible l'hypothèse de réalisations proches sur le plan chronologique. Or l'on sait que des motifs comparables constitués de courbes et de spirales enlacées étaient prisés dans le monde égéen depuis le début du 3^e millénaire av. J.-C. Ils l'étaient encore lorsque furent érigés au 16^e siècle av. J.-C., sur les tombes à fosse du cercle A de Mycènes, des stèles représentant pour la première fois en Péloponèse des guerriers sur des chars. Une transmission de ces motifs de l'Égée vers le Sahara central en prenant pour région relais le littoral libyco-égyptien est envisageable dès lors que l'on accorde quelque importance aux événements historiques rapportés dans les chroniques égyptiennes du Nouvel Empire et à des documents archéologiques récemment mis au jour.

À partir du 16^e siècle av. J.-C., les Égyptiens à l'instar des Mycéniens s'équipent de chars légers à timon simple et roues à rais. Dans le Delta du Nil, sous le règne d'Amosis (vers 1555-1530 av. J.-C.), premier pharaon de la XVIII^e dynastie marquant le début du Nouvel Empire, des peintres crétois décorèrent l'intérieur du palais d'Avaris à la manière de celui de Cnossos (Bietak, 1996; Negbi, 1994). Leurs œuvres figurent des hommes faisant des bonds par dessus des taureaux ou les affron-

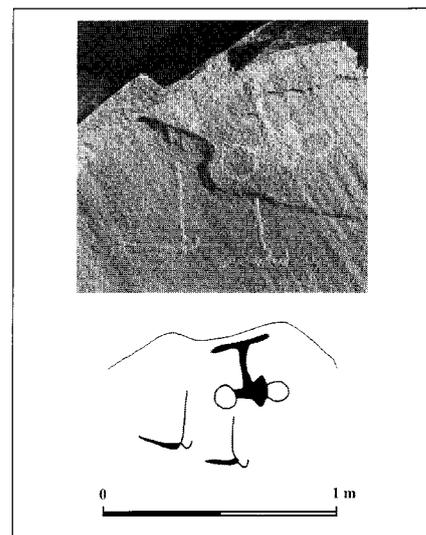


Fig. 7. Char à timon simple associé à deux objets coudés munis de lames longues, fines, légèrement arquées et orthogonales aux manches (Tirst). Noter les crochets à la base des lames, tournés vers le bas des manches. Il a tout lieu de penser que ces gravures qui présentent la même patine et qui furent réalisées selon la même technique, sont contemporaines.

tant, des lions et des léopards en extension chassant le cerf et l'ibex, des griffons, des tracés en dédales, des frises de semi-rosettes, divers motifs floraux. À cette même époque, arrivent à Avaris en provenance de Crète, des amphores, des rhitons et des pierres poncees tandis que partent d'Égypte à destination du monde égéen des vases en albâtre, de la faïence, des scarabées, des perles (Kemp *et al.*, 1980: 283-284). Deux facteurs naturels facilitent ces échanges: les vents étésiens et les courants marins de Méditerranée orientale qui poussent et portent les navires de l'Égée vers la Cyrénaïque (Vercoutter, 1956; Kemp *et al.*, 1980: 270). Aussi le littoral libyco-égyptien devait-il être familier aux Égéens vers lequel ils pouvaient diriger sans difficulté leurs navires.

On sait depuis peu que certains équipages faisaient escale à l'île de Bates au large de Marsa Matruh où a été mise au jour de la céramique minoenne, mycénienne mais aussi chypriote et égyptienne de la fin du 14^e et du 13^e siècles av. J.-C. (White, 1986 et 1989). Les fouilles ont également révélé un travail local du bronze. C'est peut-être pour contrôler cette activité à la fois artisanale et marchande et, simultanément, pour prévenir de l'effervescence des éleveurs qui nomadisent dans la région que Thoutmosis III ordonne, au 15^e siècle av. J.-C., la réalisation de forteresses à l'ouest du Delta. Deux siècles plus tard, Ramsès II fait construire un nouveau poste de contrôle, 300 km plus à l'ouest, à Apis au voisinage de Marsa Matruh. Les vestiges de l'enceinte étudiés par L. Habachi (1980) délimitent une surface de 8000 mètres carrés.

À la fin du 13^e siècle survient en Basse Égypte une bataille que Merneptah remporte face à une coalition de Libyens et «d'habitants des pays de la mer». À l'issue des combats, douze paires de chevaux appartenant à la tribu des *Ribou* commandée par un chef dénommé *Meryouy* sont ramenés dans la vallée du Nil. Une génération s'écoule... Puis la menace à nouveau se précise. Deux coalitions successives de Libyens et de guerriers de Méditerranée affrontent l'armée de Ramsès III en l'an 5 puis en l'an 11 de son règne. Les combats consacrent à deux reprises le triomphe de Pharaon. À l'issue de la deuxième bataille, en plus de nombreuses épées d'origine mycénienne, une centaine de chars attelés à deux chevaux sont pris comme butin de guerre. Du haut de l'un d'eux avait combattu, *Mesher*, fils du roi vaincu de la tribu des *Mashouash* (Grandet, 1993).

Ces événements rapportés dans les chroniques égyptiennes du Nouvel Empire, témoignent de la présence à l'ouest de la vallée du Nil, d'éleveurs belliqueux dirigés par des chefs aux patronymes berbères (Colin, 1999). Au 13^e siècle av. J.-C., certains d'entre eux en possession de chars et de chevaux sont alors suffisamment puissants et influents pour nouer alliance avec des guerriers de Méditerranée et les liguier contre l'Égypte du Nouvel Empire. Le commerce motive probablement en partie ces coalitions. Comme nous l'avons noté plus haut, les épées mycéniennes figuraient parmi les biens de prestige convoités par les Libyens. En échange de ces épées et vraisemblablement des autres biens de prestige qu'ils recevaient de l'Égée, les Libyens pouvaient informer leurs partenaires égéens sur l'organisation de l'armée égyptienne mais aussi, et simultanément, leur fournir du bétail, de la viande, des plumes et œufs d'autruches (des tests d'autruche ont été retrouvés sur l'île de Bates et en Égée) ainsi que de la gomme arabique, de la gomme ammoniacque, du silphion qui étaient autant de produits présents sur leur aire de nomadisation ne laissant malheureusement pas de trace dans les gisements archéologiques (Donald and White, 1996; Richardson, 2000; Spruytte, 1995).

Dans un tel contexte, la présence au Sahara de chars aux côtés d'entrelacs comparables à ceux du monde égéen peut s'expliquer par une transmission de proche en proche de quelques traditions et éléments culturels qui filtraient des relations entre les Libyens et les Égéens sur le littoral de Cyrénaïque et de Marmarique. Si des peintres du Tassili-n-Ajjer s'inspirèrent de ces motifs élaborés à partir de courbes enlacées, quelques graveurs des régions voisines y furent également sensibles, à l'instar des auteurs des deux spirales développées en entrelacs réalisées dans l'Adrar des Iforas à une époque où le métal était connu à ces latitudes comme le révèle la composition de Tirist montrant deux objets coudés à lame et crochet vraisemblablement métalliques à côté d'un char à timon simple (cf. *supra* fig. 7).

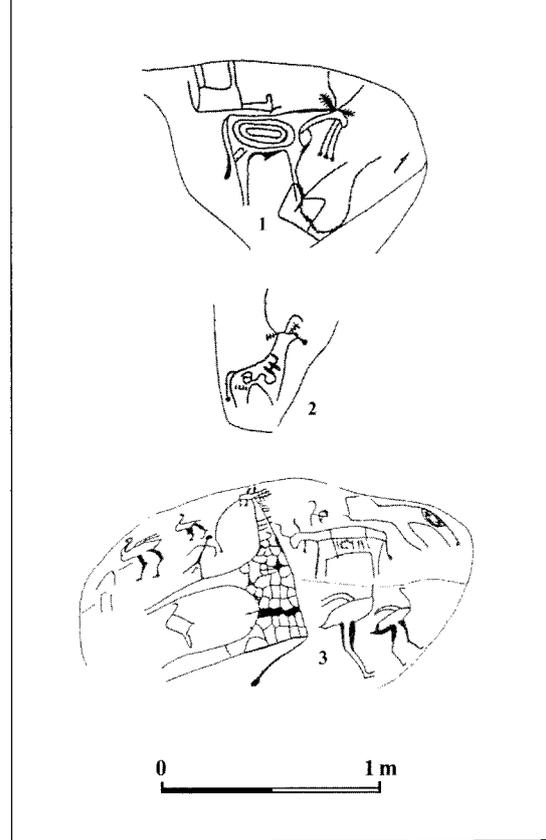
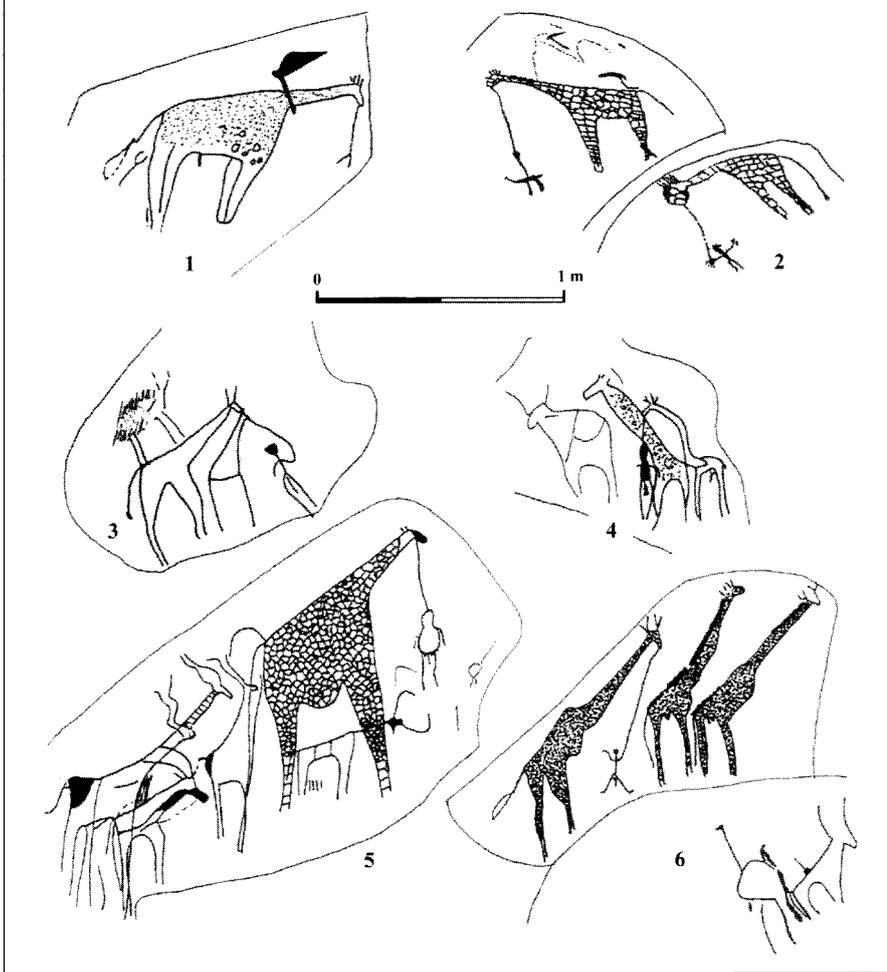


Fig. 8. Personnages aux silhouettes de petite taille en relation avec des girafes. 1, 2: Issamadanen. 3, 4: In Tahaten. 5: Adarmolen. 6: Tirist.

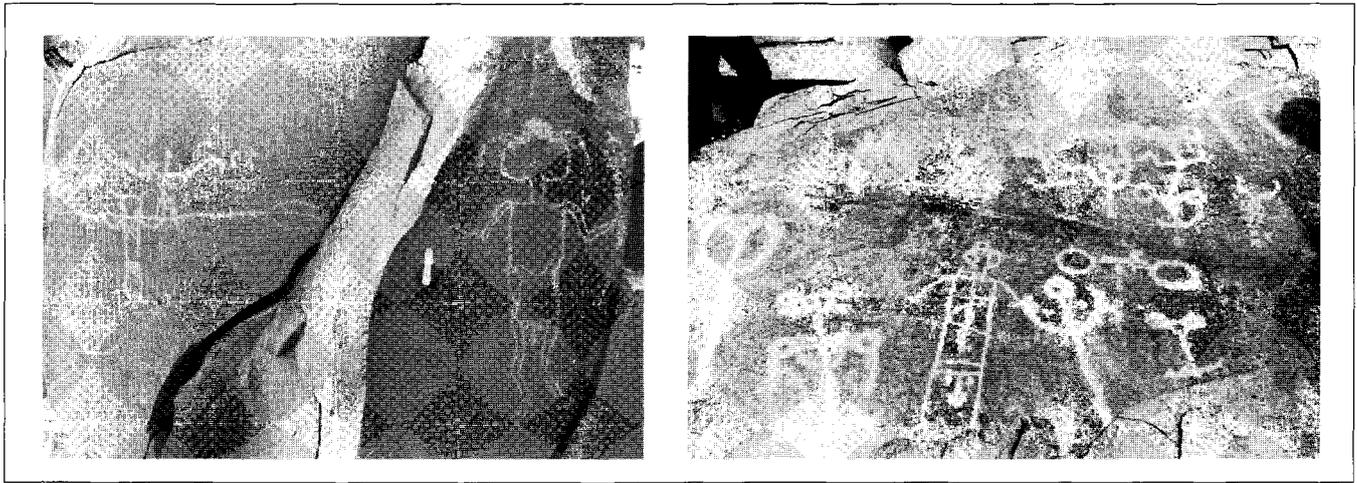
Fig. 9. Bovin et girafe aux oreilles dentelées. 1: Issamadanen. 2: Emeshi. 3: Adarmolen.

Les deux détours que nous venons d'effectuer - le premier par la Péninsule ibérique via le Sud du Maroc en partant de l'art abstrait d'Issamadanen, le second par l'Égée et l'Égypte via le littoral libyco-égyptien en partant des spirales développées en entrelacs et des chars à timon simple gravés au nord-ouest de l'Adrar des Iforas - nous ont projetés plus de trente siècles en arrière. Certes, nous avons envisagé à deux reprises des évolutions rapides et conjuguées à travers le Sahara. Considérer, à l'inverse, des transformations lentes sous l'effet de l'existence de mondes clos ou de conservatismes locaux, conduirait à rajeunir les réalisations des gravures d'objets coudés en métal dans l'Adrar des Iforas. Cependant les données qui suivent, étayent un peu plus l'hypothèse d'une chronologie haute; elles jouent, par voie de conséquence, indirectement en faveur de l'ouverture du Sahara aux mondes anciens des métaux de l'Occident et de l'Orient méditerranéens du 2^e millénaire av. J.-C.

Du port d'objet coudé au port de la lance dans le Sud du Sahara

Les stations d'Adarmolen et d'Issamadanen dans l'Adrar des Iforas, comportent respectivement 80 et 137 représentations humaines. L'on peut ranger d'un côté les personnages aux silhouettes filiformes traitées dans de petites dimensions. Ceux-ci, lorsqu'ils sont armés, brandissent à bout de bras les objets coudés au départ de notre réflexion. L'autre ensemble, de loin le plus important, comprend les humains aux corps et aux têtes vus de face. Leur armement consiste en des lances munies de pointes foliacées ou triangulaires plus ou moins développées, parfois renforcées par une nervure centrale et dont la nature métallique ne fait alors guère de doute. Certaines silhouettes de ces porteurs de lance épousent sur les rochers des dimensions proches de la réalité. La plupart sont figurés vêtus et parés. Malgré leur différence de style, ces représentations s'intègrent dans des ensembles animaliers semblables, dominés par les figurations schématiques de bovins, d'autruches et de girafes. Ces recoupements thématiques alimentent l'hypothèse d'une appartenance culturelle commune pour ces réalisations.

Mais à y regarder de plus près, quelques gravures associées témoignent d'une évolution socio-culturelle. Une dizaine de personnages du



style des porteurs d'objet coudé sont liés à des girafes du muflon desquelles part un trait qui aboutit dans leur main et parfois sur leur tête, suggérant par là-même une liaison plus symbolique que réelle (Fig. 8). Une girafe à lien en relation avec un personnage miniature présente des oreilles dentelées (Fig. 9). Ce trait particulier s'observe par ailleurs sur des bovins en relation avec des porteurs d'objet coudé ou des objets coudés isolés. En revanche, aucune girafe, ni aucun bovin associés aux porteurs de lance ne montrent ces caractères. Et, ce n'est pas tout. À ces petites différences iconographiques s'ajoute le fait que des gravures de porteurs de lance oblitèrent certains des signes abstraits réalisés à Issamadane aux côtés des objets coudés. D'autres, ailleurs, surchargent des compositions comprenant des personnages traités dans le style des porteurs d'objet coudé (Fig. 10). L'ordre inverse de recouvrement ne s'observe sur aucune paroi. Ces diverses données alimentent l'idée d'une évolution socio-culturelle marquée par l'abandon progressif des objets coudés au profit de la lance.

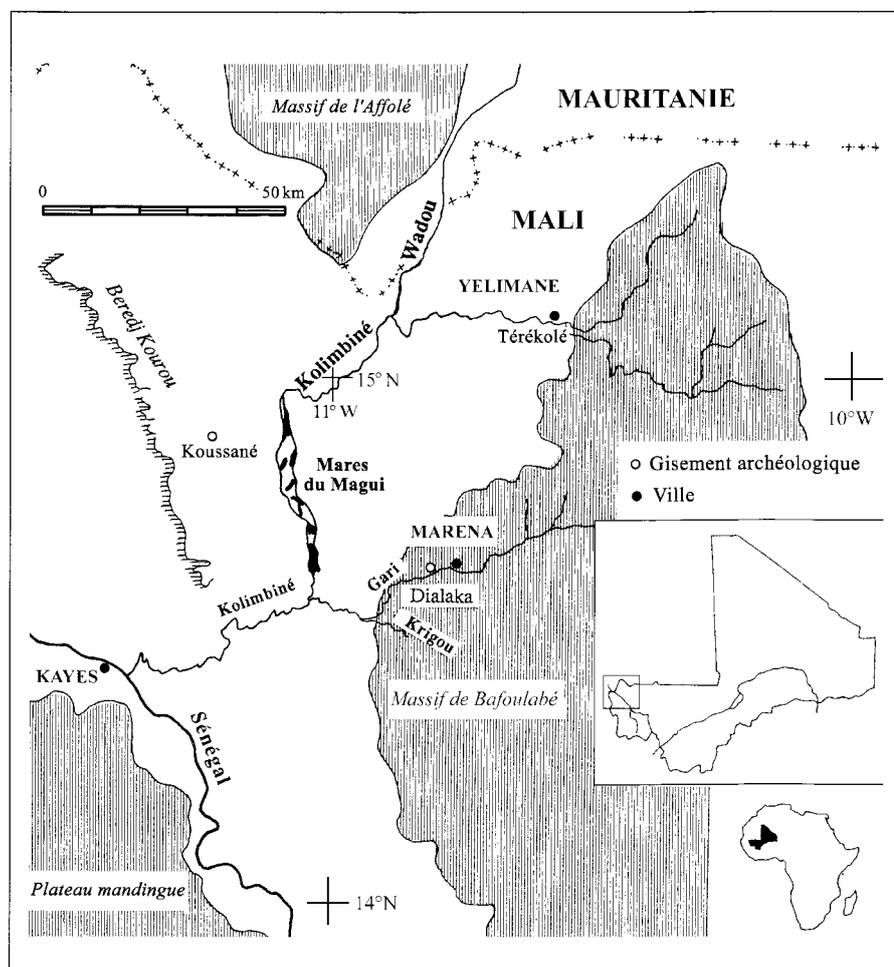
Les résultats des fouilles menées par J.-P. Roset (1988) à Iwelen, au nord-est de l'Air (Niger), permettent de fixer le cadre chronologique de cette évolution. Trois pointes de lance en cuivre ont été découvertes dans ce gisement daté du 1^{er} millénaire av. J.-C. Les armatures mises au jour sont identiques à celles des lances gravées sur les rochers avoisinants. Ces lances sont tenues par des personnages représentés en plan frontal selon des conventions que l'on retrouve appliquées à différents endroits dans l'Air et dans l'Adrar des Iforas (Dupuy, 1998). Les multiples affinités iconographiques qui s'établissent entre l'art rupestre de ces deux massifs voisins du Sahara méridional comprenant des gravures de porteurs de lance, engagent à dater ces expressions du 1^{er} millénaire av. J.-C. Or l'art rupestre de l'Adrar des Iforas nous suggère que les premières réalisations d'objets coudés en métal sont plus anciennes que celles de porteurs de lance; ce qui nous conduit indirectement à situer à nouveau ces réalisations dans le 2^e millénaire av. J.-C.

1.3 Ancienneté de la connaissance du métal au Mali

Les objets coudés représentés en gravure dans l'Adrar des Iforas et, surtout, leur contexte iconographique de réalisation s'avèrent d'une grande valeur archéologique. Il ressort de leur étude qu'au cours du 2^e millénaire av. J.-C., de multiples relations se nouaient des rives de la Méditerranée au sud du Sahara entre des groupes que les déserts, alors moins étendus qu'aujourd'hui, ne séparaient pas encore. Les traditions et les croyances des uns n'étaient pas alors sans influencer celles des autres, les biens valorisés par certains groupes non sans attirer la convoitise des voisins. Ainsi se transmettaient sur de longues distances des idées, des savoirs, des savoir-faire et..., vraisemblablement des objets métalliques. Une telle ambiance a-t-elle motivé la naissance de métallurgies en milieux saharien et sahélien au cours du 2^e millénaire av. J.-C.? L'originalité des objets coudés figurés dans l'Adrar des Iforas incite à le penser, au moins en ce qui concerne le nord-est du Mali. Il reste aux fouilles à fournir les preuves matérielles

Fig. 10. Exemples de personnages du style des porteurs de lance de réalisation plus récente que les humains filiformes qu'ils recouvrent. 1: Adarmolen. La hampe de la lance portée horizontalement recoupe les jambes du porteur d'objet coudé (une simple crosse ici) de patine plus sombre que le porteur de lance. 2: Imeden. La main gauche du personnage fortement sexué surcharge le bras droit du personnage filiforme dont seul le haut du corps est rendu. D'autres silhouettes incomplètes de personnages filiformes apparaissent aux côtés de onze chars parmi lesquels huit exemplaires sont réunis par paire, en enfilade.

Fig. 11. Situation géographique de la vallée de la Kolimbiné.



de cette fabrication locale supposée, en ayant présent à l'esprit que ces objets coulés, ô combien précieux pour situer les débuts de l'Âge des métaux au Mali, ont pu être récupérés et refondus dès lors que le port de la lance devint de tradition dans le courant du 1^{er} millénaire av. J.-C. chez les populations du Sahara méridional qui s'adonnaient à la gravure sur des rochers à ciel ouvert.

II. Un bas fourneau de l'Âge ancien du fer à Koussané

Afin d'avancer dans la connaissance de cet Âge ancien des métaux au Mali, l'Institut des Sciences Humaines de Bamako a étendu, de 1993 à 1996, son programme d'inventaire archéologique à la vallée de la Kolimbiné, affluent de rive droite du fleuve Sénégal à hauteur de Kayes (Fig. 11). Les prospections ont révélé des vestiges sidérurgiques abondants et diversifiés. La plupart se répartissent en surface. Ils consistent en des fours isolés ou groupés, avec ou sans construction aérienne visible, situés à l'intérieur ou à l'écart d'anciens villages. Certains fours ne servaient qu'une seule fois. D'autres en revanche étaient utilisés de façon répétée ainsi qu'en témoignent les monticules de scories de plusieurs mètres cubes plus ou moins étalés marquant leur emplacement. À ces vestiges de surface s'en ajoutent d'autres masqués par les formations superficielles et dont l'importance ne peut être encore évaluée. La preuve de leur existence est fournie par les scories de fer découvertes en stratigraphie le long de deux ravines distantes de 14 m, dominant le village de Koussané tout proche. La position de ces scories sur un front d'érosion a motivé une intervention d'urgence en 1993, puis une fouille de sauvetage plus extensive en 1995. Cette dernière visait à satisfaire un double objectif: trouver des éléments de datation et préciser la nature de l'activité sidérurgique à l'origine de ces déchets.

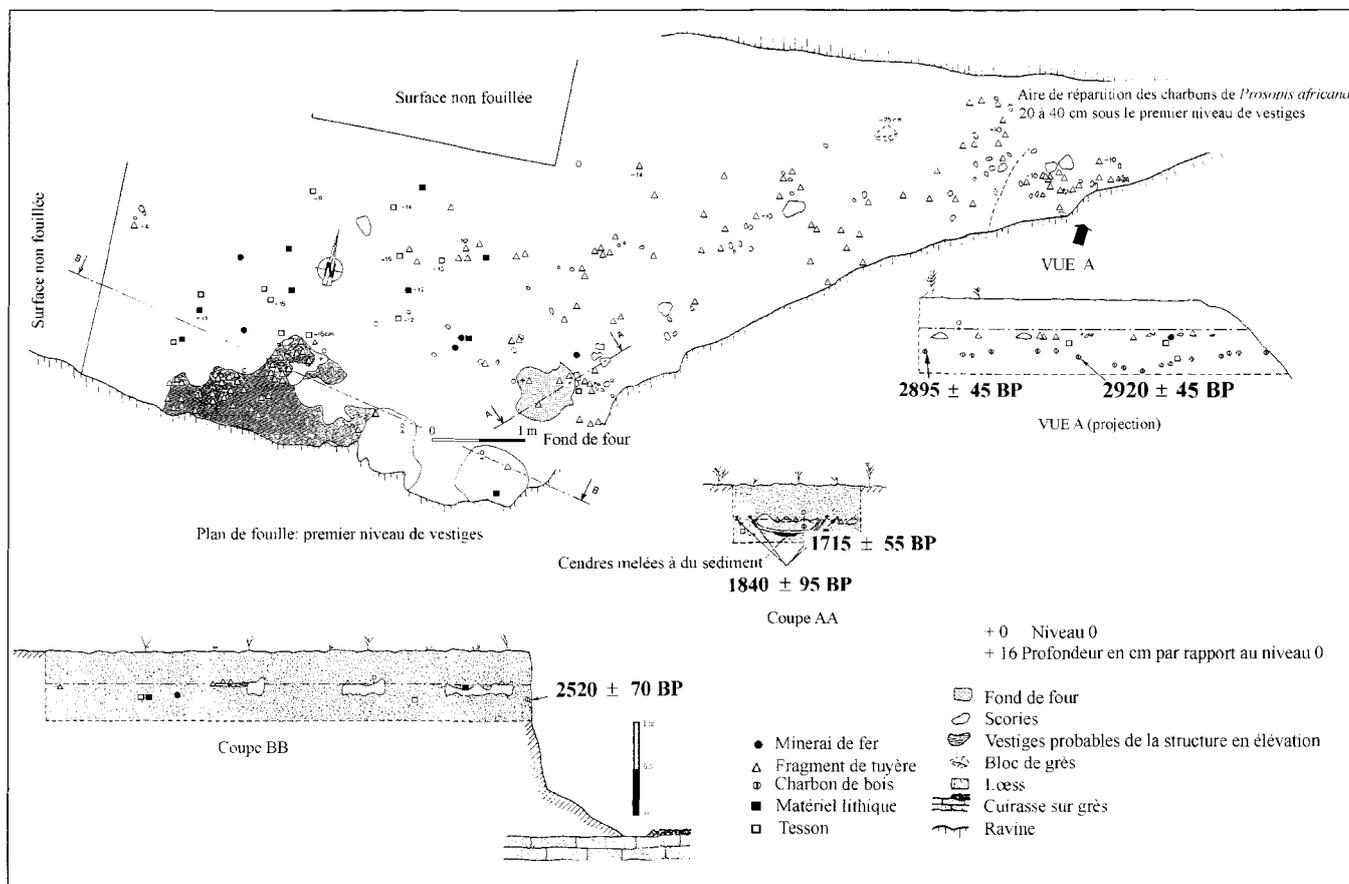


Fig. 12. Répartition des vestiges du niveau supérieur de la zone A.

II.1. La chrono-stratigraphie du gisement et ses implications archéologiques (C.D., A.D., C.R.)

Le sol du gisement

Les scories se situent sous 30 cm à 50 cm de puissance d'un sol sablonneux en pente douce découpé par l'érosion. Épais de 1,20 m à 1,50 m à la verticale des scories, ce sol repose sur des grès auxquels adhèrent quelques lambeaux d'une cuirasse décimétrique riche en hydroxyde de fer. Les sédiments rouges en partie supérieure, s'éclaircissent au-delà d'un mètre de profondeur pour finir jaunes au contact du substrat rocheux. Quelques concrétions ferrugineuses noires apparaissent disséminées dans la zone du changement de coloration.

Trois échantillons de ce sol ont été prélevés: le premier à 5 cm sous la surface, le second à -45 cm (profondeur correspondant au niveau à scories), le troisième à -70 cm (niveau le plus bas à avoir livré des vestiges parmi lesquels figurent des charbons de *Prosopis africana* datés au 14C des alentours de 2910BP comme cela est détaillé plus loin). Les analyses sédimentologiques effectuées à l'aide d'un granulomètre laser n'ont révélé aucune différence significative entre les échantillons (Vienne, 1997: 64-68). Les sables grossiers représentent en tous points 28% de la masse totale du sédiment prélevé. Le sable très fin et les silts dominent à hauteur de 60% contre seulement 12% pour les argiles. Ces résultats permettent d'identifier la partie supérieure du sol de Koussané à un loess dont la formation résulterait du vannage de poussières éoliennes en suspension à travers la couverture végétale, elle même responsable de la rubéfaction superficielle; le ruissellement de pente ayant apporté de son côté le sable et les argiles.

La coupe géologique révèle quelques 20 cm de loess sous-jacents aux charbons datés de 2910BP. La sédimentation loessique s'amorce donc antérieurement au 1^{er} millénaire av. J.-C. Ce fait n'est pas vraiment pour surprendre puisque l'on sait aujourd'hui que le dessèchement du Sahara était général au début du 2^e millénaire av. J.-C. (Rognon, 1989). Dès cette époque, sinon avant, des poussières éoliennes

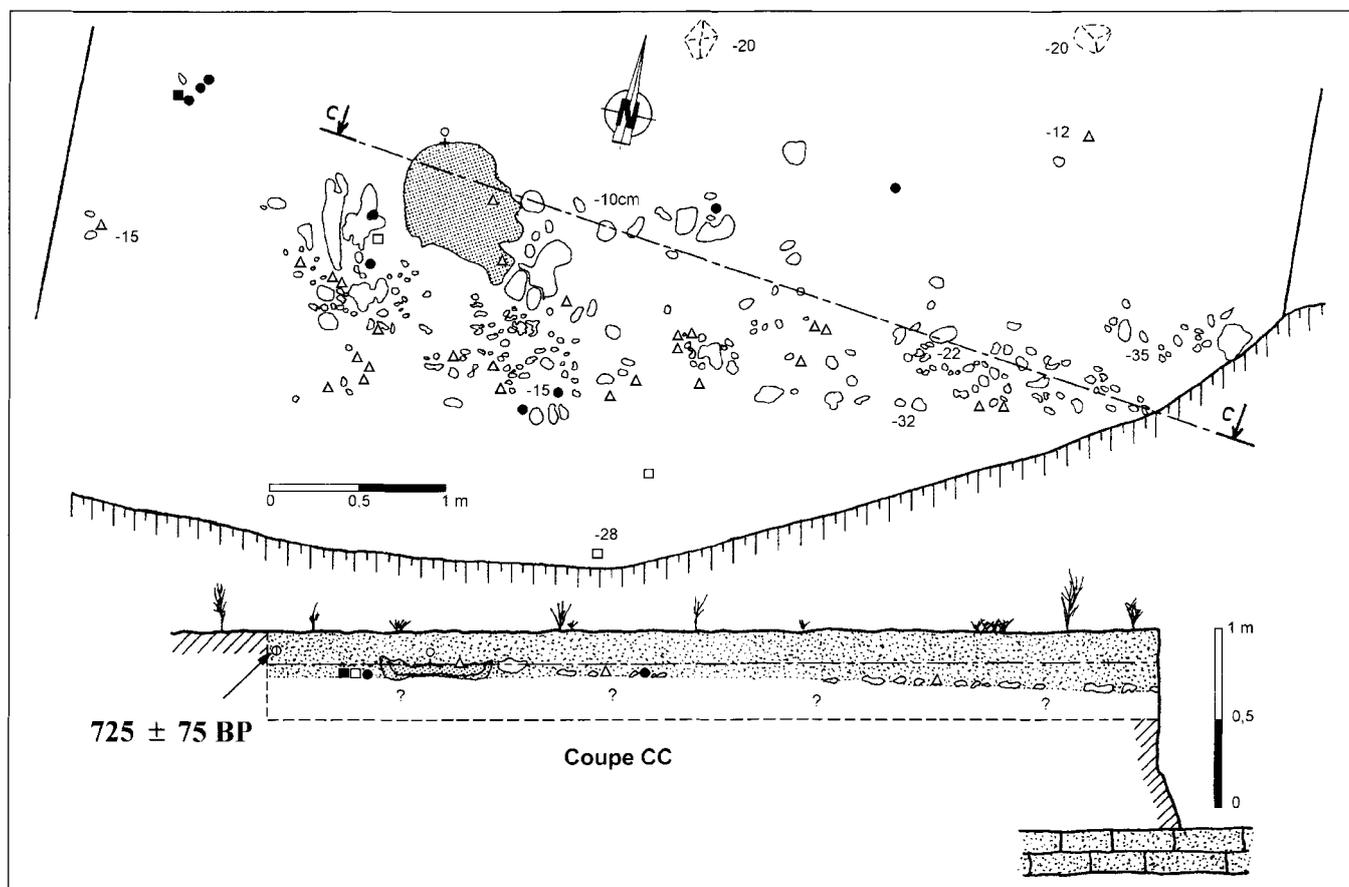


Fig. 13. Répartition des vestiges du niveau supérieur de la zone B (se reporter à la légende de la fig. 12).

devaient par conséquent se déposer à la latitude de Koussané, voire plus au sud. Aux alentours des débuts de l'ère chrétienne, l'aridité s'étend au bassin du Sénégal (Dupuy *et al.*, 1995). Les habitats de hauteur répartis dans les vallées occidentales du massif de Bafoulabé et, parallèlement, les nombreux villages perchés le long des Dhars mauritaniens situés 400 km plus au nord (Amblard-Pison, 1999), sont abandonnés par suite vraisemblablement de problèmes d'approvisionnement en eau. À cette même époque et sensiblement aux mêmes latitudes, les berges et les bourrelets alluviaux des moyennes vallées du Sénégal (Bocoum, 1986; McIntosh *et al.*, 1992; McIntosh et Bocoum, 2000) et du Niger (McIntosh *et al.*, 1994; Rimbault et Sanogo, 1991; Bedaux *et al.*, 1978), demeurés jusque-là inondables, commencent à être occupés par des groupes qui désormais possèdent des objets en fer ainsi que le révèlent les données des fouilles archéologiques. Mais revenons plus précisément à la fouille de Koussané.

Les vestiges du niveau supérieur

Un décapage horizontal de 35 mètres carrés est réalisé à l'aplomb des scories prises en stratigraphie sur la ravine du gisement la plus méridionale. Pour la commodité de l'exposé, cette aire de fouille est appelée «zone A» (Fig. 12). La zone adjacente baptisée «zone B» distante de 14 m de la zone A, est fouillée suivant la même méthode mais sur une surface plus restreinte de 20 mètres carrés (Fig. 13).

Les premiers vestiges se situent 30 à 50 cm sous la surface du sol actuel. Ceux de la zone A se répartissent pratiquement à l'horizontale à la différence de ceux de la zone B qui, eux, suivent une pente ouest-est de l'ordre de 2%. L'unique charbon qu'ait livré la zone B, est découvert 10 cm au dessus du niveau d'apparition des premiers vestiges (Fig. 13). Celui-ci a fourni un âge radiocarbone de 725 ± 75 BP (Ly-7123), soit après correction dendrochronologique un âge compris entre 1140 et 1400 ap. J.-C. dans un intervalle de confiance de 95% (cette convention de notation est adoptée pour les cinq autres âges radiocarbones sur charbons fournis par le gisement et présentés ci-dessous). Des esquilles charbonneuses apparaissent groupées dans la zone A juste au dessus de la sco-

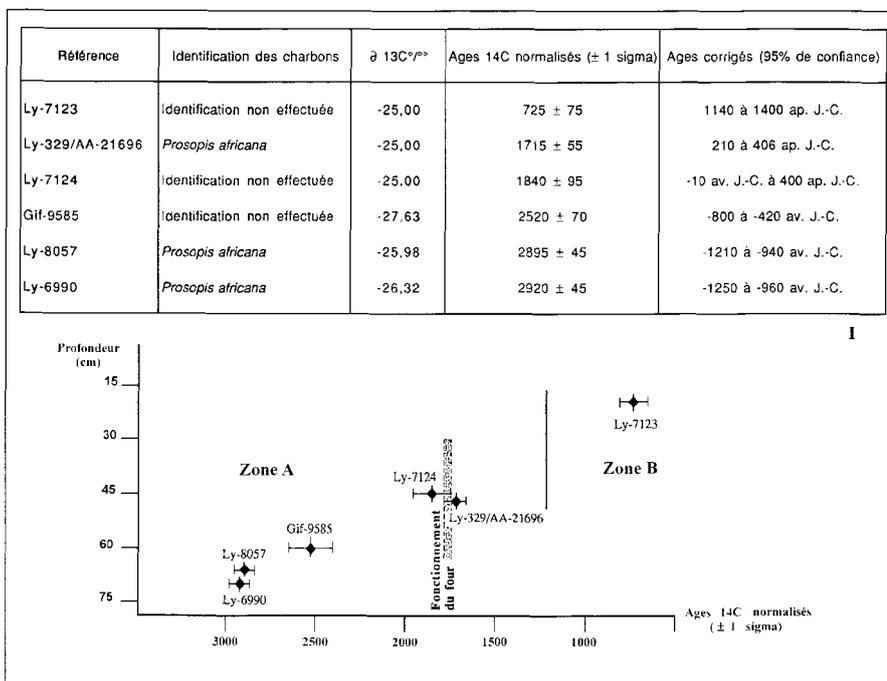


Tableau I. Résultats des datations radiométriques sur charbons de bois. Les datations Ly-6990, Ly-7123 et Ly-7124 sont exprimées en années réelles par l'utilisation des courbes de corrections dendrochronologiques publiées en 1986 dans la revue Radiocarbon (Vol 28, n°2B); les datations Gif-9585, Ly-8057 et Ly-329/AA-21696 le sont par l'utilisation de celles publiées en 1993 dans la revue Radiocarbon (Vol 35, n°1).

Fig. 14. Position en profondeur des charbons en fonction de leur âge radiocarbone (BP).

rie la plus volumineuse du gisement (Fig. 12). Leur datation 14C a donné 1840 \pm 95BP (Ly-7124), soit un âge réel compris entre 10 av. J.-C. et 400 ap. J.-C.

Dans la zone A comme dans la zone B, le premier niveau de vestiges est constitué de scories volumineuses et massives, groupées sur quelques mètres carrés, montrant des surfaces variées: moulées en arc de cercle, déchiquetées, granuleuses, fracturées. La plus grosse d'entre elles pèse autour de 30 kg. Divers vestiges de taille réduite apparaissent disséminés à l'entour de ces blocs. Ils consistent:

- en des scories grises ayant l'aspect de gouttelettes ou de pendeloques informes, de tailles centimétrique à décimétrique ou bien apparaissant déchiquetées et plus ou moins vacuolaires (47 d'une masse totale estimée à 5 kg sont mises au jour dans la zone A, quatre fois plus dans la zone B),
- en des fragments de tuyères blanchâtres ou rubéfiés et parfois totalement ou partiellement scoriacés et vitrifiés (plus de 70 sont découverts dans la zone A contre seulement 26 dans la zone B),
- en des cailloux anguleux de 2 à 5 cm de côté dont la texture granuleuse fait penser à du grès (20 dans la zone A et 9 dans la zone B). Plusieurs de ces cailloux montrent des faces scoriacées. D'autres sont fissurés par suite d'une forte exposition à la chaleur. Certains reposent sur les scories volumineuses du gisement. Tous sont attirés par l'aimant. Ces observations nous conduisent à les identifier à un minerai ferromagnétique.

La présence de scories denses et massives au côté de ce minerai concassé, plutôt bien calibré et en partie réduit, permet d'ores et déjà d'associer les vestiges métallurgiques du gisement à une ou plusieurs opérations d'extraction du fer selon la filière de réduction directe du minerai en bas fourneaux (Fluzin *et al.*, 1995 et 2000; Serneels 1993 et 1998). L'absence de petites scories en calotte et de battitures exclut un travail associé d'épuration et/ou de forge dans les périmètres de fouille.

Figurent également parmi les vestiges du niveau supérieur de la zone A, une vingtaine de tessons d'épaisseur millimétrique portant quatre types de décors imprimés, quelques éclats de quartz, d'argilite, de grès et un tranchant non émoussé en argilite. La fouille dans cette même zone permet aussi la mise au jour de matériaux à base d'argile étalés sur trois mètres carrés (Fig. 12). Cette nappe de vestiges est découpée dans sa plus grande longueur par le front d'érosion. Une grande partie de ses matériaux constitutifs a donc été emportée par le ruissellement. Ce qu'il en reste est attaché en partie haute à deux scories volumineuses. Le démantèlement de cette structure à la fouille a révélé des fragments de colombins de 4 cm de diamètre, des morceaux de tuyères en partie

scoriacées et vitrifiées et des galettes d'argile d'épaisseur centimétrique présentant une surface bosselée et une surface opposée lisse, probablement produite par desquamation de l'argile sous l'effet de la chaleur. Aucun vestige de ce type n'a été mis au jour dans la zone B.

La fouille n'a révélé aucune trace d'habitat, pas même un seul trou de poteau. Cette absence peut tenir au sédiment meuble du gisement qui se prête mal à la préservation des structures en creux, à moins que les métallurgistes aient travaillé en plein air et à ciel ouvert.

Après relevé sur films transparents de la répartition des divers vestiges répertoriés, nous décidons de recouvrir du sédiment qui au départ les masquait, ceux de la zone B dans la perspective d'une étude avenir *in situ* associée à des mesures de radioactivité du milieu d'enfouissement, préalable indispensable à des datations par thermoluminescence.

Le matériel de la zone A, à l'exception des scories de petite taille que nous avons abandonnées sur place, est récolté pour des examens plus détaillés en laboratoire. La masse des scories prélevées approche les 90 kg. Comme cela a déjà été précisé plus haut, le bloc le plus volumineux pèse autour de 30 kg. Celui-ci s'est disloqué en quatre gros morceaux lors du prélèvement. Deux plaques d'argile rouge en partie vitrifiées et mêlées à du sédiment cendreuse sont apparues à son contact. En revanche, le lœss sous-jacent aux trois grosses scories voisines situées au même niveau que ce bloc, lui, n'incorpore ni cendre ni fragment de terre cuite. Un gros charbon apparaît à proximité immédiate et à la base des scories volumineuses (Fig. 12). Celui-ci a fourni l'âge radiocarbone de 2520±70BP (Gif-9585), soit un âge réel compris entre -800 et -420 av. J.-C.

Le matériel sous-jacent

Le matériel sous-jacent au premier niveau de vestiges mis au jour sur la zone A ne comprend aucun élément qui puisse être associé à une activité métallurgique. Il se répartit de façon aléatoire dans 20 à 40 cm de sol. Près de 300 tessons très petits et d'épaisseur millimétrique (43% d'entre eux montrent des surfaces usées et des cassures érodées) parmi lesquels figurent 46 fragments de bords, une cinquantaine d'éclats de quartz et d'argilite, une quinzaine de fragments de grès présentant des surfaces polies et des angles émoussés, quatre morceaux d'une meule en granite incomplète, deux tranchants et un talon de haches ou herminettes en pierre étaient intégrés, épars, dans ces 20 à 40 cm. Les quatre types de décors imprimés, observés sur les tessons du niveau supérieur, se retrouvent appliqués sur les tessons sous-jacents; ces derniers offrant une gamme de décors plus étendue. Les tentatives de remontage se sont avérées infructueuses. Des charbons de taille centimétrique associés en partie basse à ces tessons, apparaissent groupés une dizaine de mètres à l'est de la scorie la plus volumineuse du gisement (Fig. 12). L'analyse anthracologique révèle qu'il s'agit de *Prosopis africana*, une espèce à fort pouvoir calorifique prisée des métallurgistes de l'Afrique de l'Ouest (Echard, 1983; Huysecom, 1996; Levy-Luxereau, 1983; Seignobos, 1991). Deux charbons situés à un mètre de distance ont fourni les âges de 2920±45BP (Ly-6990) et 2895±45BP (Ly-8057), soit un âge moyen compris entre -1230 et -950 av. J.-C.

Les résultats des datations sur charbons ajoutés à l'apparement typologique des tessons du niveau supérieur avec ceux sous-jacents et à leur conservation identique (un article entièrement consacré à l'étude de ces tessons est en préparation), engagent à deux hypothèses:

- soit l'ensemble du matériel récolté a appartenu aux métallurgistes et les charbons de *Prosopis africana* mis au jour comptent parmi les résidus de leur activité,

- soit ces charbons de *Prosopis africana* et le matériel lithique et céramique dans la même position stratigraphique étaient déjà intégrés dans le sol sur lequel se sont installés les métallurgistes. Dans ce cas, leur venue se situerait entre 2910BP (âge des charbons de *Prosopis africana* du niveau bas) et 1840BP (âge fourni par les esquilles charbonneuses retrouvées sus-jacentes à la scorie la plus volumineuse de la zone A), peut-être aux alentours de 2520BP (âge du charbon prélevé au voisinage immédiat et à la base des scories volumineuses de la zone A).

Afin de se prononcer en faveur de l'une ou l'autre de ces possibilités, plusieurs scories ont été broyées avec l'espoir de trouver d'éventuels

Minerai Koussané

n° CRPG	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	P.F.	Total %
1872	38,34	0,75	61,52	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,03	0,14	-0,82	100,1
2188	21,57	1,10	76,44	0,01	0,19	0,11	0,03	0,04	0,05	0,04	-0,57	99,01

II

n° CRPG	1872	2188	n° CRPG	1872	2188
As	n. d.	4,49	Nb	2,53	1,61
Ba	7,93	57,1	Nd	n. d.	13,1
Be	0,29	1,14	Ni	5,49	10,5
Bi	n. d.	traces	Pb	n. d.	2,68
Cd	n. d.	traces	Pr	n. d.	3,89
Ce	n. d.	22,1	Rb	0,66	1,03
Co	0,72	0,9	Sb	n. d.	1,57
Cr	44,2	42,6	Sm	n. d.	2,26
Cs	n. d.	0,12	Sn	n. d.	traces
Cu	12,3	10,7	Sr	1,17	5,7
Dy	n. d.	1,42	Ta	n. d.	0,08
Er	n. d.	0,73	Tb	n. d.	0,23
Eu	n. d.	0,51	Th	10	6,64
Ga	1,6	2,89	Tm	n. d.	0,1
Gd	n. d.	1,71	U	n. d.	1,39
Ge	n. d.	17,3	V	n. d.	52,4
Hf	n. d.	1,18	W	n. d.	2,12
Ho	n. d.	0,25	Y	63,5	4,54
In	n. d.	traces	Yb	n. d.	0,88
La	n. d.	12,6	Zn	4,22	traces
Lu	n. d.	0,1	Zr	122	93,4
Mo	n. d.	5,1			



III

Tableau II. Éléments chimiques majeurs en % contenus dans le minerai (P.F. = pertes au feu).

Tableau III. Éléments traces en ppm contenus dans le minerai (n.d. = non détecté).

Fig. 15. Minerai.

charbons prisonniers. Par chance l'une d'elles renfermait deux petits charbons. Un seul a pu être identifié: il s'agit de *Prosopis africana*. Nous avons fait soumettre ces petits charbons à une datation par accélérateur. Cette datation SMA a fourni l'âge de 1715±55BP (Ly-329/AA-21696), soit 210 à 460 ap. J.-C. Un constat s'impose ici: les âges radiocarbone obtenus s'accordent avec la position en profondeur des charbons mis au jour (Tabl. I et fig. 14).

L'occupation de Koussané depuis le 1er millénaire av. J.-C.

La chrono-stratigraphie du gisement, par sa cohérence, témoigne d'une histoire qui peut se résumer ainsi. À l'aube ou au début du 1^{er} millénaire av. J.-C., les lœss en pente douce dominant le village actuel de Koussané sont occupés au moins épisodiquement par des groupes qui utilisent des poteries à parois fines et un matériel lithique comprenant, entre autres outils, quelques haches ou herminettes de petite taille. Les piétinements conjugués au ruissellement ont pu causer le fractionnement et la dispersion de ce mobilier qui fut peut-être abandonné à l'entour ou à l'intérieur d'habitations en matériaux périssables. Toutefois les observations faites par R. Bedaux (1988) en pays dogon suggèrent une autre hypothèse.

Les Dogon sont des cultivateurs de mil qui élèvent quelques chèvres et poules. Les tessons issus du bris des poteries, notamment ceux de petite taille, sont régulièrement jetés sur les tas de fumier au voisinage des habitations. La fumure des champs autour des villages entraîne leur dispersion dans les sols meubles et sablonneux, favorables à la culture du mil. La répartition spatiale et la conservation des tessons mis au jour à Koussané s'avèrent comparables à celles des tessons disséminés dans les champs des Dogon; ce qui par là-même suggère une pratique de la fumure à Koussané au cours du 1^{er} millénaire av. J.-C. en périphérie d'un village dont l'emplacement reste à découvrir.

Puis, à un moment ou à un autre entre les 2^e-3^e siècles ap. J.-C., des métallurgistes, peut-être itinérants, s'installent sur ce terrain anciennement habité et/ou cultivé. Le *Prosopis africana* qu'ils utilisent comme combustible pour réduire leur minerai, n'est pas tiré d'une vieille souche d'arbre. Du bois abattu ou mort depuis peu est utilisé puisqu'une fois leur activité terminée, la plus volumineuse des scories produites est recouverte par du sédiment et des esquilles charbonneuses qui accusent sensiblement le même âge que les deux petits charbons retrouvés inclus en son sein. Une fois l'opération sidérurgique terminée,

les vestiges de petite taille sont dispersés sous les effets peut-être conjugués de l'érosion et des passages répétitifs des hommes et des animaux. A la suite de quoi, le site jamais réoccupé, sera recouvert, au cours des siècles, par des poussières éoliennes et des colluvions.

Les habitants de Koussané cultivent aujourd'hui ces loëss en pente douce. Ainsi régulièrement mis à nu, ceux-ci sont découpés et emportés par les ruissellements à chaque saison des pluies. Si l'érosion linéaire et la déflation actuelles se poursuivent, les vestiges métallurgiques demeurant sous les sédiments, se présenteront demain en surface. Les résultats radiométriques présentés ci-dessus, montrent que la seule manière de déterminer leur âge consistera alors à extraire les charbons susceptibles d'être inclus dans des scories.

Reste posée la question de l'âge des vestiges métallurgiques que nous avons mis au jour puis recouverts dans la zone B. Leur position stratigraphique semblable à ceux de la zone A, alliée à l'aspect comparable des scories, du minerai et des tuyères, jouent en faveur de l'hypothèse de contemporanéité. Les distributions des scories apparaissent toutefois très différentes: celles de la zone A se répartissent horizontalement tandis que celles de petite taille de la zone B suivent une pente de 2% sans qu'aucune d'elles ne montre de cordons caractéristiques d'un écoulement orienté ni ne se présente sous la forme de plaques. Ces différences de répartition pourraient témoigner de conduites métallurgiques distinctes sur des sols qui n'offraient pas les mêmes profils, à moins qu'elles ne résultent de modes de prélèvement et de traitements différents des éponges de fer à l'issue des réductions. Seule la reprise des fouilles dans la zone B pourrait aider à nous prononcer. En attendant, l'étude en laboratoire des vestiges récoltés va nous permettre de préciser l'activité sidérurgique s'étant déroulée sur la zone A au début de l'ère chrétienne.

II.2 L'activité métallurgique (C.D., P.F., A.P.)

Le minerai

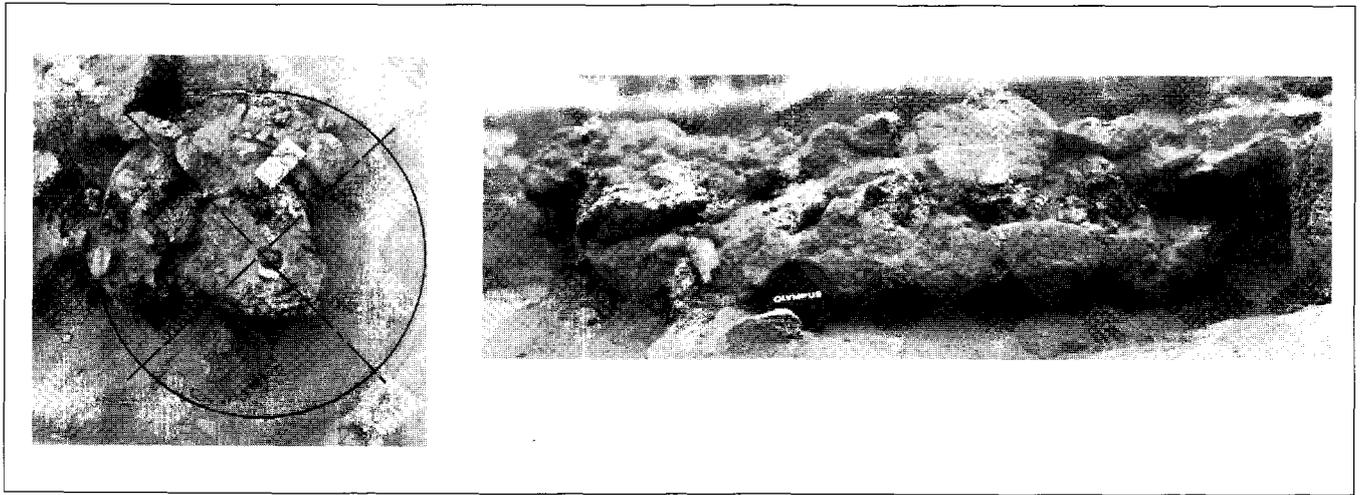
Comme tous les vestiges de petite taille du niveau supérieur de la zone A, le minerai se trouve dispersé sur un plan horizontal se raccordant en partie haute aux scories massives du gisement. Il se présente sous la forme de polyèdres de 2 à 5 cm de côté (Fig. 15). Quelques faces scoriacées, d'autres fissurées par thermoclastie, ont permis son identification. Tous les fragments récoltés sont attirés par l'aimant. Cette propriété sous-tend la présence de magnétite ou de maghémite, deux minéraux ferrifères qui se trouvent à l'état naturel dans les roches ou bien se forment à basse température par réduction de l'hématite, de la goëthite ou de la lépidocrocite, autres oxydes de fer contenus dans les minerais.

Nous n'avons retrouvé ni bloc ni petit éclat de minerai. Sa préparation en gravier par concassage mécanique et/ou par éclatement au feu, s'est donc effectuée en dehors de la zone fouillée, peut-être sur le lieu même d'extraction qui reste à découvrir. À en juger par sa texture granuleuse, ce minerai semble provenir des séries gréseuses que l'on voit affleurer autour de Koussané plutôt que de la cuirasse riche en hydroxyde de fer ou de la latérite à conglomérats adhérent çà et là aux grès. Les pisolithes ferrugineux gisant à même le sol, issus du démantèlement de ces encroûtements, ne paraissent pas non plus avoir été exploités par les métallurgistes des 2^e-3^e siècles ap. J.-C.

Des analyses chimiques par spectrométrie d'émission ont été réalisées sur deux morceaux de minerai (tabl. II et tabl. III). En plus d'une hétérogénéité de composition, ces analyses révèlent un minerai riche en silice (10 à 18%) avec des teneurs en fer comprises entre 43 et 54%. La proportion non négligeable de Zr alliée aux faibles teneurs en Al₂O₃ et Be, confirment l'origine gréseuse du minerai suggérée plus haut par sa texture granuleuse.

Le combustible

Le fragment de charbon de bois retrouvé inclus dans de la scorie et identifié à du *Prosopis africana*, constitue le seul témoin direct à ce sujet. On ne peut exclure sur la base de cette unique identification, l'utili-



sation d'autres espèces. Signalons simplement que le *Prosopis africana* est un arbre réputé du Sénégal à l'Éthiopie pour le pouvoir calorifique élevé de son charbon. Celui-ci permet d'atteindre des températures de 950°C à 1450°C. Cet arbre pousse essentiellement sur les sols sablo-argileux au dessus de la latérite (Maydell, 1983). Ce type de sol prédomine autour de Koussané. Aussi le *Prosopis africana* devait-il être particulièrement bien représenté à cet endroit et, plus ouvertement, tout le long de l'escarpement de Beredj Kourou. Sa surexploitation explique sa disparition du secteur.

Des cavités ouvertes identifiables à des empreintes de charbons de bois s'observent sur la face inférieure de la scorie étudiée ci-dessous. Ces moulages en négatif suggèrent que le combustible utilisé par les métallurgistes consistait en du charbon plutôt qu'en du bois mort. Si notre interprétation est correcte, le charbon enfourné était sensiblement du même calibre que le minerai.

Le fond de four

Le bloc de scorie le plus volumineux retrouvé dans la zone A supportait un morceau de minerai, quelques petites scories et des fragments de tuyères (Fig. 16). Vu de dessus, ce bloc épouse une génératrice courbe s'inscrivant dans un cercle de 70 à 75 cm de diamètre et s'arrêtant sur deux plans de fracture abrupts. Ce contour en portion de cercle résulte vraisemblablement de l'amputation aux deux tiers d'une scorie dont le plan de base initial était circulaire. La surface supérieure est déchiquetée et, fait singulier au regard des autres scories du gisement, elle intègre un embout de tuyère à 60°. Vue de côté, cette scorie offre un profil cylindrique sur une hauteur de 10 à 15 cm et un fond légèrement hémisphérique. Des cordons lisses, étroits, entrelacés et soudés déterminent l'aspect moulé de son contour. La surface inférieure est accidentée à la verticale de la tuyère et bosselée ou lisse par ailleurs. Des empreintes de tiges végétales entrecroisées s'observent par endroit.

Ces caractères engagent à identifier ce bloc au tiers restant d'une scorie qui se serait écoulee puis solidifiée dans un fond de four aménagé en cuvette à même le sol. Les empreintes de tiges végétales donnent à penser qu'avant son chargement en charbon de bois et en minerai de fer, le four en question avait été rempli de brindilles et/ou de paille. Ce bourrage végétal visait probablement à résister au poids de la charge et à permettre ainsi l'écoulement de la scorie dans un fond de four excavé à l'espace progressivement rendu libre par consommation lente des végétaux. L'absence de feuilletage dans l'épaisseur du bloc de scorie obtenu témoigne, en outre, d'un écoulement continu réalisé au cours d'une seule et même opération sidérurgique.

Aucune cerne de rubéfaction, témoin d'une forte exposition du sol à la chaleur, n'a été observée au contact de cette scorie. Cette absence pourrait constituer un argument contre l'hypothèse d'un fond de four en place formulée ci-dessus. On peut toutefois se demander si le lœss de Koussané, au vu de son faible pourcentage d'argile (12%) et de sa couleur initiale rouge, se prête à un tel enregistrement. Quant aux deux

Fig. 16. Le bloc de scorie le plus volumineux mis au jour sur la zone A intégrant un embout de tuyère à 60°: vue de dessus à gauche et vue de côté à droite.

plaques d'argile rouge vitrifiée retrouvées mêlées à de la cendre sous cette scorie (aucune poche cendreuse, ni aucun fragment de terre cuite, rappelons-le, n'a été mis au jour ailleurs sur la zone A), elles peuvent représenter les restes d'objets en terre déposés à des fins rituelles dans le fond de four comme cela se pratiquait et se pratique encore à l'occasion de réductions dans diverses régions de l'Afrique sub-tropicale (Cellis, 1991; Schmidt, 1997). Mais une autre explication est envisageable. La fouille aux pinceaux a révélé au sein même du loess quelques passages argileux indurés. En supposant qu'une telle hétérogénéité de composition pré-existait dans le fond de four, le sédiment argileux présent dans les zones les plus chaudes de la fosse, a pu être cuit et vitrifié au cours de la réduction.

Des examens métallographiques ont été effectués sur le morceau de scorie intégrant l'embout de tuyère à 60° afin de valider ces hypothèses et pour éventuellement préciser la marche du four.

À l'échelle macroscopique, la section analysée révèle une compacité homogène (**Pl. D**). Aucune porosité ne s'observe au voisinage de la tuyère. Celles en partie basse et en partie haute de la scorie sont éparées, ovoïdes et de petites tailles. Quelques unes ont des dimensions plus importantes. Aucune ne montre de déformation caractéristique d'une solidification en mouvement. La surface inférieure de faible convexité n'incorpore aucun grain de sable. Les cavités ouvertes qui la composent, représentent vraisemblablement des empreintes de charbons de bois. Du métal apparaît en blanc à 10 cm de l'axe de la tuyère en partie haute de la scorie, précisément dans le flux d'air amené par elle, à proximité de porosités et de fragments de charbons ayant joué le rôle de puits de diffusion de gaz réducteur. Une éponge de fer a dû logiquement se constituer dans cette partie. De fait, la tuyère à 60° paraît bien dans sa position originelle. Autrement dit, ce qu'il en reste ne peut correspondre à une chute d'embout accidentelle au cours ou à la fin de la réduction. L'examen micrographique ne révèle aucune réoxydation périphérique au niveau des fragments de métal (**Pl. E**). Ceux-ci sont en cours de densification dans une matrice fayalitique entourée de nombreux globules de wustite; laquelle wustite ne se présente jamais sous la forme de dendrite caractéristique d'une cristallisation rapide sous l'effet d'une vitesse de refroidissement élevée. Les grandes aiguilles de fayalite dans l'axe de la tuyère impliquent, d'autre part, des températures élevées. Cette observation sous-tend, ici encore, que l'embout pris à 60° est bien dans sa position originelle et, d'autre part, qu'il n'a pas bougé tout au long du refroidissement.

La scorie analysée présente un ensemble de caractères typiques des fonds de fours de réduction. Les examens métallographiques viennent ainsi conforter les constats et déductions archéologiques. Mais là n'est pas leur seul intérêt. En effet, ces examens permettent aussi de préciser la marche du four. Par son inclinaison à 60° de haut en bas vers le centre de la fosse, la tuyère a favorisé la formation d'une éponge de fer en partie haute de la scorie. Après un refroidissement lent, le fond de four a dû être brisé puis disloqué aux deux tiers pour permettre le prélèvement du métal. Étant donné que le fragment de scorie demeuré en place dans la fosse pèse à peu près 30 kg, on peut estimer trois fois plus importante, soit autour de 90 kg, la masse de scorie obtenue à l'issue de la réduction.

Les fragments de scorie associés au fond de four

Trois gros fragments de scorie apparaissent groupés à proximité immédiate du fond de four (Fig. 12). Deux se situent à l'ouest des faces fracturées du bloc demeuré dans le fond de four, autrement-dit à l'opposé de son contour moulé en arc de cercle. Le troisième est déporté 1 m vers le sud. Ces trois déchets sidérurgiques reposent au même niveau que le fond de four. Par conséquent, aucun fragment ne peut constituer la partie écoulée par gravité de ses voisins. L'absence généralisée de cordons orientés en surface externe renforce cette hypothèse. La face supérieure de ces trois résidus est accidentée, voire déchiquetée. Les faces opposées sont bosselées et portent, par endroit, des empreintes de tiges végétales. Certains contours offrent un aspect moulé. Leur épaisseur maximum vaut 15 cm. Leur masse cumulée s'établit autour de 50 kg.

La morphologie de ces fragments apparaît donc semblable à celle du bloc demeuré dans le fond de four avoisinant. Leur position conjuguée à leur masse sensiblement égale à deux fois celle de la scorie en portion de cercle amputée aux deux tiers, nous incitent à les identifier aux principaux fragments manquants du fond de four. Malheureusement nous avons broyé ces résidus à la recherche de charbons avant même d'avoir tenté des remontages. Précisons toutefois que si la scorie piégée dans le fond de four a été brisée alors qu'elle était encore malléable, il n'est pas sûr que les fragments en question aient pu être réassemblés eu égard aux déformations plastiques induites lors de leur dislocation à chaud.

Des examens métallographiques ont été réalisés sur le plus petit de ces trois fragments (**Pl. F**), d'une part, pour confirmer ou infirmer son histoire métallurgique supposée commune avec le bloc demeuré en place dans le fond de four et, d'autre part, parce que ce spécimen à la différence de ces voisins montrait une cassure franche à éclat métallique vermeil unique, faisant soupçonner la présence sous-jacente de métal.

À l'échelle macroscopique, la section analysée révèle une compacité homogène avec une distribution assez aléatoire des porosités aux dimensions comprises entre 2 et 3 mm (**Pl. F**). Quelques unes atteignent 15 mm. Toutes sont ovoïdes. Aucune de ces porosités ne montre de déformation caractéristique d'une solidification en mouvement. La face moulée incorpore de nombreux grains de sable. Aucun fragment de charbon de bois n'apparaît sur le plan de coupe. L'examen micrographique révèle une très grande pauvreté en éléments métalliques. Cette observation infirme par conséquent l'hypothèse de métal sous-jacent. Les fragments observés sont sphériques, de petite dimension (30 à 40 μm) et en cohésion avec la matrice (**Pl. F**). Ils apparaissent isolés et distribués de façon aléatoire. Certains d'entre eux sont localisés à proximité de porosités ayant joué le rôle de puits de diffusion de gaz réducteur, sans être organisés suivant le faciès d'alignements concentriques. Une telle morphologie est souvent associée à des températures élevées obtenues à proximité de tuyères. Aucun fragment de métal ne présente de réoxydation périphérique. La matrice essentiellement fayalitique comporte de nombreux globules de wustite; laquelle wustite ne se présente jamais sous la forme de dendrite caractéristique d'une vitesse de refroidissement élevée.

Sur un plan général, ces observations rapprochent ce spécimen des fonds de four de réduction. De manière plus particulière, les similitudes macro- et microstructurales qui s'établissent avec la scorie examinée plus haut (**Pl. D et E**) tendent à confirmer l'hypothèse de résidus qui se seraient formés simultanément dans un seul et même fond de four. L'absence de charbon de bois dans le fragment analysé, sa quasi-absence dans les résidus voisins que nous avons broyés ainsi que dans le bloc intégrant l'embout de tuyère à 60°, l'homogénéité des matrices silicatées, tous ces éléments associés témoignent d'une combustion bien contrôlée, c'est-à-dire d'une bonne adéquation entre le débit d'air et la vitesse de descente de la charge à l'intérieur de la cuve. Ces déductions nous amènent logiquement à la ventilation et à la construction en élévation ou superstructure.

Mais au préalable, une précision s'impose au sujet des petites scories plus ou moins denses mises au jour sur la zone A. Nous regrettons aujourd'hui de les avoir abandonnées sur le site. À l'époque de leur découverte, l'intérêt de ces vestiges de taille réduite nous échappait. À défaut d'analyses en laboratoire, nous pouvons seulement émettre aujourd'hui quelques hypothèses à leur sujet. Celles en gouttelettes ou en pendeloques informes pourraient correspondre à des scories écoulées dans le bas fourneau ou à des agglomérations de fragments de minerai incomplètement réduit (Dunikowski et Cabboi, 1995; Leroy et Merluzzo, 1998). Celles à l'aspect déchiqueté ont pu être produites, quant à elles, lors du prélèvement de l'éponge de fer brut obtenue, voire lors de son dégrossissage et compactage, à supposer que ces deux opérations aient été réalisées sur le lieu même de la réduction. Ces petits résidus devaient alors incorporer des fragments de métal (Mangin *et al.*, 2000).

La ventilation

Quelques 70 morceaux de tuyères pesant au total 7 kg ont été retrouvés dispersés au côté du minerai sur le sol dans lequel fut creusé le fond de

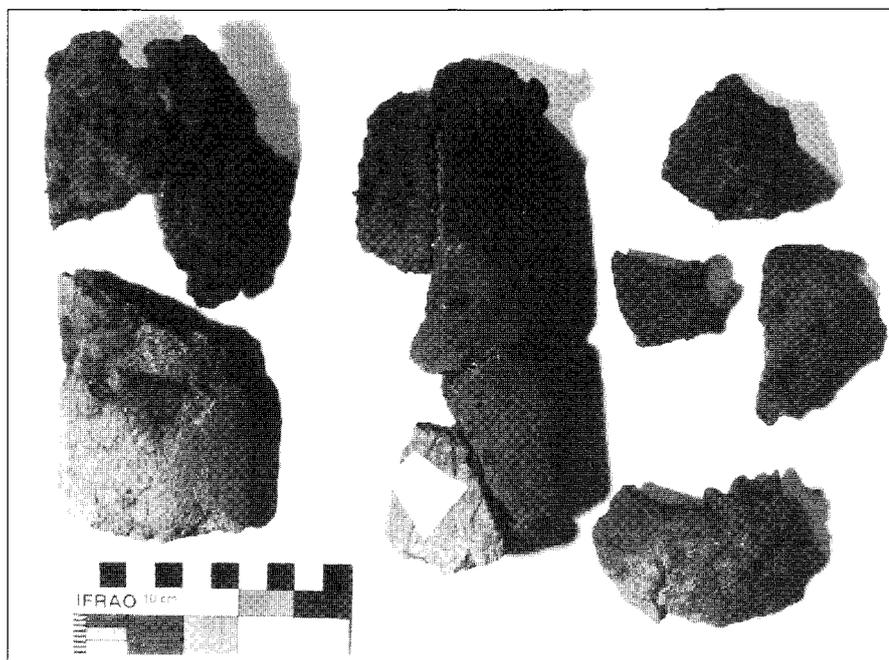


Fig. 17. Les six fragments d'embouts mis au jour associés à une proximité d'embout en partie vitrifiée et scoriacée.

four. Aucun de ces fragments ne se superpose dans l'épaisseur du loess. Cette absence de recouvrement plaide en faveur de leur rattachement à un même four plutôt qu'à plusieurs fours voisins que le ravinement aurait fait disparaître, à l'exception de quelques fragments de tuyères associés qui seraient demeurés sur l'aire de fouille.

Tous les conduits mis au jour furent réalisés à partir d'une même argile, laquelle avait été mélangée à de la paille comme le montrent les empreintes de tiges végétales en surfaces externe et interne ainsi que les canalicules dans l'épaisseur. Ces caractères s'observent aussi sur l'embout pris à 60° dans le fond de four. Le pisé obtenu fut ensuite modelé autour d'un noyau circulaire de faible conicité, probablement un long bâton taillé en tronc de cône. Les diamètres extérieurs sont compris entre 70 et 100 mm pour des orifices de 35 à 55 mm (le diamètre intérieur de l'embout pris dans la scorie mesure 50 mm). Les épaisseurs mesurent entre 19 et 31 mm, avec une forte concentration autour de 20 mm.

La fouille a révélé six fragments d'embouts scoriacés que l'on peut rattacher à au moins trois tuyères distinctes (Fig. 17). Les six proximités d'embouts également scoriacés retrouvés à leur entour ne se raccordent ni entre eux ni avec les embouts incomplets. Le résultat des remontages s'avère très décevant puisque seule la moitié d'un conduit scoriacé sur 100 mm et vitrifié sur 170 mm a pu être reconstitué à partir de quatre fragments. Cela implique qu'une proportion importante des conduits a été emportée par l'érosion; les parties insuffisamment cuites ou non cuites ayant, elles, disparues dans les intempéries.

De ces analyses on peut retenir qu'au moins trois tuyères, en plus de celle inclinée à 60° qui assurait un apport d'air en partie basse et centrale du four, ont été utilisées au cours de l'opération de réduction. La disposition de ces dernières est malheureusement impossible à préciser. La nature de la ventilation reste elle aussi inconnue. Celle-ci a pu être réalisée par convection d'air naturelle à l'intérieur de la cuve ou bien être forcée grâce à des soufflets placés devant les tuyères.

La superstructure et le prélèvement de l'éponge de fer

Un dispositif de soutènement d'au moins 60 cm de hauteur s'imposait pour permettre, d'une part, la fixation de la tuyère à 60°, et, d'autre part, le positionnement des autres tuyères ou événements au dessus du sol (Fig. 18). D'un autre côté, les quelques 90 kg de scorie produite (masse estimée plus haut) impliquent un enfournement conséquent de minerai de fer et de charbon de bois. Diverses reconstitutions et expérimentations permettent l'estimation de la charge introduite dans le four (Leroy *et al.*, 2000; Martinelli, 2000). La masse de charbons consommés au cours d'une réduction s'avère toujours au moins égale à celle du minerai ré-

duit. De plus, la masse du minerai réduit est toujours forcément supérieure à la masse de scorie obtenue puisqu'il faut tenir compte dans le bilan matière, d'une part, de la masse de métal récupéré par les métallurgistes et, d'autre part, des pertes de poids induites par les éléments volatils contenus dans le minerai et évacués en fumées. En majorant de 20% la masse de 90 kg de scories, le chargement minimum en minerai et en charbon s'établit autour de 226 kg. En majorant de 50% (valeur qui reste conforme à certaines reconstitutions: voir, par exemple, Martinelli, 2000, et Seignobos, 1991), la valeur passe à 270 kg. Seul un bas fourneau à «colonne» ou à «chambre fermée avec cheminée» chargé par le sommet ou par une (ou plusieurs) ouverture(s) latérale(s), pouvait permettre le traitement d'une telle quantité de matériaux. La hauteur de la superstructure a alors déterminé le nombre de charges successives à moins que le volume intérieur de la cuve ait été suffisant pour permettre un remplissage unique; ce qui paraît peu vraisemblable eu égard à l'importance de la charge estimée ci-dessus. Notons au passage que de simples fosses entourées de tuyères associées à des soufflets, implantées sur un muret, une couronne d'argile ou une poterie hémisphérique renversée, le tout fonctionnant sur le principe du bas foyer, permettent de réduire tout au plus une dizaine de kg de minerai à la fois (Celis, 1991; Seignobos, 1991).

Les vestiges à base d'argile étalés 3 m à l'ouest du fond de four et recoupés, rappelons-le, par le front d'érosion (Fig. 12), constituent probablement les restes de la superstructure sans laquelle 90 kg de scorie n'auraient jamais pu être obtenus au cours d'une opération de réduction directe. Plusieurs éléments jouent en faveur de cette hypothèse, à commencer par les colombins retrouvés intégrés dans cette nappe de vestiges (Fig. 19). L'un d'eux remonté en laboratoire à partir de trois fragments sur une longueur de 10 cm suit une courbure intérieure identique au contour circulaire du fond de four; ce qui suggère que ce colombin avait été modelé pour être posé au dessus de la fosse en cuvette et la circonscrire au plus près (Fig. 20). L'étroite imbrication de ces colombins avec des galettes d'argile d'épaisseur centimétrique en partie desquamées sous l'effet de la chaleur, abonde un peu plus dans le sens de notre hypothèse, et ce d'autant que l'argile utilisée pour le façonnage des colombins et des galettes était la même. Celle-ci, à la différence de l'argile mélangée à de la paille et utilisée pour la confection des tuyères, incorpore du sable grossier et quelques petits galets de quartz. Des morceaux de tuyères en partie scoriacés sont apparus mêlés à ces vestiges, eux mêmes attachés en partie haute à deux des trois scories massives examinées plus haut et identifiées aux fragments manquant de la scorie volumineuse demeurée dans le fond de four tout proche. L'imbrication de ces divers matériaux sous-tend un déplacement simultané de l'ensemble; ce qui par là-même donne à penser que les métallurgistes ont tiré de 2 à 3 m vers l'ouest la construction en élévation, entraînant avec elle quelques fragments de scorie. Si une telle manœuvre fut entreprise, c'est probablement parce qu'aucune ouverture ou embrasure de taille suffisante n'avait été aménagée à la base de la superstructure. De fait, l'éponge de fer ne pouvait être atteinte à partir de l'extérieur de la cuve et extraite du fond du four sans destruction préalable de la superstructure. L'alternative choisie par les métallurgistes, fut non pas de la détruire à l'endroit même de sa construction, mais de la déplacer de deux à trois mètres vers l'ouest. Une fois l'opération réalisée, le fond de four se trouvait à ciel ouvert. La scorie a pu alors être brisée, disloquée et, pour finir, l'éponge de fer récupérée.

La masse de fer produit

Deux analyses chimiques par spectrométrie d'émission ont été réalisées sur la scorie demeurée en place dans le fond de four (tabl. IV et tabl. V); l'une l'a été sur sa partie moulée, dense et verdâtre (échantillon n°2187), l'autre en partie centrale, vacuolaire et grisâtre (échantillon n°2186). La filiation chimique entre le minerai et la scorie, attendue au vu des constats archéologiques et des examens métallographiques, se trouve confirmée par ces analyses. D'une part, les profils des terres rares au comportement lithophile, montrent un bon parallélisme (Fig. 21). D'autre part, les points représentatifs du minerai et de la scorie s'ali-

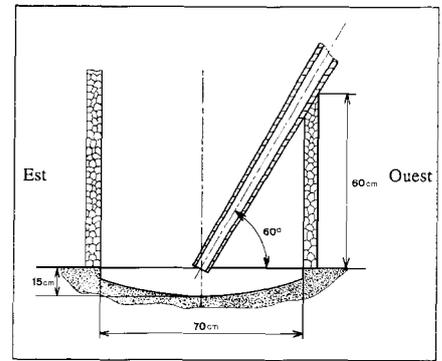


Fig. 18. Hypothèse de reconstitution à partir des données géométriques fournies par la figure 16 (diamètre et profondeur du fond de four), la pl. D (fond hémisphérique et inclinaison à 60° de la tuyère) et la figure 17 (diamètres intérieur et extérieur, épaisseur et conicité des conduits). Pour la commodité du dessin, la structure en élévation est représentée d'un seul tenant, cylindrique et droite. Mais peut-être était-elle voûtée ou tronconique, inclinée et en plusieurs parties? Seule la tuyère traversant à l'oblique le corps du four est représentée. Les autres tuyères ou événements utilisés pour la réduction ne le sont pas car leur emplacement est impossible à établir à partir des données de la fouille.

gnent dans le diagramme triangulaire $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 22). Cet alignement est logique car révélateur de l'appauvrissement de la scorie en Fe_2O_3 total vis-à-vis du minerai dû à la formation de métal et, conjointement, de son enrichissement en SiO_2 (et, dans une moindre mesure, en Al_2O_3) en partie favorisé par des apports d'origines diverses: fusion partielle de la superstructure et des tuyères, sédiment mêlé au charbon de bois ou adhérent au minerai. La scorie s'enrichit aussi en Ba, Ca, Cs, Hf, K, Mg, Rb et Sr, apportés par les cendres de charbon de bois, voire par certains éléments intégrés dans les parois de la superstructure.

Ces analyses permettent en outre une estimation de la masse de fer produit, moyennant plusieurs simplifications. Au niveau du minerai d'abord, nous ne considérons que le spécimen le plus riche en fer (n°2188); l'autre échantillon analysé (n°1872), eu égard à sa forte teneur en silice, s'il avait été traité par le four, n'aurait pas contribué à la formation de fer. D'autre part, notre approche ne tient compte que des trois composants chimiques principaux, à savoir SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 total, renormés à 100%, hors pertes au feu. Cette simplification se justifie par le fait que ces oxydes représentent, à eux seuls, plus de 99% de la masse du minerai et de la scorie (tabl. VI). Les pertes en poids total liés aux éléments volatils du minerai sont négligées, à défaut de pouvoir être évaluées suivant la méthode de V. Serneels (1995) ou bien suivant celle de M. Leroy et P. Merluzzo (1999), deux méthodes qui intègrent un grand nombre d'analyses chimiques et notamment celles des parois des bas fourneaux auxquelles nous n'avons pas procédé. Les récentes expérimentations menées par M. Leroy *et al.* (2000) montrent combien l'estimation de ces pertes est difficile. De nombreux paramètres conditionnent leur valeur: la nature et le calibre du minerai, le préchauffage du bas fourneau, la cadence d'enfournement du minerai de fer et du charbon de bois, la vitesse de descente des charges successives, le débit d'air dans la superstructure et la hauteur de la cuve. Les apports de masse dûs à la cendre de charbon de bois, à la fusion partielle des parois de la cuve et des tuyères et aux ajouts involontaires et/ou volontaires, sont également négligés dans notre bilan, à défaut ici encore de pouvoir être évalués. Autrement dit l'équation en unité de masse que nous retenons pour un bilan matière simplifié est la suivante: minerai réduit = scorie obtenue + fer-métal. Rappelons que l'équation d'un bilan complet s'écrit comme suit : minerai réduit + charbons + ajouts involontaires (et volontaires) = scorie obtenue + fer métal (Ploquin, 1995). En estimant égale à 90 kg la masse de scorie produite dans le fond de four, nous arrivons à 11,5 kg de fer brut (Tabl. VII). Tout ce fer n'a pas forcément été récupéré par les métallurgistes; des fragments de métal ayant pu demeurer prisonnier dans la gangue de scorie. Notons enfin

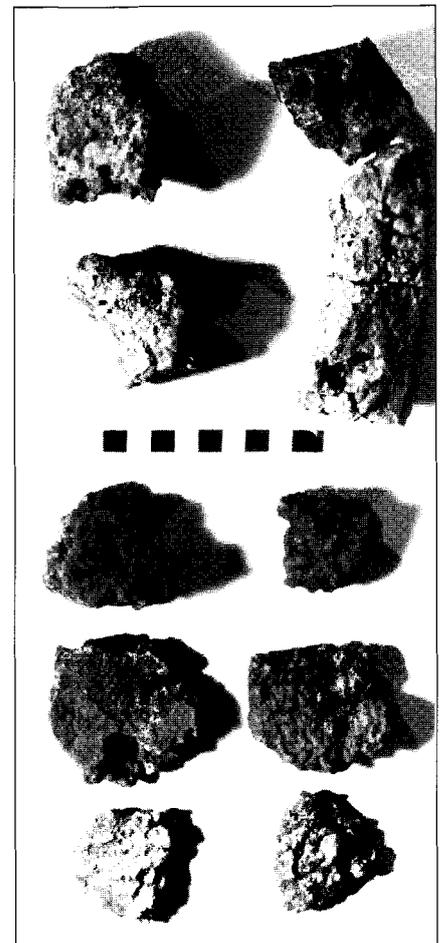


Fig. 19. Colombins et galettes d'argile retrouvés imbriqués et attenants en partie haute à deux des trois blocs de scorie massive du gisement.

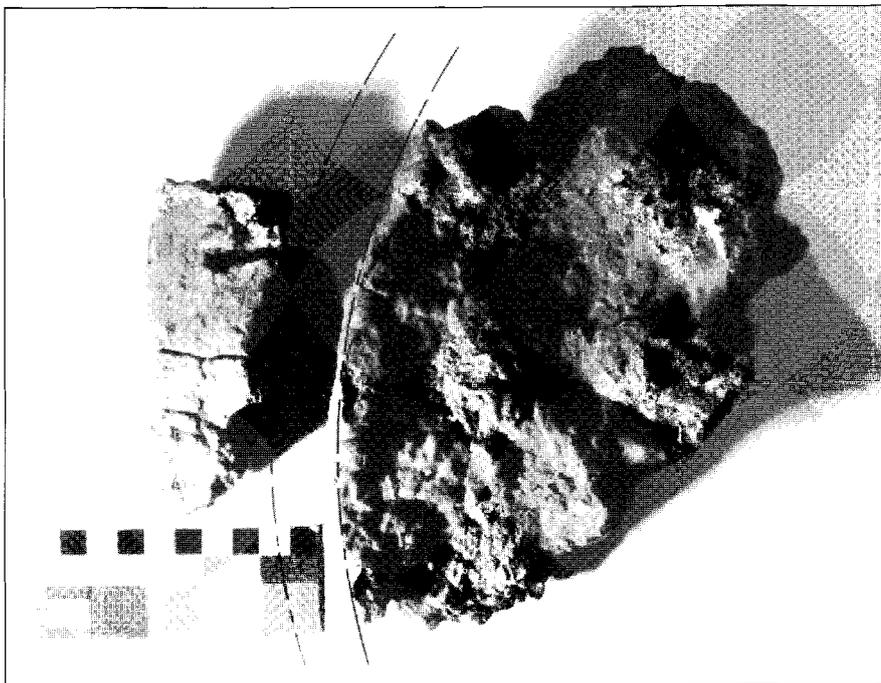


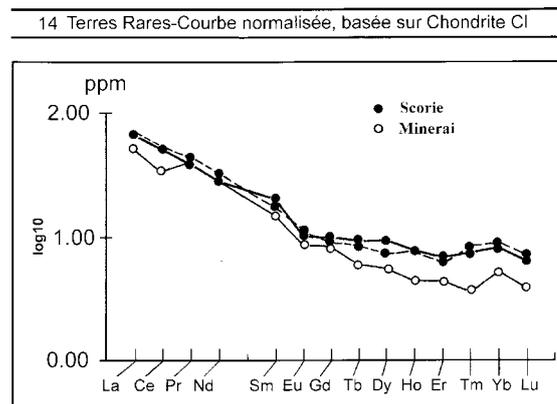
Fig. 20. Colombin et fragment du fond de four épousant deux courbures identiques.

n° CRPG	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	P.F.	Total%
Minerai												
2188	21,57	1,10	76,44	0,01	0,19	0,11	0,03	0,04	0,05	0,04	-0,57	99,01
Scorie												
2186	38,11	3,12	61,68	0,04	0,33	0,89	0,02	0,41	0,16	0,04	-5,01	99,79
2187	39,55	3,23	59,31	0,04	0,3	0,79	0,01	0,4	0,17	0,03	-4,59	99,24

IV

n° CRPG	2188	2186	2187	n° CRPG	2188	2186	2187
As	4,49	1,71	2,09	Nb	1,61	3,58	3,85
Ba	57,1	151	140	Nd	13,1	15,4	13,3
Be	1,14	1,26	1,27	Ni	10,5	11	9,6
Bi	traces	traces	traces	Pb	2,68	3,23	3,11
Cd	traces	traces	traces	Pr	3,89	4,27	3,7
Ce	22,1	34	32,3	Rb	1,03	14,8	14,2
Co	0,9	1,94	1,88	Sb	1,57	0,46	0,28
Cr	42,6	48,6	48,4	Sm	2,26	2,78	3,1
Cs	0,12	3,42	1,46	Sn	traces	0,67	traces
Cu	10,7	10,5	8,3	Sr	5,7	38,4	31,9
Dy	1,42	1,89	2,38	Ta	0,08	0,28	0,29
Er	0,73	1,04	1,13	Tb	0,23	0,33	0,35
Eu	0,51	0,65	0,58	Th	6,64	10,4	10,4
Ga	2,89	4,13	4,28	Tm	0,1	0,22	0,19
Gd	1,71	1,95	2,03	U	1,39	2,07	1,93
Ge	17,3	2,19	1,69	V	52,4	65,1	69
Hf	1,18	3,57	4,22	W	2,12	1,76	1,64
Ho	0,25	0,44	0,439	Y	4,54	8,68	8,58
In	traces	traces	traces	Yb	0,88	1,48	1,35
La	12,6	16,7	16	Zn	traces	7,2	5,3
Lu	0,1	0,18	0,16	Zr	93,4	184	219
Mo	5,1	2,97	2,73				

V



que la masse de fer produit a pu être plus importante dès lors que l'on prend pour le minerai une teneur en Fe2O3 total supérieure à celle considérée ci-dessus ou bien encore que l'on majore le bilan de masse pour tenir compte des pertes de poids ou que l'on estime supérieure à 90 kg, la masse de scorie obtenue.

II.3 Un nouveau repère chronologique associé à deux nouveaux jalons technologiques

En l'état actuel des publications, les plus vieux vestiges sidérurgiques mis au jour dans le bassin hydrographique du Sénégal avant la fouille de Koussané, provenaient du tell de Sincu Bara dans la moyenne vallée du fleuve (McIntosh et Bocoum, 2000). Huit fours groupés sur quelques mètres carrés sont apparus dans les plus bas niveaux d'occupation de ce gisement. Des blocs de scorie cylindriques disposés verticalement de 19 cm de diamètre pour 44 cm de hauteur - chaque bloc pesant une vingtaine de kilogrammes - et quelques fragments de tuyères associés, marquaient leur emplacement. Un charbon retrouvé inclus dans l'un de ces blocs a permis de dater l'atelier des 5^e-7^e siècles ap. J.-C. Cet âge radiocarbone s'accorde avec la chrono-stratigraphie du gisement. Les fouilles menées sur d'autres sites de la moyenne vallée du Sénégal (Bocoum, 1986; Chavane, 1985; Thilmans et Ravise, 1980) révèlent que des batteries de fours comparables ont été utilisées jusqu'au début du 2^e millénaire. Des appareils similaires ont également été découverts dans la moyenne vallée du Niger à proximité du tell de Kawinza où un charbon retrouvé à leur voisinage a fourni l'âge de 1310±70 BP (Chièze, 1991). Les auteurs sont d'accord pour reconnaître dans ces structures des fonds de four de réduction à usage unique ayant fonctionné simultanément ou successivement. Aucun fragment de paroi associé n'a été jusqu'à présent découvert. La technologie à laquelle renvoie ces vestiges apparaît très différente de celle reconnue à Koussané.

D'autres résidus sidérurgiques masqués par les formations superficielles de la moyenne vallée du Sénégal semblent se rapprocher de ceux de Koussané. Il s'agit de fosses en cuvette autour desquelles ont été retrouvés des fragments de colombins et des morceaux de tuyères (Chavane, 1985; McIntosh et Bocoum, 1992). Toutefois aucun de ces vestiges

Tableau IV. Éléments chimiques majeurs en % contenus dans la scorie comparés à ceux contenus dans le fragment de minerai le plus riche en fer (se reporter au tabl. II et au tabl. III).

Tableau V. Éléments traces en ppm contenus dans le minerai comparés à ceux contenus dans le fragment de minerai le plus riche en fer (se reporter au tabl. II et au tabl. III).

Fig. 21. Spectres des terres rares contenues dans le minerai et la scorie.

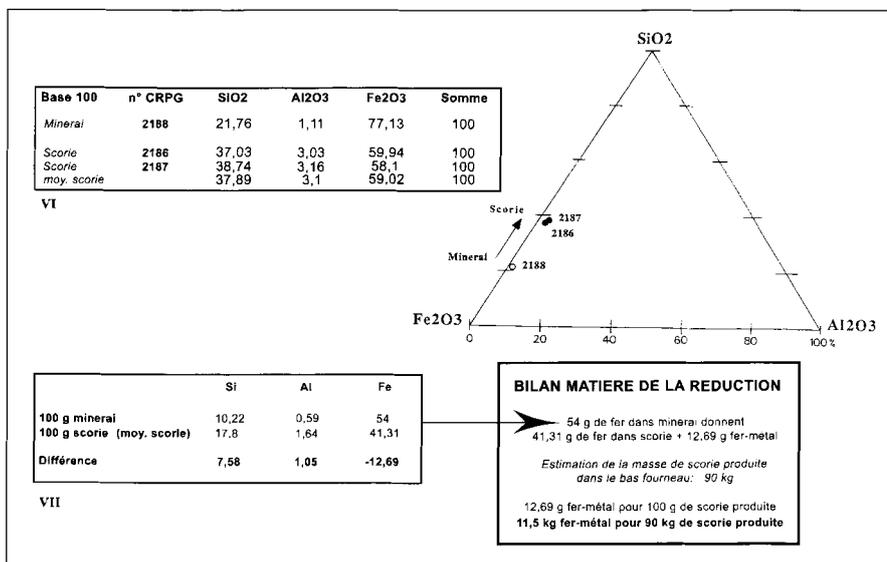


Fig. 22. Diagramme triangulaire SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃: la position des points révèle l'appauvrissement de la scorie en Fe₂O₃ et son enrichissement en SiO₂ par rapport au minerai

Tableau VI. Eléments chimiques principaux en % contenus dans la scorie et le fragment de minerai le plus riche en fer, renormés à 100%, hors perte au feu.

Tableau VII. Le bilan matière simplifié de la réduction.

n'a été jusqu'à présent daté ni étudié dans le détail. À défaut de pouvoir mener des comparaisons, notons simplement que le gisement de Koussané permet de faire remonter aux 2^e-3^e siècles ap. J.-C. la réduction directe d'un minerai de fer siliceux et, par là-même, de repousser plus de deux siècles en arrière cette pratique dans le bassin hydrographique du Sénégal. La récente découverte d'une pointe de flèche en acier dans la vallée de la Kolimbiné, sur le site de Dialaka occupé en 2310±35 BP et à l'abandon en 1910±100 BP (Dupuy *et al.*, 1995), atteste l'antiquité encore plus haute de la connaissance des métaux ferreux dans la région.

À pousser plus loin les comparaisons, le four de Koussané offre de nombreuses analogies avec les plus anciens bas fourneaux connus de l'Afrique de l'Ouest, datés du 1^{er} millénaire av. J.-C. Que l'on considère ceux de Taruga au Nigéria utilisés pour la réduction d'un minerai de fer siliceux (Tylecote, 1975; Calvoressi et David, 1979) ou bien ceux de Mauritanie et du Niger qui, eux, étaient destinés à réduire du minerai de cuivre (Lambert, 1974; Grébénart, 1988), tous ces bas fourneaux se composaient d'une fosse de 30 cm à 1 m de diamètre creusée dans le sol autour de laquelle était construit un mur cylindrique à base d'argile qui supportait plusieurs tuyères. Au cours de la réduction, la scorie s'écoulait dans l'excavation où elle demeurait piégée et soudée à l'éponge métallique. À l'issue de chaque réduction, les métallurgistes cassaient la superstructure afin de pouvoir extraire l'éponge de métal du fond de four. Ces destructions sous-tendent l'absence de larges ouvertures à la base des constructions. À ce stade final de la réduction, les métallurgistes-fondeurs de Koussané ont innové. Plutôt que de détruire leur construction à l'endroit même où elle s'élevait comme le faisaient jusque-là leurs prédécesseurs, ces derniers l'ont déplacée de quelques mètres, rendant du même coup accessible le fond de four et l'éponge de fer. Cette stratégie nouvelle n'est pas sans évoquer celle observée en pays hausa au Niger jusqu'en 1967. La description et le film de N. Echard (1965 et 1968) sont à cet égard riches d'enseignements: «le dispositif de réduction du minerai de fer utilisé ici, était constitué d'une cheminée tronconique d'argile posée sur des tuyères au-dessus d'un foyer aménagé dans le sol... Cette organisation particulière des appareils hausa permettait... de ré-utiliser la cheminée à plusieurs reprises (jusqu'à quinze à vingt fois) en la déplaçant, après chaque opération de réduction, sur un nouveau foyer». Si les données archéologiques de Koussané témoignent d'une translation de la superstructure, les blocs de scorie massive retrouvés attenants à ce qu'il en reste, rendent peu probable son utilisation répétée au dessus de fonds de four distincts, et ce d'autant que sa paroi, contrairement à la cheminée amovible du pays hausa, supportait plusieurs tuyères.

Le dispositif de ventilation utilisé à Koussané apparaît lui aussi différent des systèmes antérieurement connus. La nouveauté réside dans le long conduit d'argile orienté à 60° à travers la cuve vers le fond de four alors que jusque-là les tuyères ou événements étaient disposés rayon-

nants sur les murs cylindriques qui cernaient les fosses. Jusqu'au milieu du 20^e siècle, les Lobi au sud-ouest du Burkina-Faso, les Fali au nord-est du Cameroun et les Duru au sud-ouest de ce même pays, plaçaient de cette manière, à l'oblique, une ou plusieurs tuyères dans leur bas fourneau (Fig. 23). Malheureusement les observations relatives à la conduite de ces réductions sont succinctes et la morphologie des scories produites reste inconnue. On ne dispose, d'autre part, d'aucune information sur l'état de conservation des structures après le prélèvement des éponges de fer. De fait, il s'avère difficile d'évaluer le degré de parenté typologique de ces bas fourneaux avec celui de Koussané et, par conséquent, de se prononcer en faveur de transferts technologiques pluriséculaires ou de convergences fortuites.

Il est également important de signaler l'existence de bas fourneaux à tuyère verticale chez les Mafa dans les monts Mandara au nord du Cameroun (Fig. 23). D'une longueur supérieure à 1,5 m, celle-ci est fixée sur une plateforme construite au dessus de la cuve des fours (David *et al.*, 1988 et 1989; Gardi, 1953 et 1959; Hinderling, 1953 et 1955). La ventilation est forcée de haut en bas grâce à des soufflets placés devant la tuyère. Deux ouvertures frontales sont aménagées dans la superstructure à base de pierres et d'argile. L'une située à hauteur d'homme permet le chargement en minerai de fer et en charbon de bois ainsi que l'évacuation des fumées. L'autre en partie basse est fermée par une paroi d'argile, laquelle paroi est détruite lorsque la scorie s'accumulant dans le fond de la cuve atteint un niveau tel qu'elle risque de boucher le nez de la tuyère. Le bain silicaté est alors évacué. Une nouvelle paroi d'argile est construite. L'opération peut ainsi être répétée près de dix fois au cours d'une seule réduction (David *et al.*, 1989). Des dispositifs comparables, mais à la superstructure adossée à un massif rocheux sur lequel est installée la soufflerie, sont connus par ailleurs dans les monts Mandara, notamment chez les Murgur (Gardi, 1953; Seignobos, 1991). Cette variante représenterait, selon Wente-Lukas (1977), «une forme particulière d'adaptation à la montagne». Des fours similaires aux dimensions beaucoup plus réduites étaient utilisés jusque dans les années 1960 chez les Sukur et les Marghi, voisins occidentaux des Mafa (Sassoon, 1964; Vaughan, 1973). Du fait de leur écoulement régulier vers l'extérieur des cuves, les scories produites par cette famille de bas fourneaux à tuyère verticale sont très différentes sur le plan morphologique de celle piégée dans le fond de four de Koussané, laquelle scorie en l'occurrence a fini, ici, par obturer la tuyère à 60°.

Les rapports des ethnologues de la première moitié du 20^e siècle, s'ils s'avèrent souvent incomplets en ce qui concerne les questions de technologie et de typologie des déchets sidérurgiques, n'en demeurent pas moins très précieux en ce sens qu'ils nous permettent aujourd'hui de saisir la diversité des systèmes de réduction qui étaient en usage dans l'Ouest-africain à l'époque coloniale. L'histoire des techniques ayant présidé à cette diversité unique au monde, est encore en grande partie inconnue. Le gisement de Koussané permet de fixer au tableau, un nouveau repère chronologique et deux nouveaux jalons technologiques:

- la production d'une éponge de fer selon la filière directe en bas fourneaux à partir d'un minerai siliceux aux 2^e-3^e siècles ap. J.-C. dans le bassin hydrographique du Sénégal,
 - pour ce faire, l'utilisation d'un système de ventilation comprenant, entre autres éléments, un long tuyau d'argile incliné à 60° à travers le corps du four,
 - et, pour finir, le déplacement de la superstructure qui cernait le fond de four afin de rendre accessible, à l'issue de la réduction, l'éponge de fer.
- Cette dernière a dû être ensuite débarrassée de ses impuretés et subir à nouveau l'épreuve du feu pour servir à la fabrication d'objets. Les témoins archéologiques de ces opérations post-réductions restent à découvrir... et l'histoire de ces techniques de raffinage et de forgeage du fer et de l'acier en Afrique de l'Ouest encore à écrire en parallèle avec celle indissociable des procédés de réduction directe.

III. Une lacune chronologique à combler

Environ un millénaire semble séparer les premières représentations d'objets métalliques dans l'art rupestre de l'Adrar des Iforas de l'appa-

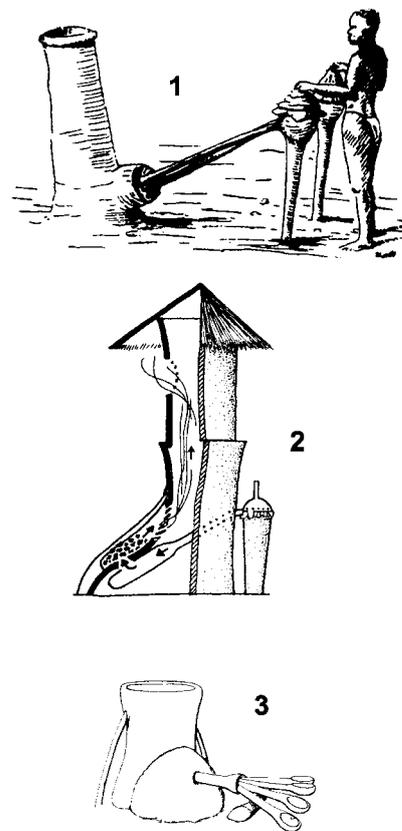


Fig. 23. Bas fourneaux sub-actuels comprenant une longue tuyère disposée à l'oblique à travers le corps des superstructures (Échelle de réduction commune pour 1, 2 et 3, donnée par le personnage: hauteur = 1,70 m).
1: région des Lobi au Burkina Faso (d'après C. Francis-Bœuf, 1937).
2: région des Fali au nord-est du Cameroun (d'après J. P. Lebeuf, 1961).
3: région des Duru au sud-ouest du Cameroun (d'après R. Wente-Lukas, 1977). Bas fourneaux sub-actuels comprenant une longue tuyère disposée verticalement.

rition de la métallurgie au Mali fixée par les fouilles. Celles menées dans l'Adrar des Iforas sont quasi inexistantes. Leur développement pourrait permettre de combler ce hiatus d'une dizaine de siècles, à condition que l'érosion et la déflation des sols engendrées par l'aridité n'aient pas entraîné le fractionnement, la dispersion et, pour finir, la disparition des vestiges métallurgiques en relation avec la fabrication locale supposée. Mais on ne peut exclure une autre hypothèse: celle selon laquelle les objets coulés en circulation dans l'Adrar des Iforas au cours du 2^e millénaire av. J.-C. étaient issus d'ateliers lointains, restant dans ce cas aussi à découvrir. L'enquête sur l'Âge ancien des métaux au Mali en est encore à ses débuts. En l'état, elle n'apporte aucun élément déterminant au dossier aujourd'hui très débattu de l'origine et de l'ancienneté des métallurgies en Afrique sub-saharienne: inventions indépendantes du bassin méditerranéen ou transmission de proche en proche impliquant divers emprunts et innovations selon les croyances, les savoirs, les savoir-faire de population concernées mais aussi selon les matériaux locaux disponibles?

Remerciements

Nous remercions: pour les suites favorables qu'ils ont données à nos projets de recherches archéologiques dans l'Adrar des Iforas, puis dans la haute vallée du Sénégal, Kléna Sanogo, Directeur de l'Institut des Sciences Humaines de Bamako, Mamadi Dembélé, Directeur du département d'Archéologie et Gabriel Camps, Professeur émérite à l'Université de Provence; pour leur participation aux prospections, aux sondages et aux fouilles, Dona ag Aratam, Didier Ailloud, Jean Riser, Famori Sissoko et Gérard Vachon; pour les analyses sédimentologiques, Armelle Vienne; pour son aide précieuse aux recherches bibliographiques, Dominique Commelin; pour leurs stimulantes réflexions à l'occasion des rencontres annuelles de Villersexel, les chercheurs de l'Institut de Recherche sur les Archéomatériaux (UMR 5060 du CNRS).

Les missions dans l'Adrar des Iforas ont été réalisées grâce aux aides de la Fondation de France et de la Fondation Fyssen (1986), du Ministère de la Coopération (1990) et du Centro Studi Archeologia Africana de Milan (1990). Les prospections menées en 1993 dans la vallée de la Kolimbiné ont été financées par le Ministère de la Coopération. La fouille réalisée à Koussané en 1995 l'a été par l'Agence de Coopération Culturelle et Technique dans le cadre du programme international *Métallurgies africaines* coordonné par Pierre de Maret. Les recherches de l'un d'entre nous (C.D.) ont été soutenues par la Fondation Singer-Polignac (1998). Nous tenons à remercier les membres de ces institutions qui ont matériellement permis l'élaboration de cet article.

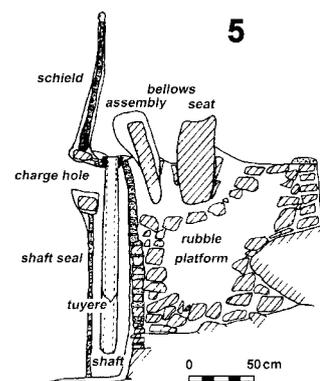
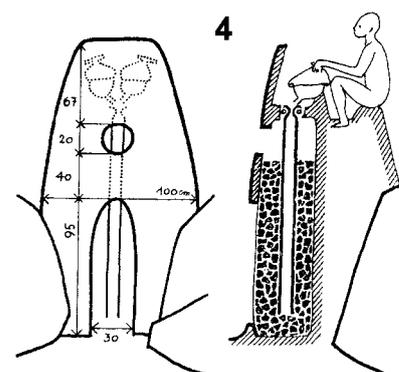


Fig. 23. (suite)

4: région des Martakam dans les monts Mandara au nord du Cameroun (d'après R. Gardi, 1953).

5: reconstitution d'un bas fourneau Mafa, dans les monts Mandara au nord du Cameroun (d'après N. David et al., 1989).

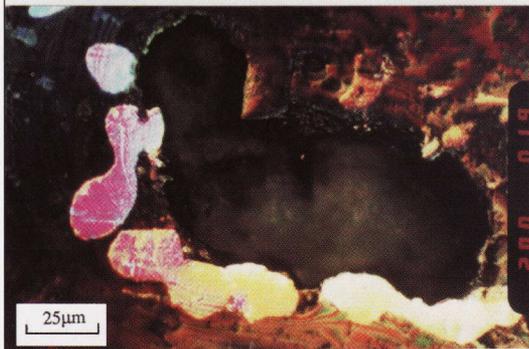
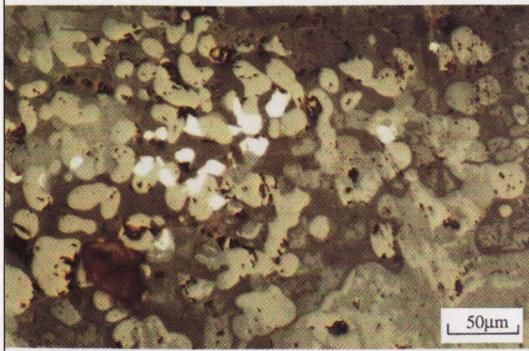
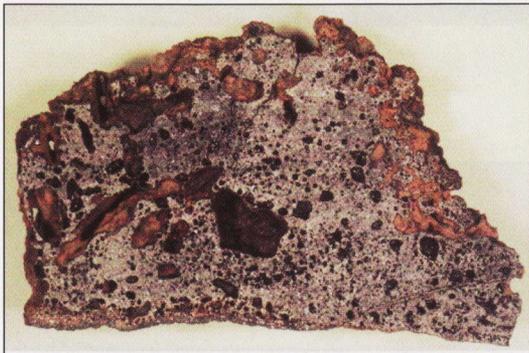
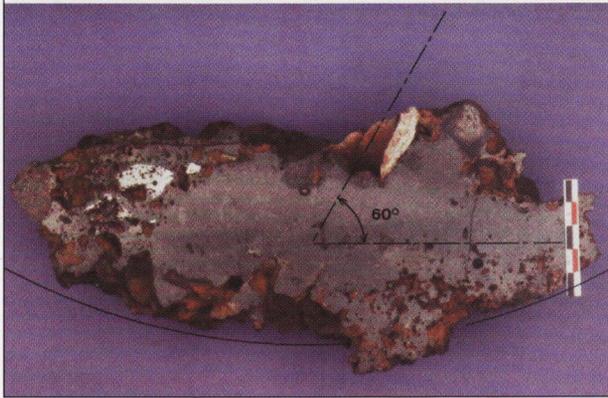
Bibliographie

- ABALANET J., 1986. *Signes sans paroles, cent siècles d'art rupestre en Europe occidentale*. Paris: Hachette.
- ANDRIEUX P., 1995. Les témoins archéologiques et leur restitution expérimentale dans l'étude de la gestuelle et des conceptions culturelles: les liens possibles entre l'objectivité et la sensualité. In: P. Benoit et P. Fluzin (éds), *Paléométaballurgie du fer et cultures*. Belfort: Institut Polytechnique de Sévenans, A.E.D.E.H./Vulcain, p. 65-69.
- AMBLARD-PISON S., 1999. *Communautés villageoises néolithiques des dhars Tichitt et Oualata (Mauritanie)*. Thèse, Paris I, 2 vol.: 865p.
- AUMASSIP G., 1986. Le Bas Sahara dans la Préhistoire. Paris: CNRS, 612 p.
- BEDAUX R., T. CONSTANDSE-WESTERMANN, L. HACQUEBORD ET AL., 1978. Recherches archéologiques dans le Delta intérieur du Niger (Mali). *Palaeohistoria*, 20: 99-220.
- BEDAUX R., 1994. Recherches ethno-archéologiques. Poterie des Dogon (Mali) comme modèle pour l'étude des poteries néolithiques. In: *Milieus, hommes et techniques du Sahara préhistorique. Problèmes actuels*. Paris: L'Harmattan, p. 193-227.
- BENOIT P. ET P. FLUZIN (ÉDS), 1995. *Paléométaballurgie du fer et cultures*. Belfort: Institut Polytechnique de Sévenans, A.E.D.E.H./Vulcain, 542 p.
- BIETAK M., 1996. Avaris, Tell el-Dab'a. In: *L'Égypte du Delta. Les capitales du Nord. Dossiers d'Archéologie* (Dijon), 213: 16-23.
- BOCOUM H., 1986. *La métallurgie du fer au Sénégal: approche archéologique, technologique et historique*. Thèse, Paris I: 333 p.
- BOCOUM H. ET P. FLUZIN, 2000. La chaîne opératoire de réduction directe à Juude-Jaabe (Sénégal). In: P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thirirot et P. Benoit (éds), *Arts du feu et productions artisanales*. Antibes: APDCA, p. 37-51.
- BOUBE J., 1983/1984. Une idole néo-

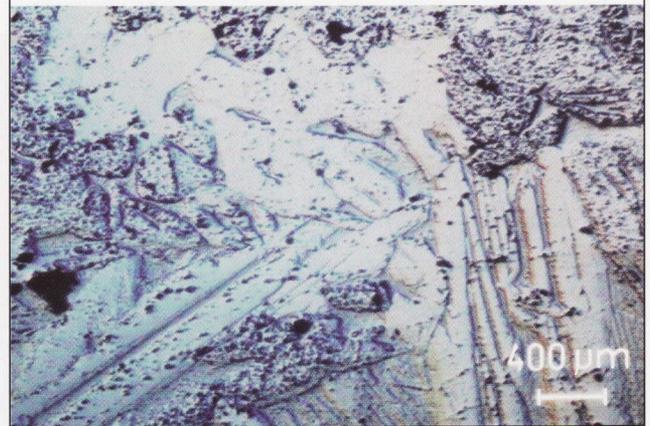
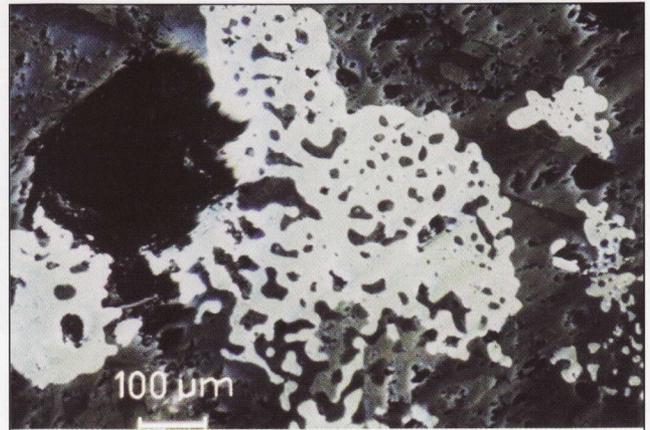
- lithique à Chellah. *Bulletin d'Archéologie marocaine* (Rabat), 15: 125-130.
- CAMPS G., 1960. Les traces d'un Âge de bronze en Afrique du Nord. *Revue africaine*, CIV, p. 31-55.
- CAMPS G., 1961. *Aux origines de la Berbérie. Monuments et rites funéraires protohistoriques*. Paris: Arts et Métiers graphiques.
- CAMPS G., 1992. Bronze (Âge du). In: G. Camps (éd.), *Encyclopédie Berbère*. Aix-en-Provence: Edisud, p. 1614-1626.
- CAMPS G., 1993. Chars (art rupestre). In: G. Camps (éd.), *Encyclopédie Berbère*. Aix-en-Provence: Edisud, p. 1877-1892.
- CAMPS G., 1997. Fer (Âge du). In: G. Camps (éd.), *Encyclopédie Berbère*, XVIII, Aix-en-Provence: Edisud, p. 2753-2763.
- CELIS G., 1991. *Les fonderies africaines du fer, un grand métier disparu*. Frankfurt: Museum für Völkerkunde, 225 p.
- CHAVANE B., 1985. *Villages de l'ancien Tekrour. Recherches archéologiques dans la moyenne vallée du Sénégal*. Paris: Karthala/CRA, 188 p.
- CHENORKIAN R., 1988. *Les armes métalliques dans l'art protohistorique de l'Occident méditerranéen*. Marseille: CNRS, 414 p.
- CHIEZE V., 1991. La métallurgie du fer dans la zone lacustre: archéologie et archéométrie. In: M. Raimbault et K. Sanogo (éds), *Recherches archéologiques au Mali. Les sites protohistoriques de la zone lacustre*. ACCT - Karthala, p. 449-472.
- COLIN F., 1999. Le «vieux libyque» dans les sources égyptiennes (du Nouvel Empire à l'époque romaine) et l'histoire des peuples libyophones dans le Nord de l'Afrique. *Bulletin Archéologique du C.T.H.S.*, n.s. Afrique du Nord, 25: 13-18.
- COSTAS GOBERNA F.J. ET A. PENA SANTOS, 2000. Vue générale de gravures de Galice (Espagne). *International Newsletter on Rock Art*, 26: 12-20.
- DAUGAS J.-P., J.P. RAYNAL, A. BALLOUCHE ET AL., 1989. Le Néolithique nord-atlantique du Maroc: premier essai de chronologie par le radiocarbone. Paris: *C.R. Acad. Sci.*, 308, II: 681-687.
- DAVID D. ET P. HUARD, 1979. Les spirales de l'oued Timissit (confins algéro-libyens). *Bulletin de la Société Préhistorique Française* (Paris), 76, 10-12: 454-461.
- DAVID N. AND Y. LE BLEIS, 1988. *Dokwaza: last of the African iron masters*. Video, 49 min. Dept of Communications Media, University of Calgary.
- DAVID N., R. HEIMANN, D. KILLICK AND M. WAYMAN, 1989. Between bloomery and blast furnace: Mafa iron-smelting technology in North Cameroon. *The African archaeological Review*, 7: 184-208.
- DONALD W. AND A.P. WHITE, 1996. Coastal Sites of Northeast Africa. The Case Against Bronze Age Ports. *J.A.R.C.E.*, XXXIII: 11-30.
- DUNIKOWSKI C. ET S. CABBOI, 1995. *La sidérurgie chez les Sénons: les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*. Paris: DAF, 51, Maison des Sciences de l'Homme, 186 p.
- DUPRE M.-C. ET B. PINCON, 1997. *Métallurgie et politique en Afrique centrale. Deux mille ans de vestiges sur les plateaux batéké, Gabon, Congo, Zaïre*. Karthala, 266 p.
- DUPUY C., 1991. *Les gravures rupestres de l'Adrar des Iforas dans le contexte de l'art saharien: une contribution à l'histoire du peuplement pastoral en Afrique septentrionale du Néolithique à nos jours*. Aix-en-Provence, Université de Provence, Thèse, 2 tomes.
- DUPUY C., 1994. Signes gravés au Sahara en contexte animalier et les débuts de la métallurgie ouest-africaine. *Préhistoire et Anthropologie Méditerranéennes*, 3: 103-124.
- DUPUY C., 1998. Réflexion sur l'identité des guerriers représentés dans les gravures rupestres de l'Adrar des Iforas et de l'Air. *Sahara*, 10: 31-54.
- DUPUY C., 2001. Les gravures de chars et d'entrelacs dans l'art rupestre de l'Adrar des Iforas et leurs homologues sahariens. *Cahiers de l'AARS* (Grenoble), 6: 25-29.
- DUPUY C., J. RISER ET F. SISSOKO, 1995. L'abandon du site protohistorique de Dialaka (Mali) à l'Holocène supérieur. *Quaternaire*, 6, (2): 57-61.
- DUPUY C. ET C. ROLANDO, 1999. Un four de métallurgie du fer en stratigraphie à Koussané (Mali): fouille, anthracologie et datations sur charbons. In: J. Evin, C. Oberlin, J.P. Daugas et J.F. Salles (éds), Actes du 3ème congrès international «Archéologie et C14». Paris, *Revue d'Archéométrie Suppl.* 1999 et *Soc. Préhistoire Française*, 26: 381-385.
- DUPUY C. ET S. SEARIGHT, 2001. Les motifs abstraits gravés à Issamadane (Mali) et à Imaoun (Maroc) dans le contexte de l'art rupestre ibérique. In: *Actes du colloque en hommage à Jean Abélanet*, Université de Perpignan (sous presse).
- ECHARD N., 1965. Note sur les forgerons de l'Ader. *Journal de la Société des Africanistes*, XXXV, 2: 353-372.
- ECHARD N., 1968. *Noces de feu*. Film 16mm, Comité du Film Ethnographique, Paris.
- ECHARD N., 1983. Scories et symboles. Remarques sur la métallurgie hausa du fer au Niger. In: *Métallurgies africaines, Nouvelles contributions*. Mémoires de la société des Africanistes, 9: 209-224.
- FLUZIN P., P. BENOIT, H.T. KIENON, J.B. KIETHEGA ET O. EL KEDIM, 1995. Apports de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire des procédés sidérurgiques directs à partir des vestiges archéologiques; intérêt des comparaisons ethnoarchéologiques. In: G. Magnusson (ed.), *The Importance of Ironmaking, Technical Innovation and Social Change*. Stockholm, p. 56-64.
- FLUZIN P., A. PLOQUIN ET V. SERNEELS, 2000. Archéométrie des déchets de production sidérurgique. Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe. In: Cl. Domergue et M. Leroy (éds.), *Mines et métallurgies en Gaule*. Gallia, 57, CNRS, Paris: 101-121.
- FRANCIS-BOEUF C., 1937. L'industrie autochtone du fer en Afrique occidentale française. *Bulletin du Comité d'études historiques et scientifiques de l'Afrique occidentale française*, 20: 403-454.
- GARDI R., 1953. *Mandara - unbekanntes Bergland in Kamerun*. Zurich: Orell Füssli Verlag.
- GARDI R., 1959. *Eisengewinnung in den Mandarabergen*. Film, 19 min. Göttinger, Institut für den Wissenschaftlichen Film et Bâle, Musée d'Ethnographie.
- GRANDET P., 1993. *Ramses III, Histoire d'un règne*. Paris: Pygmalion, 419 p.
- GREBENART D., 1988. *Les premiers métallurgistes en Afrique occidentale*. Nouvelles Éditions Africaines, Abidjan/Edit. Paris: Errance, 290 p.
- HABACHI L., 1980. The Military Posts of Ramesses II on the Coastal Road and the Western Part of the Delta. *BIFAO*, 80: 13-30.
- HARRISON R.J., 1986. *L'Âge du cuivre. La civilisation du vase campaniforme*. Toulouse, Coll. des Hespérides, 160 p.
- HINDERLING P., 1953. *Eisengewinnung und Eisenverarbeitung in*

- den Mandarabergen. Film, 17 min., Basel: Museum für Volkskunde.
- HINDERLING P., 1955. Schmelzöfen und Eisenverarbeitung in Nord-Kamerun. *Stahl und Eisen*, 75: 1263-1266.
- HUYSECOM E., 1996. *Inagina, l'ultime Maison du Fer*. Film vidéo, 52 min., Genève, PAVE.
- JODIN A., 1964. Les gravures rupestres du Yagour (Haut Atlas): analyse stylistique et thématique. *Bulletin d'Archéologie marocaine* (Rabat), V: 47-116.
- JODIN A., 1966. Les gravures rupestres de l'Oukaïmeden (Haut Atlas): documents inédits. *Bulletin d'Archéologie marocaine* (Rabat), VI: 29-54.
- KEMP B.J., R.S. MERRILLEES AND E. EDEL, 1980. *Minoan Pottery in Second Millennium Egypt*. Deutsches Archäologisches Institut.
- LAMBERT N., 1974. Mines et métallurgie antiques dans la région d'Akjoujt. *Annales de l'Institut mauritanien de recherche scientifique*, t. 1: 6-25
- LEBEUF J. P., 1961. *L'habitation des Fali, montagnards du Cameroun septentrional*. Paris: Hachette, 608 p.
- LEROY M., 1997. *La sidérurgie en lorraine avant le haut fourneau. L'utilisation du fer oolithique en réduction directe*. Monographie du CRA, 18.
- LEROY M. ET P. MERLUZZO, 1998. *Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute Marne)*. *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, 91, (4), 126 p.
- LEROY M., P. MERLUZZO, P. FLUZIN, D. LECLERE, M. AUBERT ET A. PLOQUIN, 2000. La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique: l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer. In: P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot et P. Benoit (éds), *Arts du feu et productions artisanales*. Antibes: APDCA, p. 37-51.
- LEVY-LUXEREAU A., 1983. Métallurgie dans le Sahel nigérien: contraintes de l'écosystème, effets de la technique. L'exemple de la région de Maradi (Niger). In: *Métallurgies africaines, Nouvelles contributions*. Mémoires de la société des Africanistes, 9: 225-236.
- LHOTE H., 1964. Gravures rupestres de Tachoukent et de Tan Zega (Sud-marocain). *Libyca* (Alger), XII: 225-245.
- MALHOMME J., 1959/1961. *Corpus des gravures rupestres du Grand Atlas*. Rabat, Service des Antiquités du Maroc, 13, 2 tomes.
- MANGIN M., J.-L. COURTADON, P. FLUZIN ET E. LACLOS, 2000. *Village, forges et parcellaire aux Sources de la Seine. L'agglomération antique de Blessey-Salmaise (Côte-d'Or)*. *Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté*, vol. 699, 517p.
- MARTINELLI B., 1993. Fonderies ouest-africaines. Classement comparatif et tendances. *Techniques et culture*, 21: 195-221.
- MARTINELLI B., 2000. Le choix de la combustion lente. Mutation technique et mutation sociale an Yatenga, Burkina Faso. In: P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot et P. Benoit (éds), *Arts du feu et productions artisanales*. Antibes: APDCA, p. 37-51.
- MAYDELL H.-J. (VON), 1983. *Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations*. Eschborn: Verlag Josef Margraf, 531p.
- MCINTOSH S.K. (ED.), 1994. *Excavations at Jenne-Jeno, Hambarke-tolo and Kaniana (Inland Niger Delta, Mali), the 1981 Season*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 20: 605 p.
- MCINTOSH S.K. ET H. BOCOUM, 2000. New Perspectives on Sincu Bara, a First Millennium Site in the Senegal Valley. *African Archaeological Review*, 17, N°1: 1-43.
- MCINTOSH S.K. ET R.J. MCINTOSH, 1980. *Prehistoric Investigations in the Region of Jenne, Mali: a study in the Development of Urbanism in the Sahel. Part. I: Archaeological and Historical Background and the excavations at Jenne-Jeno. Part. II: The Regional Survey and Conclusions*. British Archaeol. Rep., Cambridge Monographs in African Archaeology.
- MCINTOSH S.K., R.J. MCINTOSH AND H. BOCOUM, 1992. The middle Senegal Valley project: preliminary results from the 1990-1991 field season. *Nyame Akuma*, 38: 47-61
- MICHEL P., 1973. *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique*. Paris, Mémoire ORSTOM, 63, 3 tomes, 752 p.
- NEGBI O., 1994. The 'Libyan Landscape' from Thera: A Review of Aegean Enterprises Overseas in the Late Minoan IA Period. *Journal of Mediterranean Archaeology* (Bristol), 7.1: 73-112.
- PLOQUIN A., 1995. Une base de donnée dévolue aux compositions chimiques des scories et produits associés à la paléosidérurgie. In: P. Benoit et P. Fluzin (éds), *Paléométallurgie du fer et cultures*. Institut Polytechnique de Sévénans, A.E.D.E.H./Vulcain, Bel-fort: 99-107.
- PONSICH M., 1970. Recherches archéologiques à Tanger et dans sa région. Edit. du CNRS, 439 p.
- PUIGAUDEAU O. (DU) ET M. SENONES, 1953. Gravures rupestres de l'Oued Tamanart (Sud marocain). *Dakar, B.I.F.A.N.*, B, 15: 1242-1261.
- RAIMBAULT M. ET K. SANOGO (ÉDS.), 1991. *Recherches archéologiques au Mali. Les sites protohistoriques de la Zone lacustre*. Paris: ACCT-Karthala, 567 p.
- RICHARDSON S., 2000. *Libya Domestica: Libyan Trade and Society on the Eve of the Invasions of Egypt*. *J.A.R.C.E.*, XXXVI: 149-164.
- 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.
- RODRIGUE A., 1988. La faune du Maroc au Néolithique et dans la Protohistoire d'après les gravures rupestres. *Soc. d'études et de recherches préhistoriques* (Les Eyzies), 37: 85-97.
- RODRIGUE A., 1991. Les armes dans les gravures du Haut-Atlas. *Bull. du Groupe d'Archéologie et d'Anthropologie* (Casablanca), 7-8: 34-39.
- RODRIGUE A., 1999a. *L'art rupestre du Haut Atlas marocain*. Paris: L'Harmattan, 420 p.88.
- RODRIGUE A., 1999b. Megalithic engraved structure in the South of Morocco. *Almogaren*, XXX: 345-348.
- ROGNON P., 1989. *Biographie d'un désert*. Paris: Plon, 347 p.
- ROSET J.P., 1988. Iwelen, un site archéologique de l'époque des chars, dans l'Air septentrional, au Niger. In: Histoire générale de l'Afrique. Paris: Presses Universitaires de France, *Études et documents UNESCO*, 11: 121-155.
- SASSOON H., 1964. Iron-smelting in the hill village of Sukur, north-eastern Nigeria. *Man*, 64: 174-178.
- SCHMIDT P. R., 1997. *Iron Technology in East Africa. Symbolism, Science and Archaeology*. Indiana University Press, Bloomington, Indianapolis: 328 p.
- SEARIGHT S., 1994. Le commerce de l'ivoire au Maroc préhistorique et les gravures d'éléphants: peut-on les associer? *Soc. d'études et de recherches préhistoriques* (Les Eyzies), 44: 33-59.
- SEARIGHT S., 1996. Imaoun: a unique rock art site in south Morocco. *Sahara*, 8: 79-81.
- SEIGNOBOS C., 1991. *Les instruments aratoires en Afrique tropicale*.

- La fonction et le signe*. Paris, Cahiers ORSTOM, série Sciences Humaines, XX, 3-4: 658 p.
- SEIGNOBOS C., 1991. Les Murgur ou l'identification ethnique par la forge (Nord Cameroun); annexe: trois réductions du fer. In: *Forges et forgerons*. Actes du IVe colloque Méga-Tchad, Vol. I, Edit. Orstom: 43-226.
- SEIGNOBOS C., Y. MARZOUK ET SIGAUT F. (EDS), 2000. *Outils aratoires en Afrique. Innovations, normes et traces*. Karthala-IRD: 397 p.
- SERNEELS V., 1993. *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*. Lausanne: Cahiers d'Archéologie Romande, 61, 240 p.
- SERNEELS V., 1995. À propos de quelques scories: le fer en Suisse romande. In: P. Benoit et P. Fluzin (éds), *Paléométallurgie du fer et cultures*. Belfort: Institut Polytechnique de Sévenans, A.E.D.E.H./Vulcain, p. 21-28.
- SERNEELS V., 1998 - La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. In: M. Feugère et V. Serneels (éds.), *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale*. Montagnac: Monographies instrumentum, 4, p. 7-44.
- SIMONEAU A., 1971. La région rupestre de Tazzarine. Documents nouveaux sur les chasseurs-pasteurs. *Revue de Géographie du Maroc* (Rabat), 20: 107-108.
- SIMONEAU A., 1977. *Catalogue des sites rupestres du Sud-marocain*. Rabat: Ministère d'Etat chargé des Affaires Culturelles, 127 p.
- SOUVILLE G., 1973. *Atlas préhistorique du Maroc. 1. Le Maroc atlantique*. Paris: CNRS, 368 p.
- SOUVILLE G., 1992. Campaniforme (céramique). In: G. Camps (éd.), *Encyclopédie Berbère*. Aix-en-Provence: Edisud, p. 1725-1728.
- SPRUYTE J., 1995. Technologie d'une roue du XVe siècle av. J.-C. (char A5 de Toutankhamon, n°332 de l'inventaire de H. Carter). In: R. Chenorkian (éd.), *L'Homme Méditerranéen*, Ouvrage collectif en hommage à G. Camps. Aix-en-Provence: Université de Provence, p. 239-248.
- THILMANS G. ET A. RAVISE, 1980. *Protohistoire du Sénégal. Recherches archéologiques. Sintiou-Bara et les sites du fleuve*. Dakar: Mémoire de l'IFAN, 91, 213 p.
- TAGOLA T., 1993. *Archaeological investigations of Iron Age sites in the Mema*. Unpublished Ph.D. thesis, Rice University, Houston.
- TREINEN-CLAUSTRE F., 1982. *Sahara et Sahel à l'Âge du fer, Borkou, Tchad*. Mémoire de la Société des Africanistes, Paris: 214 p.
- TROST F., 1981. *Die Felsbilder des Zentralen Ahaggar (Algerische Sahara)*. Graz: Akademische Druck, 251 p.
- TROST F., 1997. *Pinturas. Felsbilder des Ahaggar (Algerische Sahara)*. Graz: Akademische Druck, 336 p.
- VERCOUTTER J., 1956. *L'Égypte et le monde égéen préhellénique*. Le Caire: Inst. Fr. d'Archéologie Orientale, Bibliothèque d'Étude, 22, 472 p.
- VIENNE A., 1997. Étude d'un sol malien: échantillons 59M, 60M, 61M. In: *Analyse sédimentologique et pétrologique d'un sol à concrétions calcaires (Dialaka, Haut Sénégal malien)*, Mémoire de Maîtrise des Sciences de la terre, Université de Bourgogne, p. 64-68.
- VAUGHAN J. H., 1973. Engkyagu as artists in Marghi society. In: W. L. d'Azevedo (ed.), *The Traditional Artist in African Societies*. Bloomington: Indiana University Press, p. 162-193.
- WENTE-LUKAS R., 1977. Fer et forgeon au sud du lac Tchad (Cameroun, Nigeria). *Journal des Africanistes*, t. 47, fasc. 2: 107-122.
- WHITE D., 1986. 1986/1985 excavations on Bate's Island, Marsa Matruh. *J.A.R.C.E.*, XXIII: 51-84.
- WHITE D., 1989. 1989/1987 excavations on Bate's Island, Marsah Matruh: Second Preliminary Report. *J.A.R.C.E.*, XXVI: 87-114.
- WOLFF R., 1978/1979. Rock engravings of the upper uadi Eç çayyad (Southern Morocco). *Graz, Almogaren*, IX-X: 183-202.



Pl. D. C. Dupuy, P. Fluzin, A. Ploquin,
A. Durand et C. Rolando
Situation du plan de coupe analysé
et macrographie montrant l'embout
de tuyère à 60°. Un fragment
de loupe apparaît en blanc,
10 cm à gauche de la tuyère.
La surface inférieure est courbe et
constituée de cavités ouvertes
représentant probablement des
empreintes de charbons de bois.
Cette morphologie implique
l'existence d'un fond de four
hémisphérique et l'emploi comme
combustible de charbons de bois.



Pl. E. C. Dupuy, P. Fluzin, A. Ploquin,
A. Durand et C. Rolando
En haut: fragments de métal en cours
de densification. *En bas*:
matrice silicatée montrant des
globules de wustite et de très grandes
aiguilles de fayalite dans l'axe de la
tuyère.

Pl. F. C. Dupuy, P. Fluzin, A. Ploquin,
A. Durand et C. Rolando
Plan de coupe analysé. Macrographie et
micrographies caractéristiques.