



HAL
open science

AFRICA Archéoméallurgie du Fer : Ressources, Identités et Commerce en Afrique Rapport des missions et des analyses archéologiques et archéo-sous-marines francobénino-togolaise effectuées entre octobre 2023 et septembre 2024 Présenté par

Caroline Robion-Brunner, Essohanam Batchana, Séverin Bakrobena, Angelo Ayedoun Affolabi, Didier Béziat, Sébastien Berthaut-Clarac, Michèle Brost, Thierry Croup, Marie-Pierre Coustures, Delvoye Adrien, et al.

► **To cite this version:**

Caroline Robion-Brunner, Essohanam Batchana, Séverin Bakrobena, Angelo Ayedoun Affolabi, Didier Béziat, et al.. AFRICA Archéoméallurgie du Fer : Ressources, Identités et Commerce en Afrique Rapport des missions et des analyses archéologiques et archéo-sous-marines francobénino-togolaise effectuées entre octobre 2023 et septembre 2024 Présenté par. CNRS. 2024. hal-04828613

HAL Id: hal-04828613

<https://hal.science/hal-04828613v1>

Submitted on 10 Dec 2024

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.

AFRICA

Archéométaballurgie du Fer : Ressources, Identités et Commerce en Afrique

Rapport des missions et des analyses archéologiques et archéo-sous-marines franco-bénino-togolaise effectuées entre octobre 2023 et septembre 2024

Présenté par

Caroline Robion-Brunner (CNRS – TRACES – UMR5608 – Toulouse), Eshohanam Batchana (Université de Lomé, Togo) et Didier N'Dah (Université d'Abomey Calavi, Bénin)

avec le concours de

Angelo Ayedoun Affolabi (Université d'Abomey-Calavi et Santa Crus), Sèverin Bakrobéna (Université de Lomé), Didier Béziat (UT3 – GET/UMR5563), Sébastien Berthaut-Clarac (GRAN – Université de Perpignan), Michèle Brost (UT2J - TRACES/UMR5608), Thierry Courp (CEFREM, Université de Perpignan), Marie-Pierre Coustures (UT2J - TRACES/UMR5608), Adrien Delvoye (ARCAN, Université de Genève, Suisse), Emmanuelle Delqué-Kolic (LSCE-LMC14/UMR8212 – CNRS), Guillaume Estrade (UT3 – GET/UMR5563), Pakou Haréna (Université de Lomé), Bertil Hebert (CEFREM, Université de Perpignan), Gwenaël Hervé (LSCE/UMR8212 – CEA), Alexa Höhn (Université de Francfort), Gérard Tidouo Kouagou (Université d'Abomey-Calavi, TRACES/UMR5608), Camille Mangier-Merceron (INRAP, TRACES/UMR5608), Julien Maintenant (Acter, TRACES/UMR5608), Giorgia Ricci (CNRS – TRACES – UMR5608 – Toulouse), Maxime Sekouri (GRAN), Aurélie Van Toer (LSCE/UMR8212 – CEA), Camille Wandres (LSCE/UMR8212 – CEA).



Figure 1 : Prélèvement archéomagnétique sur la cuve d'un des fourneaux de l'atelier sidérurgique de Tchogma (région de Bassar, Togo; octobre 2023)



Avant-propos	4
I. Remerciements	4
II. Le programme scientifique AFRICA (C. Robion-Brunner)	5
III. Les missions de terrain	6
<i>III.1 La mission de terrain dans la préfecture de Bassar (Nord du Togo) en octobre 2023 (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé, A. Van Toer)</i>	6
III.1.1 Problématique et objectif de la mission.....	6
III.1.2 Présentation de l'équipe	9
III.1.3 Résultats de la mission archéomagnétique 2023	10
Bilan des données sur les dimensions et la morphologie des fourneaux prélevés à Tchogma 1, Bitamkpambe et Tabale	30
<i>III.2 La prospection archéo-sous-marine dans la rade de Ouidha (Sud du Bénin) en avril 2024 (S. Berthaut-Clarac, C. Robion-Brunner, Th. Courp, A. Affolabi Ayedoun)</i>	36
III.2.1 Problématique et objectifs de la mission.....	36
III.2.2 Présentation de l'équipe	40
III.2.3 La démarche méthodologique de prospection	40
III.2.4 Les premières analyses et interprétations	41
III.2.5 L'analyse des roches.....	53
III.2.6 Bilan de cette première prospection en mer	54
IV. Les résultats obtenus en laboratoire	55
<i>IV.1 Étude des collections céramiques mises au jour sur le site d'habitat de Kpeta 2 dans la commune d'Aplahoue au sud-est du Bénin (A. Delvoye)</i>	55
IV.1.1 Actions menées et premières observations	55
IV.1.2 Perspectives	59
<i>IV.2 Datations radiocarbone (E. Delque-Kolic et A. Höhn)</i>	60
IV.2.1 Datations radiocarbone obtenues sur les sites d'Aplahoué au sud-ouest du Bénin.....	60
IV.2.2 Datations radiocarbone obtenues sur le site de Tchogma 1 au centre-ouest du Togo	62
<i>IV.3 Datations archéomagnétiques obtenues sur les bas fourneaux du site de Domy au sud-ouest du Bénin (G. Hervé)</i>	63
IV.3.1 Méthodes et résultats.....	63
IV.3.2 Datation archéomagnétique.....	66
IV.3.3 Perspectives	67
<i>IV.4 Analyses des scories vitreuses échantillonnées sur les sites paléométallurgiques de la commune d'Aplahoue au sud-est du Bénin (M. Brost G. Estrade, D. Béziat, M.-P. Coustures)</i>	68
IV.4.1 Protocole et résultats	68
IV.4.2 Perspectives	71
V. Les missions de terrain prévues entre octobre 2024 et décembre 2025 (Figure 79)	72

<i>V.1 Zone 2 - 18 Octobre – 11 Novembre 2024 - Chronologie de la production du fer à Bandjeli, préfecture de Bassar (centre-ouest du Togo) (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé).....</i>	<i>72</i>
<i>V.2 Zone 1 - Août 2025 (2 semaines) - Mise au jour des travaux miniers dans le district sidérurgique d'Aplahoue au sud-est du Bénin (C. Robion-Brunner, J. Maintenant).....</i>	<i>74</i>
<i>IV.3 Zone 2 - Octobre 2025 (2 semaines) - Expérimentation autour de la réduction du fer du fer à Bandjeli, préfecture de Bassar (Nord du Togo) (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé).....</i>	<i>75</i>
<i>V.4 Zone 5 - Dates de mission non arrêtées - Localisation des navires négriers et de leur cargaison (S. Berthaut-Clarac, C. Robion-Brunner, A. Affolabi Ayedoun et D. N'Dah)</i>	<i>76</i>
VI. Formation et valorisation du patrimoine sidérurgique au Togo et au Bénin (C. Robion-Brunner).....	77
VII. Projets de diffusion et publications (C. Robion-Brunner).....	78
VIII. Bibliographie	79

Avant-propos

Le présent document rend compte des activités scientifiques annuelles.

Il s'agit des opérations archéologiques qui ont eu lieu entre le 11 et 28 octobre 2023 dans la préfecture de Bassar (Nord du Togo), entre le 1^{er} et 15 avril dans la rade de Ouidah (Sud du Bénin), ainsi que des résultats des analyses effectuées en laboratoire.

Nous y présentons également les objectifs des travaux qui s'effectueront fin 2024 et 2025.

I. Remerciements

Il nous est agréable de remercier les personnes qui ont apporté leur soutien à l'organisation des missions dans un contexte sanitaire toujours difficile pour les déplacements :

- M. Marc Vizio, Ambassadeur de France au Bénin, M. Lionel Briand, Conseiller de coopération et d'action culturelle et directrice de l'institut français du Bénin, M. Guillaume Da, Attaché de coopération (enseignement supérieur et recherche),
- M. Augustin Favereau, Ambassadeur de France au Togo, Mme Myriam Habil, Conseillère de coopération et d'action culturelle et directeur de l'Institut Français du Togo, Mme Charlotte Peiffer, Attachée de coopération (enseignement supérieur et recherche),
- M. Nicolas Grimal, Secrétaire général de la commission des fouilles au Ministère des Affaires étrangères et du Développement international, M. Pierre Taller, Responsable de la section Afrique, Mme Agnès Le Bouhoulec, Rédactrice,
- Mme Sandrine Costamagno, Directrice de l'UMR 5608,
- Mme Camille Bourdier, responsable de l'équipe Afrique de l'UMR 5608,
- tous les participants du programme AFRICA.

II. Le programme scientifique AFRICA (C. Robion-Brunner)

Le projet Archéoméallurgie du Fer : Ressources, Identités et Commerce en Afrique (**AFRICA**) est un **projet de recherche et de formation franco-bénino-togolais**. Il vise à comprendre le rôle du fer comme matériau structurant les sociétés médiévales et modernes en Afrique de l'Ouest en identifiant les districts de production du fer, les réseaux de sa diffusion et les lieux de sa consommation. Nombre de sociétés africaines sont fondées sur une économie du fer et abritent au voisinage des villages ou en brousse des vestiges de leurs ateliers métallurgiques. Si les racines de la sidérurgie remontent, comme les archéologues l'ont démontré grâce aux datations par le carbone 14, au I^{er} millénaire avant notre ère, ses derniers héritiers ont été étudiés par les ethnologues au siècle dernier. Ce patrimoine matériel et immatériel exceptionnel fait à juste titre la fierté des africains. Plusieurs programmes ont contribué à révéler l'importance de la métallurgie du fer et la diversité des techniques mises en œuvre durant le II^e millénaire de notre ère sur ce continent. Reste à déterminer les raisons et les conséquences d'une telle production du fer durant cette période. Autrement dit : beaucoup de fer mais pourquoi faire ?

Parallèlement à cette production locale, se met en place sur les côtes africaines la traite dite « atlantique » entre le XVI^e et le XIX^e siècle, avec comme résultat l'importation en Afrique de barres de fer produites en Europe. Même si le volume des importations de fer européen est toujours difficile à évaluer, il y a assez de preuves pour suggérer qu'elles aient représenté un complément majeur au stock de fer produit en Afrique occidentale. Dans la perspective de restituer l'économie du fer (de sa production et sa consommation), il sera donc intéressant de prendre en compte cette autre filière d'approvisionnement et d'identifier les conséquences de ce nouvel apport (usages nouveaux, arrêt ou diminution de la production locale, nouveaux lieux de consommation). Autrement dit : du fer venu de loin, quel impact ?

Les régions privilégiées pour mener avec succès cette étude sont le pays Bassar au Togo et la région du Mono-Couffo au Bénin. Connues pour leur production de fer, elles bénéficient de nombreuses recherches (ethnologie, histoire, archéologie, géologie) offrant un socle solide de données. Dans le cadre d'une réflexion d'ensemble, d'autres secteurs sidérurgiques comme Tado et Dapaong au Togo ou l'Atakora et le Dendi au Bénin seront pris en considération à travers des travaux universitaires réalisés dans le cadre de mémoires de master ou de doctorat.

Pour mener à bien ce projet, quatre objectifs scientifiques ont été définis :

- Identifier les gisements de minerai de fer disponibles dans les régions d'étude
- Quantifier la masse de métal produite par les différents districts sidérurgiques
- Établir la signature chimique des productions de fer bassar et mono et confronter les différentes méthodes de traçabilité des métaux
- Identifier par la fouille les lieux de consommation du fer

III. Les missions de terrain

III.1 La mission de terrain dans la préfecture de Bassar (Nord du Togo) en octobre 2023 (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé, A. Van Toer)

III.1.1 Problématique et objectif de la mission

Depuis 2021, l'attention est portée sur la question de la durée d'exploitation des ateliers sidérurgiques. Nous essayons d'améliorer la précision des données chronologiques en appliquant la méthode de l'archéomagnétisme sur la datation des bas-fourneaux et donc des dernières opérations de réduction qui ont eu lieu dans ces structures.

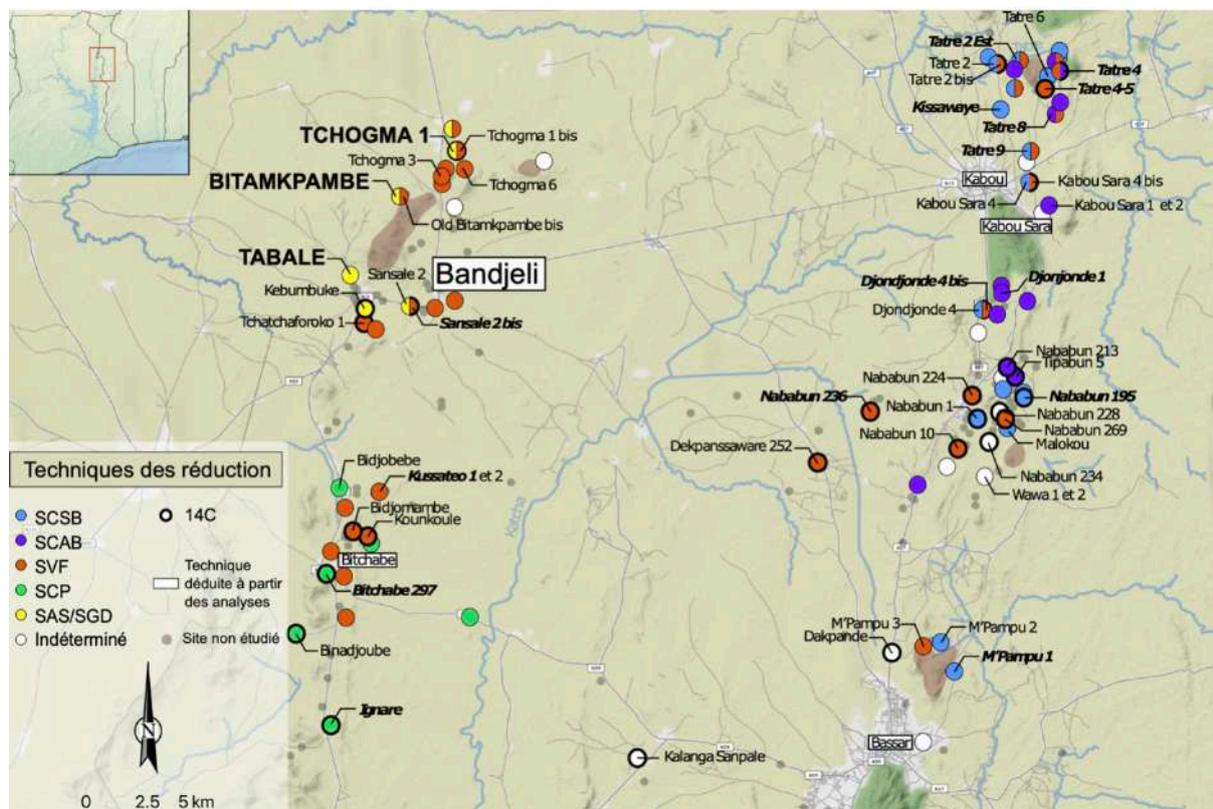


Figure 2 : Localisation des principaux ateliers bassar de production et suivant les techniques employées (Robion-Brunner et al. 2022)

Malgré des recherches approfondies menées dans la région de Bassar (Figure 2) pendant plusieurs années, la compréhension chronologique continue à rencontrer des limites significatives. La dépendance prédominante à la datation au radiocarbone, souvent basée sur un nombre limité d'échantillons par site, a constitué un obstacle majeur (de Barros 2021, Robion-Brunner et al. 2022 ; Tableau 1). De plus, le radiocarbone peut présenter des limitations intrinsèques, telles que l'effet de vieux bois et l'effet de plateau sur la courbe de calibration, comme pour les cinq derniers siècles, entraînant des intervalles de datation multimodales (Figure 3). Ces difficultés, rencontrées non seulement dans la région de Bassar mais généralement en Afrique de l'Ouest, affectent la précision chronologique de ces activités, rendant extrêmement complexe une reconstitution détaillée de l'histoire de la production ancienne du fer.

Nom du site	Code du site	Nom de l'échantillon	Localisation de l'échantillon	Code du laboratoire	Date (BP)	Date calibrée (cal AD) à 2 sigma	Projet de Barros	Projet SidérEnT	Projet AFRICA	Projet 80 Prime
Bidjomambe	Bidj	361	30-40	Beta 356715	640 ± 30	AD 1283-1397		1		
Binadjoubé	BI355	355	30-60	Beta 355135	540 ± 30	AD 1316-1437		1		
Bitampkambe	BIT	Scorie SVF n°1	dans scorie proximité du four BIT02	SacA65308	250±30	[1638 ; 1688] (36 %) [1727 ; 1807] (59 %)			1	
Bitampkambe	BIT	Scorie SVF n°2	dans scorie proximité du four BIT02	SacA66453	270 ± 30	[1626 ; 1685] (46 %) [1728 ; 1808] (49 %)			1	
Bitchabe 297	BK297	351	40-50	Beta 355130	580 ± 30	AD 1300-1419		1		
Dakpande	DK		45-65	Beta 3044	510 ± 50	AD 1305-1463	1			
Dekpassanware 252	Dek252		50-70	Beta 5352	330 ± 50	AD 1454-1649	1			
Dekpassanware 252	Dek252		40-50	Beta 169561	640 ± 40	AD 1281-1400		1		
Djondjondé 4 bis	Dj4b		amas 1 -80/- 100cm	Beta 421728	500 ± 30	AD 1333-1449		1		
Ingare	Ing224	354	30-40	Beta 355129	670 ± 30	AD 1297-1399		1		
Kabou Sara 4 bis	Ks4b			Poz-85519	620 ± 30	AD 1292-1401		1		
Kalanga Sanpale	KaIs	155		Beta 385463	590 ± 30	AD 1299-1413		1		
Kebumbuke	Keb			Beta 385462	110 ± 30	AD 1681-1938		1		
Kounkoule	Koun	9	32-70	Beta 3042	580 ± 50	AD 1295-1425	1			
Nababun 1	N1		85-125	Beta 3415	590 ± 50	AD 1291-1422	1			
Nababun 10	N10		60	Beta 3416	660 ± 60	AD 1261-1411	1			
Nababun 195	N195			Beta 385464	620 ± 30	AD 1292-1401		1		
Nababun 213	N213		20-75	Beta 6339	350 ± 50	AD 1452-1642	1			
Nababun 228	N228		30-100	Beta 5351	580 ± 50	AD 1295-1425	1			
Nababun 224	N224			Beta 385465	730 ± 30	AD 1224-1298		1		
Nababun 234	N234		25-60	Beta 6292	<300 BP	AD 1527-1644	1			
Nababun 236	N236			Beta 385466	760 ± 30	AD 1219-1284		1		
Nababun 269	N269		30-80	Beta 6293	<300 BP	AD 1527-1644	1			
Sansale 2 bis	S2b			Poz-85520	155 ± 30	AD 1666-...		1		
Tatre 2 bis	Ta2b			Beta 4401	610 ± 50	AD 1285-1414	1			
Tatre 4	Ta4	Tatre 4d	Amas 112, 210-230	Beta 414107	370 ± 30	AD 1447-1634		1		
Tatre 4	Ta4		Rivière scorie	Poz-77816	330 ± 30	AD 1477-1643		1		
Tatre 4	Ta4	Tatre 4c	Amas 112, 100-150	Beta 414106	330 ± 30	AD 1477-1643		1		
Tatre 4	Ta4	Tatre 4b	Amas 8, 80-100	Beta 385468	320 ± 30	AD 1483-1646		1		
Tatre 4	Ta4	Tatre 4e	Amas 2, 80-100	Beta 414108	250 ± 30	AD 1521-...		1		
Tatre 4	Ta4	Tatre 4a	Intérieur du fourneau 33	Beta 385467	60 ± 30	AD 1693-1920		1		
Tatre 4-5	Ta4-5	Tatré 4-5b	amas 3, -20cm	Beta 433413	710 ± 30	AD 1256-1385		1		
Tatre 4-5	Ta4-5	Tatré 4-5b	amas 3, 80/- 100cm	Beta 421729	640 ± 30	AD 1283-1397		1		
Tchachaforokoro 1	TF		25	Beta 3043	<300 BP	AD 1527-1644	1			
Tchogma 1	Tch1	S	250-260	Beta 8801	270 ± 50	AD 1471-...		1		
Tchogma 1	Tch1	N	30-150	Beta 4400	260 ± 50	AD 1482-...		1		
Tchogma 1	Tch1	1	scorie associée à F99-133	SacA71819	290 ± 30	AD 1499 - 1662				1
Tchogma 1	Tch1	2	scorie associée à F99-133	SacA71820	265 ± 30	AD 1512 - 1799				1
Tchogma 1 bis	Tch1	Tchogma 1b2	-100cm	Beta 421730	80 ± 30	AD 1690-1926		1		
Tipabun 5	Tip	Tipabun N	65-100	Beta 5353	220 ± 50	AD 1520-...		1		
Tipabun 5	Tip	Tipabun S	35-55	Beta 6340	<300 BP	AD 1527-1644		1		
Total des datations C14							15	22	2	2

Tableau 1 : Datations radiocarbones pour les sites sidérurgiques de la région de Bassar

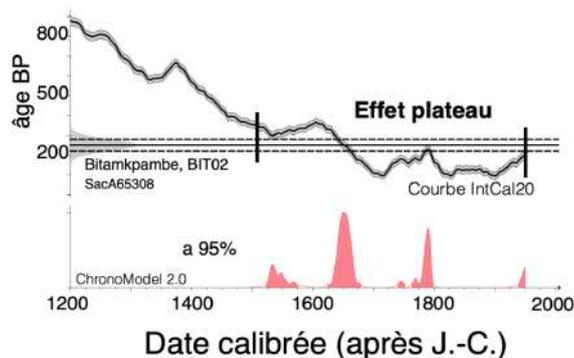


Figure 3 : Exemple de datation au radiocarbone d'un échantillon de charbon de bois prélevé à Bitampkambe

Parmi les objectifs principaux du projet AFRICA, il y a la volonté de surmonter ces obstacles chronologiques en adoptant une méthode de datation alternative pratiquement inédite en Afrique¹, l'archéomagnétisme. Cette méthode est basée sur l'enregistrement des variations du champ magnétique terrestre par les minéraux magnétiques contenus dans les terres cuites

¹ Au Burkina Faso (Korsimoro) : SERNEELS *et al.* 2012, 2013, 2014, 2015 ; DONADINI *et al.* 2015 ; KAPPER *et al.* 2016 ; KAPPER *et al.* 2017 ; KAPPER *et al.* 2020. En Côte d'Ivoire (Dombala et Siola) : SERNEELS *et al.* 2012, 2013, 2014, 2015 ; KAPPER *et al.* 2020. Au Tchad (région Congo) : TCHIBINDA MADINGOU *et al.* 2020. Au Kenya (Mont Kenya) : TCHIBINDA MADINGOU *et al.* 2020. Au Sénégal : étude archéomagnétique en cours.

archéologiques au moment de la dernière chauffe. Cette méthode permet de dater la dernière exposition à haute température du bas-fourneau (Hervé, Lanos 2018).

Entre le 3 et le 17 octobre 2021, une première mission dédiée à l'archéomagnétisme dans le district de Bandjeli (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), située au nord-ouest de la région de Bassar, a été réalisée. Elle s'est effectuée dans le cadre de trois projets : le projet AFRICA, le projet TIMA (Time of Iron Metallurgy in Africa), financé par la MITI du CNRS pour les années 2021-2022 et dirigé conjointement par Gwenaël Hervé (CEA - LSCE/UMR8212) et Caroline Robion Brunner (CNRS - TRACES/UMR5608) et le projet DATOGO, financé par le programme DIM-MAP (Domaines d'Intérêt Majeur - Matériaux Anciens et Patrimoniaux) de la région Île-de-France et dirigé par Gwenaël Hervé (CEA - LSCE/UMR8212)².

Trois sites avaient été retenus pour l'échantillonnage archéomagnétique : Tchogma 1 (9,47 °N 0,63 °E), Bitamkpambe (9,45 °N 0,61 °E) et Tabale (9,43 °N 0,59 °E). Les mesures archéomagnétiques avaient été effectuées au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) à Gif-sur-Yvette, sous la supervision de Gwenaël Hervé. Un total de 14 datations archéomagnétiques ont été produites, avec un intervalle de précision moyen d'environ 40 ans pour les dates avec un niveau de confiance de 95 % (Tableau 2). Ces datations couvrent une période allant du début du XVIIe siècle à la première moitié du XXe siècle. Elles soulignent la faisabilité de l'archéomagnétisme dans l'analyse de la chronologie des sites sidérurgiques en Afrique de l'Ouest.

Site	Structure	Technique	gufm	
Tchogma 1	TCH07	SAS/SGD	-	
	TCH11	SAS/SGD	[1675 ; 1713]	
	TCH16	SAS/SGD	[1686 ; 1720]	
	TCH38	SAS/SGD	[1615 ; 1680]	
	TCH43	SVF	[1846 ; 1891]	
	TCH66	SAS/SGD	-	
	TCH96	SVF	[1916 ; 1984]	
	TCH99	SVF	[1658 ; 1739]	
	TCH104	SAS/SGD	[1697 ; 1782]	
	TCH122	SAS/SGD	[1733 ; 1783]	
	TCH133	SVF	[1650 ; 1703]	
	TCH134	SAS/SGD	-	
	Bitamkpambe	BIT01	SVF	[1901 ; 1940]
		BIT02	SVF	-
BIT03		SAS/SGD	[1833 ; 1903]	
BIT04		SAS/SGD	[1827 ; 1868]	
Tabale	TAB01	SAS/SGD	[1971 ; 2000]	
	TAB02	SAS/SGD	[1923 ; 1977]	

Tableau 2 : Intervalle de date à 95% de confiance des bas fourneaux de Bandjeli en utilisant le logiciel Chronomodel

À la suite des résultats préliminaires engageants, il était souhaitable de poursuivre l'application de cette méthode de datation avec un financement dédié en parallèle au projet

² C'est grâce à ce projet DATOGO que Giorgia Ricci s'est initiée à l'archéomagnétisme à travers un stage de Master 2.

AFRICA. Le projet de recherche 80Prime OBTAAIN (Outline the Breadth, Timescale and impActs of African Iron metallurgy) a été déposé et sélectionné avant l'été 2023 par le CNRS. Dans le cadre de ce projet, une bourse de recherche doctorale a été attribuée à Giorgia Ricci. Son travail de recherche est axé sur l'analyse de l'évolution chronologique de la métallurgie du fer dans la région de Bassar, sur la période allant du XVe au XXe siècle. Il a pour objectif de reconstituer les dynamiques de production de l'atelier sidérurgique de Tchogma 1, en utilisant la méthode de datation archéomagnétique.

La décision de concentrer l'analyse exclusivement sur Tchogma 1 a été motivée par la nécessité de mener une étude approfondie et représentative à l'échelle d'un atelier sidérurgique. Par conséquent, Bitamkpambe et Tabale ont été exclus. Cependant, ces deux sites restent d'intérêt car ils peuvent servir de « boîte à outils », tant comme terrain de réflexion expérimental pour la méthodologie archéomagnétique que comme source d'observations archéologiques en raison de leur très bon état de conservation. Les bas-fourneaux de ces deux ateliers pourraient constituer des points de référence et de comparaison morphologique avec les structures présentes à Tchogma 1, où, dans de nombreux cas, seules les bases des fourneaux sont conservées en dessous des événements.

Du 12 au 28 octobre 2023 a eu lieu la première mission de terrain dans ce projet. Les objectifs définis étaient les suivants :

- Examiner les raisons des disparités des résultats archéomagnétiques obtenus sur les structures sidérurgiques échantillonnées en 2021 par des observations directes et, dans certains cas, par de nouveaux prélèvements archéomagnétiques sur des structures déjà analysées ;
- Poursuivre l'acquisition des échantillons sur de nouveaux fours en vue d'acquies de nouvelles données archéomagnétiques ;
- Reconstituer la morphologie des bas fourneaux en fonction des techniques identifiées grâce à des fouilles avec établissement d'une documentation complète (fiche d'enregistrement, relevés de plan et coupe détaillés) ;
- Comprendre l'organisation spatiale de l'atelier de réduction en prenant en compte son évolution temporelle ;
- Comprendre les relations chronologiques entre les deux techniques de réduction ;
- Planifier de la mission suivante (automne 2024).

Les résultats des prospections terrestres, des fouilles archéologiques et des prélèvements archéomagnétiques sur les bas-fourneaux des sites de Tchogma 1, Bitamkpambe et Tabale seront donc présentés dans ce rapport.

IV.1.2 Présentation de l'équipe

Responsable(s) du projet	Caroline Robion-Brunner, Essohanam Batchana
Responsable d'opérations	Caroline Robion-Brunner
Analyses géologiques	Guillaume Estrade, Marie-Pierre Coustures, Didier Beziat
Archéomagnétisme	Gwenaël Hervé, Giorgia Ricci, Aurélie Van Toer
Équipe de fouille	Séverin Bakrobena, Kpaldo Gbanle, Pakou Haréna, Gwenaël Hervé, Baba N'Djoh, Giorgia Ricci, Caroline Robion-Brunner, Yao Songhi, ileghan Tigon, Aurélie Van Toer, Konley Yamgname
Rédaction	Giorgia Ricci, Caroline Robion-Brunner, Gwenaël Hervé
Mise en Page	Giorgia Ricci, Caroline Robion-Brunner

III.1.3 Résultats de la mission archéomagnétique 2023

La campagne archéomagnétique menée du 12 au 28 octobre 2023 s'est déroulée sur les sites de Tchogma 1, Bitamkpambe et Tabale (Figure 2). Au cours de la phase initiale des opérations sur le terrain, des prospections de surface ont été effectuées afin de repérer et localiser les fours à l'aide des coordonnées GPS enregistrées lors d'une mission du projet Sidérent. Une fois les fours identifiés et la zone environnante dégagée, la faisabilité du prélèvement des échantillons archéomagnétiques sur les parois ou au fond des structures a été évaluée. Cette évaluation du potentiel archéomagnétique a été classée selon les critères suivants :

- Bon : lorsque les parties composant le four sont clairement visibles et qu'elles semblent être en place.
- Assez bon : lorsque les parties composant le four semblent visibles et en place, mais que la présence de végétation, et/ou de termitières et/ou de zones de passage du bétail autour ou au-dessus de la structure a/ont pu altérer.
- Faible : lorsque la visibilité des parties composant le four est limitée ou lorsque certaines parties ne sont pas exactement en place, avec des éléments susceptibles d'altérer le dépôt d'origine.
- À explorer : lorsque les parties composant le four ne sont pas visibles, mais qu'il existe des signes suggérant la présence d'une structure sidérurgique sous-jacente, sans pouvoir évaluer son potentiel archéomagnétique.
- Aucun potentiel : lorsqu'il n'y a aucune preuve que les parties composant le four soient encore en place ou suffisamment bien conservées.
- Non identifié : lorsque la structure sidérurgique indiquée par les coordonnées géographiques GPS n'a pas pu être retrouvée.

Lors de la mission d'octobre 2023, nous avons décidé de rouvrir certains des fours qui avaient été précédemment examinés et échantillonnés du point de vue archéomagnétique en 2021 (Tableau 3). L'objectif était d'étudier les raisons des différences observées dans certains résultats archéomagnétiques. Enfin, des échantillonnages archéomagnétiques ont été réalisés sur de nouveaux bas-fourneaux afin de mieux contraindre la méthodologie archéomagnétique et d'augmenter le nombre de dates disponibles (Figure 4).

District	Site	Coordonnées		Nature du site	Opérations de la mission de 2021	Opérations de la mission de 2023
Bandjeli	Tchogma 1	9,47 °N	0,63 °E	site de réduction	Prospection pédestre, identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS, prélèvement archéomagnétique de 12 bas-fourneaux (TCH11-16-24-38-43-66-96-99-104-122-133-134)	Prospection pédestre, identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS, réouverture de 4 fours précédemment étudiés (TCH24-99-104-122), échantillonnage de 2 fours précédemment analysés (TCH99-104), fouilles archéologiques et échantillonnage archéomagnétique de 5 nouveaux fours (TCH13-68-69-77-80)
	Bitamkpambe	9,45 °N	0,61 °E	site de réduction	Identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS, prélèvement archéomagnétique de 4 bas-fourneaux (BIT01-02-03-04)	Identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS, réouverture des fours précédemment étudiés (BIT01-03-04), fouilles archéologiques (BIT01-03-04) et prélèvement archéomagnétique (BIT04)
	Tabale	9,43 °N	0,59 °E	site de réduction	Identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS (TAB01-02) et prélèvement archéomagnétique de 2 bas-fourneaux (TAB01-02)	Identification des fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS (TAB01-02-03) et réouverture des fours précédemment étudiés (TAB01-02)

Tableau 3 : Synthèse des opérations menées durant les missions 2021 et 2023

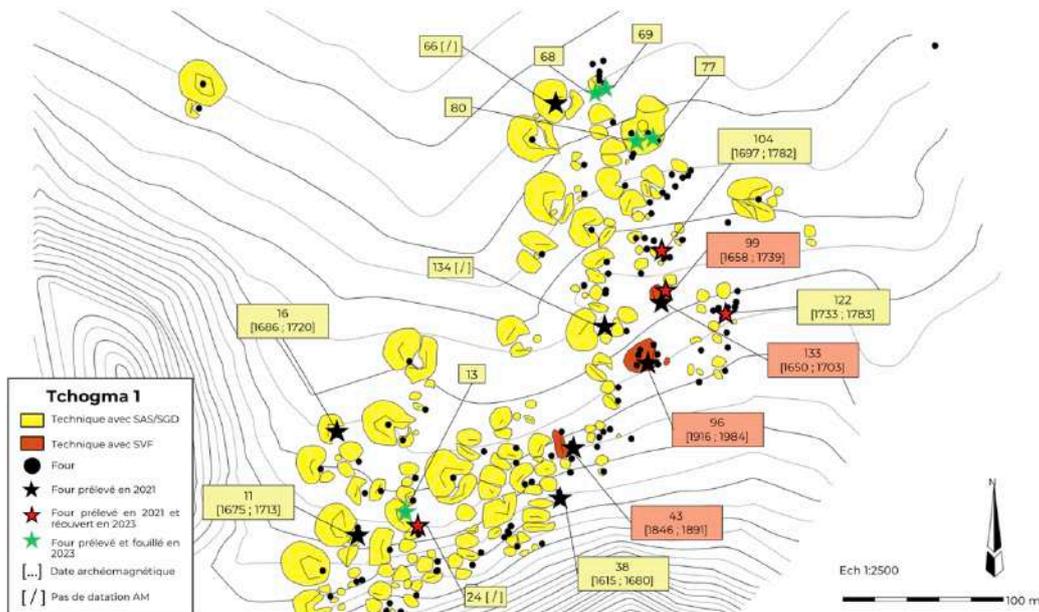


Figure 4 : Localisation des fourneaux ayant fait l'objet de prélèvement sur le site de Tchogma 1 lors des missions de 2021 et 223 (après le relevé topographique réalisé par Camille Merceron-Mangier)

1) Tchogma 1

Le site de Tchogma 1 est le site sidérurgique qui présente le plus grand volume de scories du district Bassar. Il possède une emprise au sol de 56000 m², plus de 170 amas de scories - dont certains atteignent une hauteur de 5 mètres - et environ 130 bas fourneaux – dont les vestiges sont encore en place et visibles à la surface du sol actuel (Figure 4). Les amas de scories sont distingués selon deux techniques distinctes : la technique SAS/SGD (séparation horizontale de la scorie), prédominante sur le site, et la technique SVF (séparation verticale de la scorie), représentée uniquement par trois amas de scories.

Prospections de surface

Dans le cadre de la prospection pédestre, les résultats de ces opérations pour chaque four et leurs pronostics respectifs de faisabilité du prélèvement archéomagnétique sont présentés dans le Tableau 4. La distribution des bas-fourneaux visibles en surface montre la présence de 136 exemplaires, dont 123 sont associés à la technique SAS/SGD et 13 à la technique SVF. Parmi les bas-fourneaux associés à la technique SAS/SGD, 13 ont été recensés avec un potentiel archéomagnétique considéré comme « bon », 12 comme « assez bon », 23 avec un potentiel « faible » et 27 destinés à être explorés en raison de la difficulté à déterminer leur potentiel. En outre, 12 bas-fourneaux n'ont pas été identifiés lors de cette prospection. En ce qui concerne les bas-fourneaux associés à la technique SVF, 2 fours ont été identifiés avec un « bon » potentiel, 3 comme « assez bon », 2 avec un faible potentiel et 6 à être explorés.

N° Structure	Technique	Amas	Localisation	Potentiel AM	Prélevement
TCH01	SAS/SGD		9.468603231 °N 0.629009145 °E	une territière et base d	/
TCH02	SAS/SGD	2,3,4	9.468545698 °N 0.62951380 °E	Faible	/
TCH03	SAS/SGD	8	9.468542107 °N 0.629609399 °E	absence d'un grand arbre	/
TCH04	SAS/SGD	8	9.468550085 °N 0.629632793 °E	Pas de potentiel	/
TCH05	SAS/SGD	9,10,11	9.468377895 °N 0.629671822 °E	is de potentiel (territièr	/
TCH06	SAS/SGD	09,10,11	9.468419580 °N 0.629699895 °E	encore en place occupé	/
TCH07	SAS/SGD	16	9.468529657 °N 0.629704094 °E	Pas trouvé	/
TCH08	SAS/SGD	9,10,11	9.468378655 °N 0.629732349 °E	Assez bon	/
TCH09	SAS/SGD	13	9.468465722 °N 0.629848450 °E	Faible	/
TCH10	SAS/SGD	19	9.468722202 °N 0.629697537 °E	Pas identifié	/
TCH11	SAS/SGD	21, 22	9.468817613 °N 0.629614060 °E	Assez bon	11/10/2021 (7 blocs)
TCH12	SAS/SGD	22	9.468847726 °N 0.629607418 °E	Pas de potentiel	/
TCH13	SAS/SGD	26	9.468923594 °N 0.629781277 °E	Assez bon	23/10/2023 (7 blocs)
TCH14	SAS/SGD	33	9.469176736 °N 0.629922295 °E	À explorer	/
TCH15	SAS/SGD	29	9.469219968 °N 0.629606360 °E	Pas de potentiel	/
TCH16	SAS/SGD	30	9.469375951 °N 0.629984750 °E	Bon	11/10/2021 (7 blocs)
TCH17	SAS/SGD	34	9.469043091 °N 0.629645028 °E	Pas de potentiel	/
TCH18	SAS/SGD	35	9.469055689 °N 0.629633995 °E	À explorer	/
TCH19	SAS/SGD	36, 37	9.469132925 °N 0.629830980 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH20	SAS/SGD	31	9.469432264 °N 0.629673335 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH21	SAS/SGD	38	9.469133924 °N 0.630045386 °E	À explorer	/
TCH22	SAS/SGD	43, 41	9.468685853 °N 0.629969004 °E	À explorer	/
TCH23	SAS/SGD	42	9.468607798 °N 0.629966903 °E	Bon	/
TCH23a1	SAS/SGD	45	9.468811345 °N 0.629851710 °E	Pas identifié	/
TCH23b1	SAS/SGD	22	9.468907982 °N 0.629990989 °E	Pas identifié	/
TCH24a1	SAS/SGD	25	9.468504900 °N 0.629849540 °E	Assez bon	06/10/2021 (8 blocs)
TCH25	SAS/SGD	25	9.468839493 °N 0.629834396 °E	Pas identifié	/
TCH26	SAS/SGD	44	9.469003421 °N 0.629617950 °E	Assez bon	/
TCH26	SAS/SGD	47	9.468639963 °N 0.630158352 °E	Assez bon	/
TCH27	SAS/SGD	47	9.468710373 °N 0.630205820 °E	Faible	/
TCH28	SAS/SGD	51	9.468800630 °N 0.630337255 °E	Assez bon	/
TCH29	SAS/SGD	55, 51	9.468833426 °N 0.630356264 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH30	SAS/SGD	51	9.468823267 °N 0.630261358 °E	Assez bon	/
TCH31	SAS/SGD	51, 52	9.468747136 °N 0.630410770 °E	tertiel (zone de passage	/
TCH32	SAS/SGD	62	9.468861816 °N 0.630373828 °E	Faible (territièr	/
TCH33	SAS/SGD	59, 60	9.469100713 °N 0.630452885 °E	Pas identifié	/
TCH34	SAS/SGD	60	9.469113278 °N 0.630491949 °E	À explorer	/
TCH35	SAS/SGD	55	9.468767936 °N 0.630551795 °E	à (zone de passage du bl	/
TCH36	SAS/SGD	59, 73	9.469219548 °N 0.630402086 °E	Pas de potentiel	/
TCH37	SAS/SGD	66	9.469057948 °N 0.630645344 °E	Pas de potentiel	/
TCH38	SAS/SGD	66	9.469033036 °N 0.630648978 °E	e d'un arbre et de racine	07/10/2021 (9 blocs)
TCH39	SAS/SGD	67	9.469180028 °N 0.630710604 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH40	SAS/SGD *	65, 69, 70	9.469262385 °N 0.630602853 °E	de (territièr et végéta	/
TCH41	SAS/SGD *	67	9.469248647 °N 0.630717333 °E	À explorer	/
TCH42	SVF	68	9.469292254 °N 0.630718394 °E	Bon	/
TCH43	SVF	68	9.469331585 °N 0.630714815 °E	Assez bon	07/10/2021 (8 blocs)
TCH44	SVF	68	9.469398716 °N 0.630660386 °E	À explorer (pas clair)	/
TCH45	SAS/SGD	74	9.469283310 °N 0.630219205 °E	is de potentiel (territièr	/
TCH46	SAS/SGD	73	9.469306209 °N 0.630403405 °E	Pas de potentiel	/
TCH47	SAS/SGD	81	9.469344698 °N 0.629758746 °E	Faible	/
TCH48	SAS/SGD	79	9.469318113 °N 0.629864093 °E	Pas de potentiel	/
TCH49	SAS/SGD	84, 85	9.469790740 °N 0.629791779 °E	Non identifié	/
TCH50	SAS/SGD	84, 85	9.46995336 °N 0.629864440 °E	Non identifié	/
TCH51	SAS/SGD	91	9.470184819 °N 0.630901331 °E	Bon	/
TCH52	SAS/SGD	91	9.470202553 °N 0.630904386 °E	Assez bon	/
TCH53	SAS/SGD	91, 92, 93, 94	9.470229349 °N 0.630779906 °E	À explorer (il semble bon	/
TCH54	SAS/SGD	94	9.470296764 °N 0.630918967 °E	À explorer (il semble bon	/
TCH55	SAS/SGD	95	9.470382757 °N 0.630909077 °E	Bon	/
TCH56	SAS/SGD	97, 96a, 96b	9.470544996 °N 0.630820917 °E	Pas de potentiel	/
TCH57	SAS/SGD	104, 105	9.470747964 °N 0.630778334 °E	Pas de potentiel	/
TCH58	SAS/SGD	101,102,103	9.470406286 °N 0.630540703 °E	Non identifié	/
TCH59	SAS/SGD	106a	9.470913437 °N 0.630775206 °E	Pas de potentiel	/
TCH60	SAS/SGD	107	9.470792200 °N 0.631008789 °E	À explorer (il semble bon	/
TCH61	SAS/SGD	108a, 126, 127	9.470704377 °N 0.631147829 °E	Faible	/
TCH62	SAS/SGD	108c	9.470638929 °N 0.631158336 °E	Bon	/
TCH63	SAS/SGD	109	9.470499803 °N 0.631072370 °E	Non identifié	/
TCH64	SAS/SGD	109	9.470500510 °N 0.631122273 °E	Pas de potentiel	/
TCH65	SAS/SGD	119, 111	9.471056517 °N 0.630851732 °E	Non identifié	/
TCH66	SAS/SGD	113	9.471236641 °N 0.630511984 °E	pièce (sur pentes de Fema	10/10/2021 (9 blocs)
TCH67	SAS/SGD	115, 116	9.471156972 °N 0.630935337 °E	Pas de potentiel	/
TCH68	SAS/SGD	117	9.471308549 °N 0.630843725 °E	un grand arbre à côté et	23/10/2023 (7 blocs)
TCH69	SAS/SGD	117	9.471337264 °N 0.630885519 °E	Faible	23/10/2023 (6 blocs)
TCH70	SAS/SGD	117	9.471399968 °N 0.630890492 °E	Pas de potentiel	/
TCH71	SAS/SGD	117	9.471390556 °N 0.630856298 °E	Pas de potentiel	/
TCH72	SAS/SGD	117	9.471417309 °N 0.630657626 °E	Pas de potentiel	/
TCH73	SAS/SGD	117	9.471440122 °N 0.630868872 °E	is de potentiel (très aras	/
TCH74	SAS/SGD	117	9.471494876 °N 0.630819122 °E	entiel (au bord du charn	/
TCH75	SAS/SGD	117	9.471503568 °N 0.630880983 °E	Non identifié	/
TCH76	SAS/SGD	118,119,120,121	9.471052845 °N 0.631193165 °E	Pas de potentiel	/
TCH77	SAS/SGD	118,119,120,121	9.471070563 °N 0.631152245 °E	Faible (très fragil	23/10/2023 (6 blocs)
TCH78	SAS/SGD	118,119,120,121	9.471099778 °N 0.631138045 °E	Faible (non priorita	/
TCH79	SAS/SGD	118,119,120,121	9.471092274 °N 0.631042178 °E	e (non priorita	/
TCH80	SAS/SGD	118,119,120,121	9.471045134 °N 0.631075138 °E	Assez bon	23/10/2023 (7 blocs)
TCH81	SAS/SGD	121,122,124	9.470960570 °N 0.631048419 °E	À explorer	/
TCH82	SAS/SGD	121,122,124	9.470978981 °N 0.631056224 °E	Faible	/
TCH83	SAS/SGD	126, 128	9.470794346 °N 0.631294758 °E	À explorer	/
TCH84	SAS/SGD	126, 128	9.470860726 °N 0.631273229 °E	À explorer	/
TCH85	SAS/SGD	128	9.470940218 °N 0.631338423 °E	Pas de potentiel	/
TCH86	SAS/SGD	128	9.470857586 °N 0.631366426 °E	Non identifié	/
TCH87	SAS/SGD	128	9.470884813 °N 0.631380668 °E	Assez bon	/
TCH88	SAS/SGD	127	9.470758752 °N 0.631221962 °E	Pas de potentiel	/
TCH89	SAS/SGD	127	9.470737262 °N 0.631246213 °E	is de scones, aucune pa	/
TCH90	SAS/SGD	130	9.469979041 °N 0.631024931 °E	absence d'un gros arbre a	/
TCH91	SVF	132	9.469858698 °N 0.631102773 °E	À explorer	/
TCH92	SVF	132	9.469834241 °N 0.631093180 °E	Assez bon	/
TCH93	SVF	132	9.469898139 °N 0.631173906 °E	À explorer	/
TCH94	SVF	132	9.469840248 °N 0.631199731 °E	À explorer	/
TCH95	SVF	132	9.469784707 °N 0.631201613 °E	À explorer	/
TCH96	SVF	132	9.469795809 °N 0.631142960 °E	Bon	07/10/2021 (10 blocs)
TCH98	SVF	132	9.469778466 °N 0.631082129 °E	À explorer	/
TCH99	SVF	134	9.470183790 °N 0.631229088 °E	Faible	is de la cue + quelques f
TCH100	SVF	134	9.470218016 °N 0.631246996 °E	Faible (non priorita	/
TCH101	SAS/SGD	136	9.470299133 °N 0.631103000 °E	À explorer	/
TCH102	SAS/SGD	137, 142	9.470439084 °N 0.631134583 °E	Pas de potentiel	/
TCH103	SAS/SGD	141, 142	9.470386312 °N 0.631236632 °E	À explorer (pas clair)	/
TCH104	SAS/SGD	142	9.470429495 °N 0.631226668 °E	Bon	3(1 gros bloc de paroi en
TCH105	SAS/SGD	141, 142	9.470301482 °N 0.631266789 °E	Bon	/
TCH106	SAS/SGD	142	9.47048313 °N 0.631179956 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH107	SAS/SGD	138	9.470492447 °N 0.631336978 °E	Pas de potentiel	/
TCH108	SAS/SGD	144	9.469654113 °N 0.630977882 °E	Bon	/
TCH109	SAS/SGD	145	9.469578615 °N 0.630978338 °E	Faible (non priorita	/
TCH110	SAS/SGD	146	9.469415200 °N 0.63092194 °E	Pas de potentiel	/
TCH111	SAS/SGD	148, 147	9.469400572 °N 0.630891777 °E	À explorer (il semble bon	/
TCH112	SAS/SGD	148	9.46939842 °N 0.630872847 °E	Pas de potentiel	/
TCH113	SAS/SGD	148, 149	9.469316302 °N 0.630860471 °E	tertiel (zone de passage	/
TCH114	SAS/SGD	150	9.469175323 °N 0.630896785 °E	Pas de potentiel	/
TCH115	SAS/SGD	151	9.469362645 °N 0.631054375 °E	Bon	/
TCH116	SAS/SGD	152, 153	9.469496967 °N 0.631154712 °E	À explorer (pas clair)	/
TCH117	SAS/SGD	154, 155	9.469887811 °N 0.631448110 °E	À explorer (pas priorita	/
TCH118	SAS/SGD	156, 156	9.469749886 °N 0.631582925 °E	À explorer (pas clair)	/
TCH119	SAS/SGD	155, 157	9.468883082 °N 0.631597806 °E	Bon	/
TCH120	SAS/SGD	157, 159	9.469968282 °N 0.631589977 °E	À explorer (il semble bon	/
TCH121	SAS/SGD	159, 163	9.470049093 °N 0.631566761 °E	Pas de potentiel	/
TCH122	SAS/SGD	159, 161, 162, 163	9.470076021 °N 0.631569893 °E	Bon	08/10/2021 (7 blocs)
TCH123	SAS/SGD	160	9.470110490 °N 0.631594789 °E	Pas de potentiel	/
TCH124	SAS/SGD	160	9.470113525 °N 0.631639442 °E	Faible (non priorita	/
TCH125	SAS/SGD	160	9.470141144 °N 0.631642871 °E	À explorer (pas clair)	/
TCH126	SAS/SGD	160, 162, 161	9.470107412 °N 0.631544474 °E	Pas de potentiel	/
TCH127	SAS/SGD	159, 161, 162	9.470091779 °N 0.631515344 °E	Faible (non priorita	/
TCH128	SAS/SGD	160	9.47020416 °N 0.631605921 °E	Bon	/
TCH129	SAS/SGD	165, 166, 167	9.470232993 °N 0.631760148 °E	Faible	/
TCH130	SAS/SGD	165	9.470291402 °N 0.631594935 °E	as clair et au bord du che	/
TCH131	Indéterminé	1	9.471601568 °N 0.632759795 °E	Non identifié	/
TCH132	Indéterminé	1	9.47149575 °N 0.632679973 °E	Non identifié	/
TCH133	SVF	134	9.470146404 °N 0.631219959 °E	Assez bon	07/10/2021 (6 blocs)
TCH134	SAS/SGD	89, 130, 131	9.469999181 °N 0.630902394 °E	Faible	11/10/2021 (8 blocs)
TCH135	SAS/SGD	172	9.471337076 °N 0.629890986 °E	Pas de potentiel	/
TCH136	SAS/SGD	171, 172	9.471217220 °N 0.629858089 °E	Pas de potentiel	/

Tableau 4 : Synthèse des informations concernant les fours étudiés sur le site de Tchogma 1

Réouverture des bas-fourneaux échantillonnés en 2021

Au cours de la mission 2023, nous avons décidé de réouvrir certains des fours qui avaient déjà été examinés et échantillonnés en 2021. L'objectif était d'étudier les raisons de la différence entre certains résultats archéomagnétiques. Cette enquête est cruciale en vue de la prochaine campagne en 2024. Parmi les 12 bas-fourneaux échantillonnés à Tchogma 1 en 2021, nous en avons sélectionné quatre pour évaluation : le four TCH122 qui a donné des résultats archéomagnétiques positifs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ; TCH24 qui n'a pas fourni de données utiles et qui a donc été exclu de la datation (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ; TCH104 qui a d'abord donné des résultats négatifs mais qui a ensuite montré des améliorations significatives grâce à l'adoption d'un protocole de correction de la pente des parois (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ; et enfin TCH99 qui a donné des résultats de précision médiocre.

- Bas-fourneau TCH122 : bons résultats archéomagnétiques

Lors de la mission de 2023, le four TCH122 (9.470076021 °N 0.631569303 °E - technique SAS/SGD) a été réouvert et fouillé. La structure présente un bon état de conservation au niveau de sa base ainsi que des événements (Figure 5). De forme ovale, elle affiche un diamètre extérieur d'environ 70 cm et un diamètre intérieur de 65 cm. Bien que la porte ne soit pas visible, on présume qu'elle se situe à l'ouest. Une partie du fond de la cuve est préservée ; elle se caractérise par une couche d'argile compacte d'environ 5 cm d'épaisseur de couleur rouge-orange. Ce fond de cuve est légèrement penché vers l'ouest, en direction de la porte. Les parois de la structure, d'une épaisseur variant de 3 à 5 cm, ne présentent aucun signe évident de rechapage. La couleur de la paroi intérieure varie en fonction du degré d'oxydation durant le processus de réduction. Trois événements, distants de 15 cm les uns des autres, sont visibles à environ 30 cm au-dessus du fond de la cuve (Figure 6).



Figure 5 : Bas fourneau TCH122 avant le prélèvement de 2021

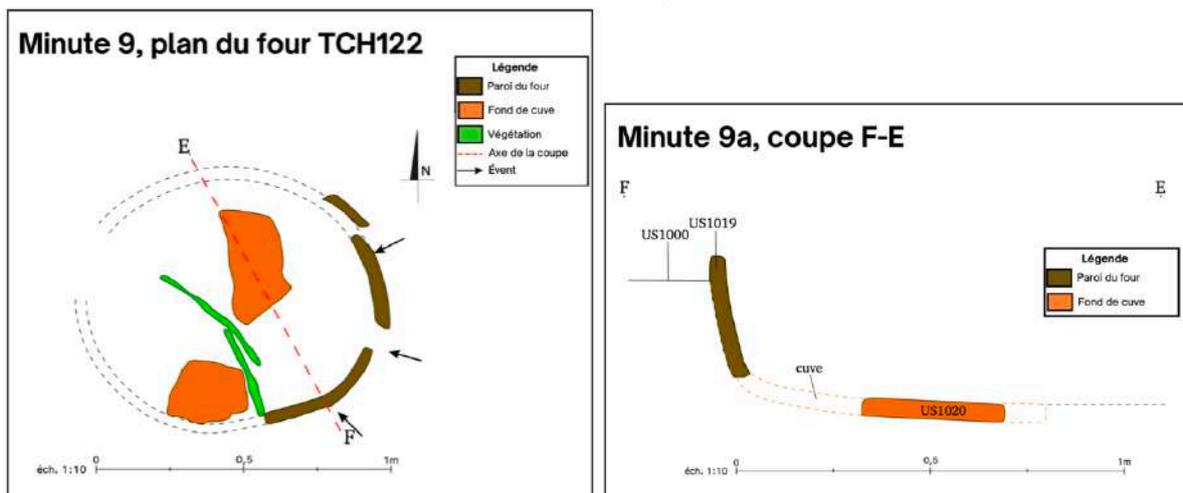


Figure 6 : Plan et coupe du four TCH122

Pendant la campagne archéomagnétique de 2021, sept blocs de paroi ont été prélevés au niveau des événements du four. Les analyses en laboratoire ont donné des résultats positifs, exprimés par un paramètre de regroupement k de 186. La réouverture du four a confirmé la bonne conservation des parois. Ces dernières sont restées en place avec une cohésion satisfaisante entre elles, se traduisant par de bons résultats archéomagnétiques.

- Bas-fourneau TCH24 : résultats archéomagnétiques négatifs

Lors de la mission de 2023, le four TCH24 (coordonnées : 9.468844900 °N, 0.629848640 °E - technique SAS/SGD) a été rouvert et fouillé. La structure du four est en assez bon état de conservation, cependant la présence de végétation et de termites ont été observées à proximité immédiate de la structure (Figure 7).



Figure 7 : Bas fourneau TCH24 avant le prélèvement de 2021

La forme du four est ovale, avec un diamètre extérieur d'environ 60 cm et intérieur de 50 cm. La porte n'a pas été observée, mais on présume qu'elle se trouvait du côté nord-ouest de la structure. Le fond de cuve du four n'est pas conservé, mais une petite trace compacte, granuleuse et argileuse avec des inclusions de scories de différentes tailles (<10 cm) et des

fragments de parois effondrés ont été détectés. L'épaisseur de la paroi du four varie entre 4 et 7 cm (Figure 8).

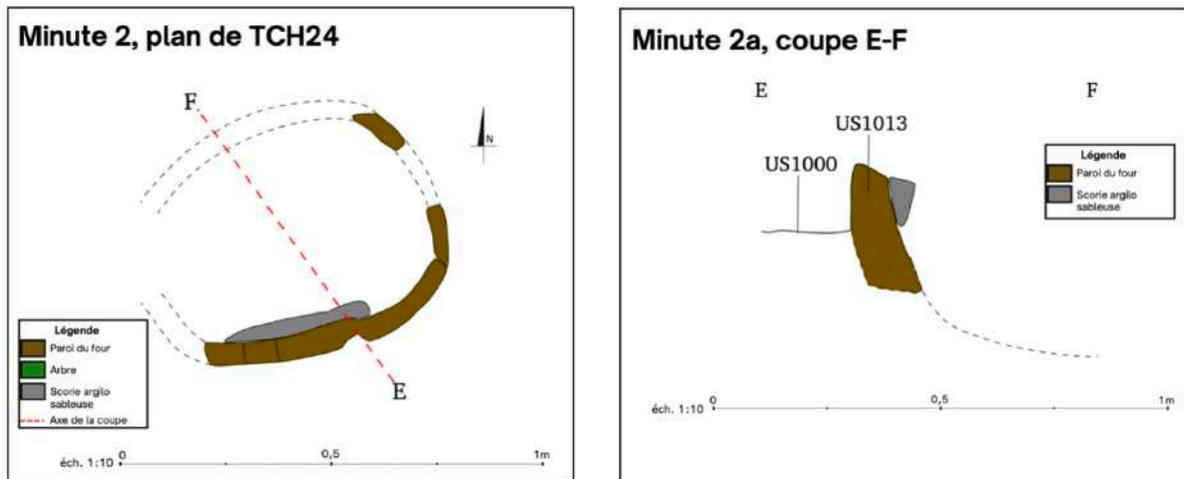


Figure 8 : Plan et coupe du four TCH24

Dans le cadre de la campagne archéomagnétique de 2021, huit blocs de parois avaient été prélevés et avaient donné des résultats inexploitable. Malgré la cohésion présumée entre les parois, les directions de l'aimantation thermorémanente (ATR) sont très dispersées, rendant impossible le calcul d'une moyenne et la correction subséquente. Ces résultats pourraient s'expliquer par un déplacement général du four, attribuable à la végétation environnante et/ou aux termitières. Cependant, les raisons de cette dispersion restent encore irrésolues.

- Bas-fourneau TCH104 : résultats archéomagnétiques améliorés grâce au protocole de correction de pente des parois

Le four TCH104 (9.470429466 °N 0.631226568 °E - technique SAS/SGD) a été réouvert et fouillé au cours de la mission de 2023. Sa base est en bon état et présente une bonne cohésion entre les parois (Figure 9). De forme ovale, le four a un diamètre externe d'environ 95 cm et interne de 83 cm. Bien que la porte n'ait pas été conservée, il est probable qu'elle était située du côté ouest de la structure. Le fond de cuve n'a pas été trouvé. Les parois du four varient en épaisseur de 6 à 10 cm et présentent différents gradients de couleur, du gris au rouge, indiquant des variations dans l'exposition à la chaleur et à l'oxygène. Une coloration plus intense près des événements suggère un environnement particulièrement oxydant.



Figure 9 : Bas fourneau TCH104 lors de son nettoyage effectué en 2023

Lors de la première mission en 2021, quatre événements étaient visibles, espacés d'environ 10 cm. Après les prélèvements effectués en 2021, seuls deux événements sont encore présents sur le côté sud du four, positionnée à environ 30 cm du fond de la cuve (Figure 10).

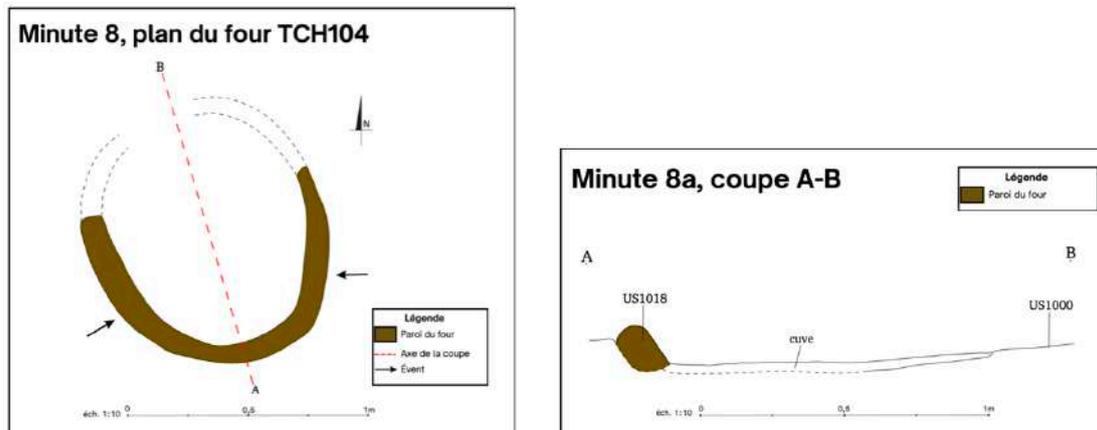


Figure 10 : Plan et coupe du four TCH104

Au cours de la mission de 2021, neuf blocs de paroi ont été prélevés. Les analyses en laboratoire ont révélé une dispersion significative dans les directions de l'aimantation thermorémanente (ATR), avec un paramètre de regroupement k égal à 16. Afin de corriger cette dispersion, un protocole de l'angle de pente des parois a été mis en œuvre en laboratoire, en supposant un angle de 90° sur l'ensemble du périmètre de la structure. Cette correction a permis de ramener le paramètre k à une valeur corrigée égale à 40. Bien que cela ait amélioré le regroupement, permettant ainsi l'inclusion dans le processus de datation archéomagnétique, les limitations persistent : cette valeur est juste au-dessus du seuil minimal pour être considérée comme acceptable. Malgré une observation attentive, il n'y a aucune preuve d'un déplacement significatif des parois justifiant la dispersion. Afin d'approfondir notre compréhension de la structure, un échantillonnage archéomagnétique supplémentaire a été effectué sur un grand bloc de paroi près d'un événement durant la mission de 2023. Cela permettra de réaliser une caractérisation minéralogique et magnétique spécifique sur des sections verticales et horizontales afin de rechercher des variations significatives. Afin d'améliorer le protocole de correction de l'angle de pente des parois, la pente de la base conservée du four a été mesurée directement sur le terrain. Cette mesure a pour but de mieux comprendre les caractéristiques structurelles du four, permettant ainsi une application plus pertinente et plus précise de la correction de l'angle de pente.

- Bas-fourneau TCH99 : résultats archéomagnétiques moyens



Figure 11 : Bas fourneau TCH99 avant le prélèvement de 2021

L'identification du four TCH99 (9.470183790 °N 0.631229098 °E - technique SVF) révèle une conservation non optimale de la structure (Figure 11).

Ce dernier a été fouillé par moitié lors de la mission 2023. La structure présente une forme ovale avec un diamètre externe d'environ 76 cm et un diamètre interne de 70 cm. La porte n'est pas conservée, mais elle peut être située dans la direction nord-ouest. Le fond de la cuve du four (Figure 12) était encore intact, caractérisé par une couche argileuse compacte de couleur rouge-orange d'une épaisseur d'environ 4 cm (US1003).



Figure 12 : Bas fourneau TCH99 lors de la fouille de 2023 avec la mise en lumière du fond de la cuve

Le fond de la cuve est légèrement penché vers le nord-ouest où l'on suppose que se trouvait la porte. Deux couches de parois ont été identifiées, probablement le résultat d'un rechapage successif. La première couche interne a une épaisseur d'environ 3 cm, tandis que la seconde mesure environ 6 cm. Sous le fond de la cuve (US1003), nous trouvons une autre couche (US1004) gravillonneuse composée de petites scories coulées en cordons fragmentés d'environ 1 cm. Cette couche a une épaisseur d'environ 3 cm et dépasse d'environ 20 cm le périmètre de la cuve. Elle est interprétée comme un lit de scories préparatoire sur lequel a été aménagé le fond de la cuve du four. Sous cette couche, nous trouvons une unité stratigraphique (US1005) composée de grands fragments de scories argilo-sableuses, de scories coulées et de petits fragments de parois informes. Cette couche est interprétée comme un ferrier précédant le four TCH99. Enfin, sous cette dernière unité stratigraphique, nous trouvons l'US1006 caractérisée par une couche de sédiments limoneux légèrement sablonneux brun-rougeâtre (Figure 13).

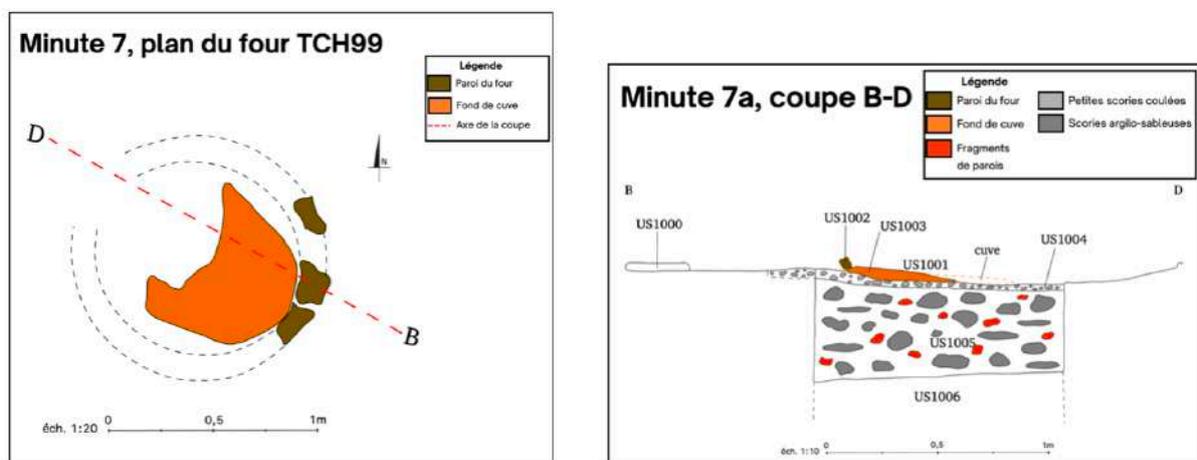


Figure 13 : Plan et coupe du four TCH99

Pendant la mission de 2021, sept blocs de la paroi du four ont été prélevés. La première analyse archéomagnétique a montré une dispersion considérable dans les directions d'aimantation thermorémanente (ATR), passant d'un coefficient k de 6 à 52 après correction de l'angle de pente, une valeur juste acceptable. Afin de mieux comprendre la dynamique post-chauffe de la structure et d'améliorer la précision des résultats archéomagnétiques, sept blocs ont été prélevés au niveau de la sole du four lors de la mission de 2023 (Figure 14). La dispersion des directions semble être principalement causée par les mouvements de la paroi vers l'extérieur après la chauffe. Le prélèvement de la sole a été effectué dans l'espoir d'obtenir des données plus cohérentes dans les directions de l'aimantation thermorémanente, en présupposant que la position de cette partie n'a pas été modifiée depuis sa construction et utilisation.

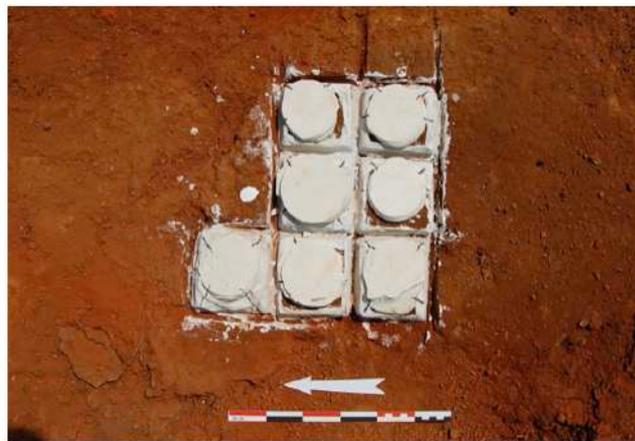


Figure 14 : Prélèvements archéomagnétiques de 7 blocs sur la cuve du four TCH99

Bilan de la réouverture de 4 bas-fourneaux

Dans l'ensemble, la réouverture des fourneaux a fourni une occasion idéale d'affiner notre réflexion sur la méthodologie d'échantillonnage et d'analyse archéomagnétique en permettant une étude approfondie du contexte archéologique. Les difficultés rencontrées, telles que la dispersion des données et les conditions de conservation précaires, ont conduit à l'adoption de protocoles correctifs et ont souligné la nécessité de poursuivre les investigations archéologiques.

Fouilles et prélèvements sur de nouvelles structures

Après la prospection de surface, des fouilles archéologiques et des prélèvements archéomagnétiques ont été menés. Cette approche vise à élargir notre compréhension méthodologique et chronologique du site sidérurgique de Tchogma 1. Dans ce contexte, cinq nouvelles structures sidérurgiques, identifiées lors de la prospection de surface pour leur potentiel archéomagnétique, ont été sélectionnées. Les structures concernées par cette étude sont TCH13, TCH68, TCH69, TCH77 et TCH80.

- Bas-fourneau TCH13

Au moment de son identification, la base du four TCH13 (9.468923694 °N 0.629781277 °E - technique SAS/SGD) présentait une conservation assez bonne, avec une cohésion entre les parois (Figure 15). Le four a été dégagé après le retrait de l'unité stratigraphique US1008 - comprenant des fragments de paroi de différentes tailles (de 10 à 30 cm) et un morceau de tuyère avec un diamètre externe de 7 cm et interne de 3,5 cm - identifiée comme l'effondrement de la cheminée du four.



Figure 15 : Bas fourneau TCH13 avant le prélèvement archéomagnétique de 2023

Par la suite, une moitié de la structure a été fouillée permettant de comprendre son implantation, et révélant une forme ovale avec un diamètre externe d'environ 81 cm et interne de 71 cm. La cuve présente une légère inclinaison vers l'ouest, avec une probable porte dans la même direction. Le fond de la cuve du four n'a pas été retrouvé. La structure présente deux niveaux de paroi, avec une épaisseur interne d'environ 3 cm et externe d'environ 6 cm. Deux événements sont clairement visibles dans la partie méridionale de la structure.

Par la suite, un sondage d'environ deux mètres de long et 40 cm de profondeur a été réalisée, révélant une couche argileuse compacte de couleur rougeâtre sous le four TCH13 et son effondrement. Cette couche présente quelques petits charbons dispersés (US1009, US1010). Sous cette couche, une autre couche argileuse compacte, toujours de couleur rougeâtre (US1011, US1012), a été identifiée, caractérisée par la présence de petites boulettes de fragments de paroi (inférieures à 3 cm). Les unités stratigraphiques US1009 et US1010 ont été interprétées pour l'instant comme une couche intermédiaire d'inactivité entre le fonctionnement du four TCH13 et une couche de probable remblai antérieure au four TCH13, représentée par les unités stratigraphiques US1011 et US1012 (Figure 16). Il faudra approfondir l'étude de cette zone pour confirmer cette interprétation en ouvrant le sondage en direction du sud de l'amas de scories SAS/SGD n. 26 lors de la prochaine mission en 2024.

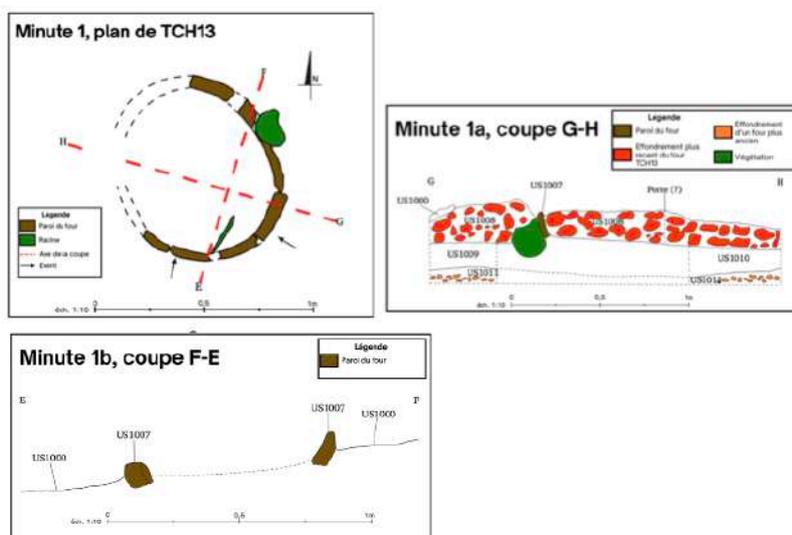


Figure 16 : Plan et coupes du four TCH13

En ce qui concerne l'archéomagnétisme, des prélèvements ont été effectués sur 7 blocs de paroi du four, en sélectionnant ceux présentant le meilleur potentiel et en essayant de couvrir de manière représentative le périmètre de la structure sidérurgique.

- Bas-fourneau TCH68

La base du four TCH68 (9.471308549 °N 0.630843725 °E - technique SAS/SGD) est dans un mauvais état de conservation (Figure 17).



Figure 17 : n Bas fourneau TCH68 avant le prélèvement archéomagnétique de 2023

Seule la partie orientale de la structure est préservée. Le four semble avoir une forme ovale, en supposant que la porte se trouvait du côté ouest de la structure près des parois qui sont plus verticales. Aucun fond de cuve n'a été observé, probablement en raison des mauvaises conditions de conservation de la structure elle-même. Pour la même raison, il n'est pas possible de déterminer avec précision le diamètre du four. Cependant, la partie conservée permet de reconstituer un diamètre d'environ 65 cm à l'extérieur et d'environ 60 cm à l'intérieur. Seule une couche de paroi de four est visible, avec une épaisseur variant de 4 à 6 cm. Une fois la fouille terminée, 7 blocs de paroi ont été prélevés (Figure 18).

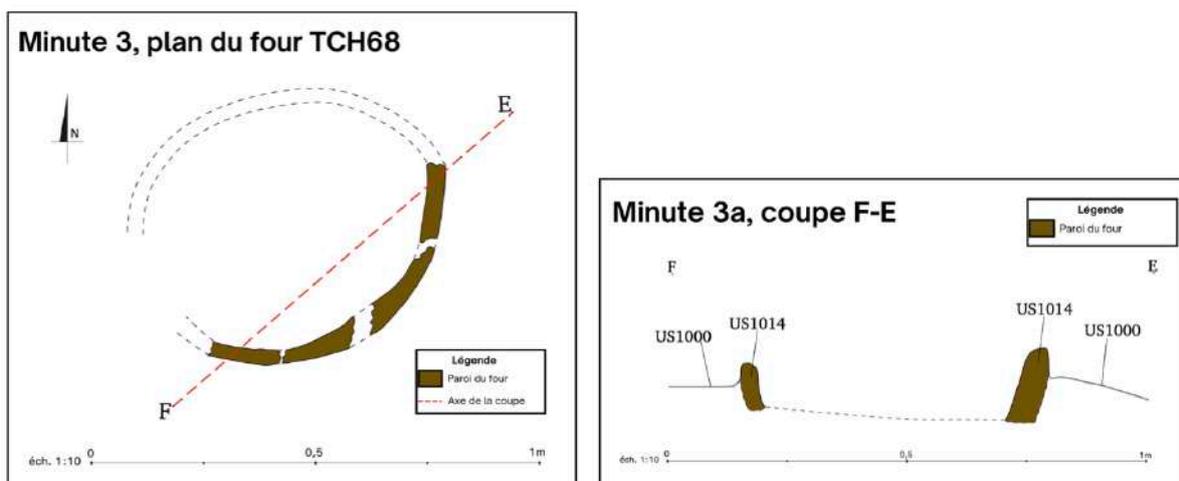


Figure 18: Plan et coupe du four TCH68

- Bas-fourneau TCH69

L'état de conservation du four TCH69 (9.471337264 °N 0.630885519 °E - technique SAS/SGD) n'a pas bon (Figure 19).



Figure 19 : Bas fourneau TCH69 avant le prélèvement archéomagnétique de 2023

La base du four est très arasée et seule la partie méridionale de la structure est conservée. Le four semble avoir une forme ovale, en supposant que la porte se trouvait du côté ouest de la structure près des parois qui sont plus verticales. Aucun fond de cuve n'a été trouvé, probablement en raison des mauvaises conditions de conservation de la structure elle-même. Pour la même raison, il n'est pas possible de déterminer avec précision le diamètre du four. Cependant, la partie conservée mesure environ 70 cm de diamètre extérieur et environ 63 cm de diamètre intérieur. Seule une couche de paroi de four est visible, avec une épaisseur variant de 5 à 7 cm (Figure 20). Une fois la fouille terminée, 6 blocs de paroi ont été prélevés.

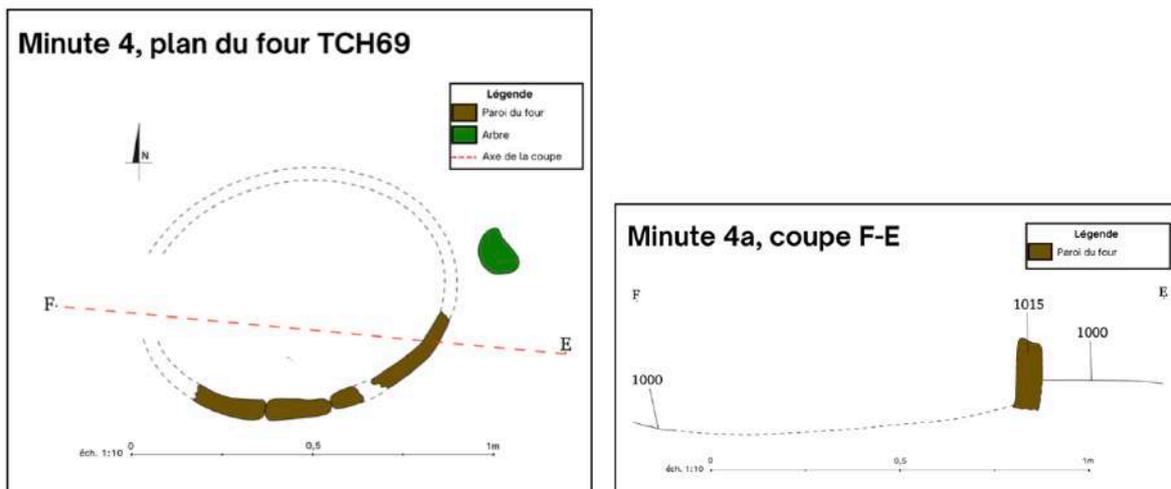


Figure 20 : Plan et coupe du four TCH69

- Bas-fourneau TCH77

Le four TCH77 (9.471070563 °N 0.631152245 °E - technique SAS/SGD) présente un mauvais état de conservation (Figure 21).



Figure 21 : Bas fourneau TCH77

En effet, la structure sidérurgique est fortement arasée à la base du four et la partie nord-orientale est la seule conservée. De plus, les parois sont très fragiles et semblent avoir subi des déplacements post-chauffe. Cependant, une certaine cohésion entre les parois est perceptible. Le four semble avoir une forme ovale, en supposant que la porte se trouvait du côté ouest de la structure. Aucun fond de cuve n'a été retrouvé, probablement en raison des mauvaises conditions de conservation de la structure elle-même. Pour la même raison, il est impossible de déterminer avec précision le diamètre du four. Néanmoins, la partie conservée mesure environ 68 cm de diamètre extérieur et environ 60 cm de diamètre intérieur. Seule une couche de paroi de four est visible, avec une épaisseur variant de 3 à 6 cm (Figure 22). Après la fouille, 6 blocs de paroi ont été prélevés.

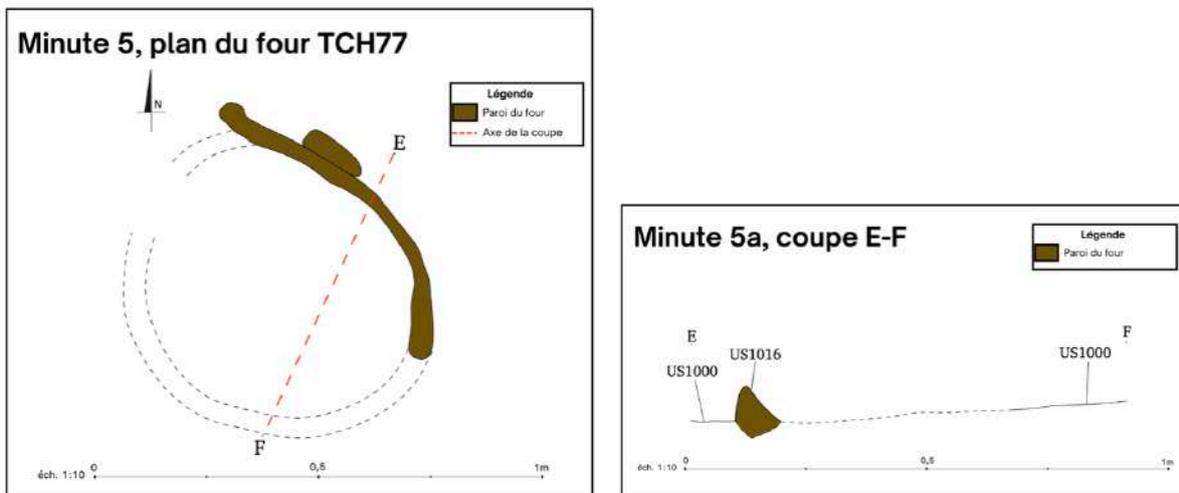


Figure 22 : Plan et coupe du four TCH77

- Bas-fourneau TCH80

Le four TCH80 (9.471045134 °N 0.631075138 °E - technique SAS/SGD) était recouvert de nombreux fragments de parois, suggérant la possible présence d'une structure. Après la fouille, une base de four assez arasée a été mise au jour. L'état de conservation du four est médiocre (Figure 23).



Figure 23 : Bas fourneau TCH80 avant le prélèvement archéomagnétique de 2023

Une forte végétation est présente dans les environs immédiats du four, en particulier la présence d'un arbre dont ses racines ont pu entraîner l'altération du contexte archéologique. Cependant, le four présente une forme circulaire, avec un diamètre externe d'environ 76 cm et interne de 70 cm. La porte n'est pas conservée, mais la légère inclinaison de la structure semble suggérer sa position vers l'ouest. Le fond de cuve du four n'est pas présent. Il y a seulement une couche de paroi avec une épaisseur variant de 2,5 à 5 cm (Figure 24). Au final, en ce qui concerne l'archéomagnétisme, 7 blocs de paroi ont été prélevés.

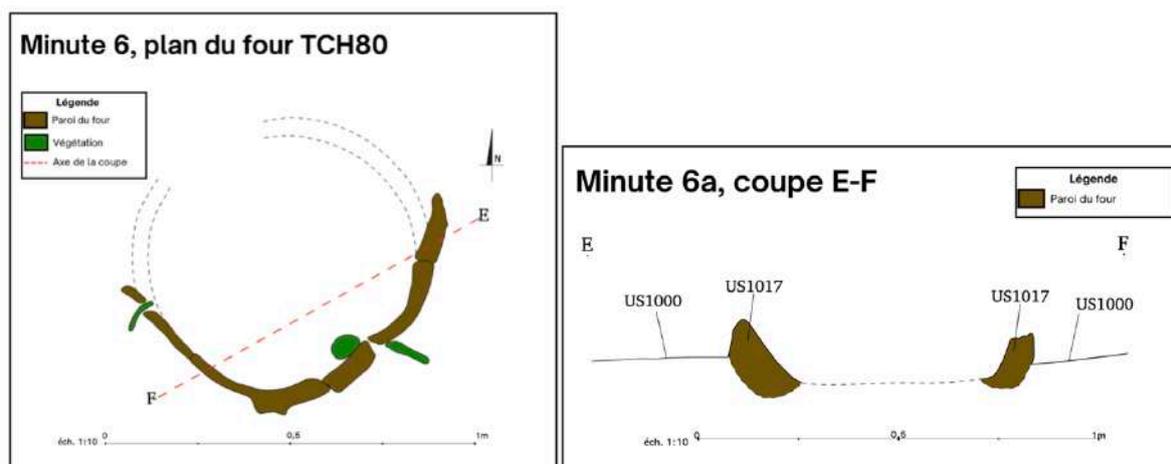


Figure 24 : Plan et coupe de TCH80

2) Bitamkpambe

Le site de Bitamkpambe se situe à une latitude de 9,45° N et à une longitude de 0,61° E. Il est situé au sud-ouest du site de Tchogma 1, au pied de la chaîne montagneuse appelée « Djowul », connue pour ses riches gisements de fer (Figure 2). Les deux techniques

sidérurgiques précédemment observées à Tchogma 1, à savoir la technique SVF et la technique SAS/SGD, sont également présentes sur ce site. Lors de la mission de 2021, quatre bas-fourneaux (BIT01 - 02 - 03 - 04) ont fait l'objet de prélèvements archéomagnétiques. En raison de la bonne conservation de ces structures et des résultats positifs, il a été décidé durant la mission de 2023 de réexaminer les structures précédemment étudiées.

Prospections de surface

La prospection de surface menée sur le site de Bitamkpambe s'est concentrée exclusivement sur les structures examinées en 2021. Les fours BIT01, BIT03 et BIT04 ont été correctement identifiés. Cependant, le four BIT02 n'a pas été retrouvé. Des doutes existaient déjà concernant ce dernier, quant à savoir s'il s'agissait effectivement de la base d'un four ou plutôt d'un bloc de cheminée. Les données relatives à ces fours, y compris leurs coordonnées GPS et les prévisions de leur potentiel, sont répertoriées dans le Tableau 5.

N° Structure	Technique	Amas	Localisation	Potentiel AM	Prélèvement
BIT01	SVF	Ensemble amas 2	9.455437502 °N 0.615572299 °E	Bon	11/10/2021 (8 blocs)
BIT02	SVF	Ensemble amas 1	9.454973701 °N 0.614324300 °E	Faible	11/10/2021 (8 blocs)
BIT03	SAS/SGD	/	9.454566097 °N 0.613336404 °E	Bon	12/10/2021 (9 blocs)
BIT04	SAS/SGD	/	9.454856696 °N 0.613518800 °E	Bon	12/10/2021 (8 blocs) et 21/10/2023 (4 blocs)

Tableau 5 : Synthèse des informations concernant les fourneaux étudiés sur le site de Bitamkpambe

Réouverture des bas fourneaux échantillonnés en 2021

- Bas-fourneau BIT01

Au moment de l'identification, le bas-fourneau (9.455437502 °N 0.615572299 °E - technique SVF) était en bon état de conservation (Figure 25). Au cours de la mission de 2023, la structure a été entièrement fouillée, révélant une conservation de la paroi sur environ 52 cm par rapport au fond de la cuve. Le bas-fourneau a une forme circulaire, avec un diamètre extérieur d'environ 85 cm et intérieur de 67 cm. La porte, située à l'ouest de la structure, est conservée.



Figure 25 : Bas fourneau BIT01

À l'intérieur du bas-fourneau, une couche argileuse compacte de couleur gris sombre (US1002), d'une épaisseur d'environ 5 cm, a été identifiée comme le fond de la cuve. La présence de deux nids de termitières près de la porte suggère qu'une partie de la structure n'est pas conservée. La paroi du four présente trois couches : la première interne est de couleur grise, d'environ 2 cm d'épaisseur ; la deuxième intermédiaire est de couleur orange, d'environ 4 cm ; et la troisième couche externe de couleur rouge est d'environ 7 cm. La paroi extérieure est réalisée avec des briques d'argile rectangulaire disposées selon un motif en « arête de poisson » (Figure 26).



Figure 26 : Paroi de la cheminée du four BIT01 constituée de brique rectangulaire agencée selon un motif en « arête de poisson »

Les parois du côté opposé à la porte présentent une inclinaison plus prononcée vers l'extérieur (environ 64°), par rapport à celles près de la porte (inclinaison d'environ 92°). Sept événements d'aération sont visibles, mais on en suppose huit. De l'autre côté de la porte, trois sont placés à courte distance l'un de l'autre, avec environ 7 cm d'espace entre eux, tandis que les autres sont distribués plus loin, avec un espacement d'environ ± 12 cm entre chacun. Les événements sont situés à environ 13 cm du fond (Figure 27).

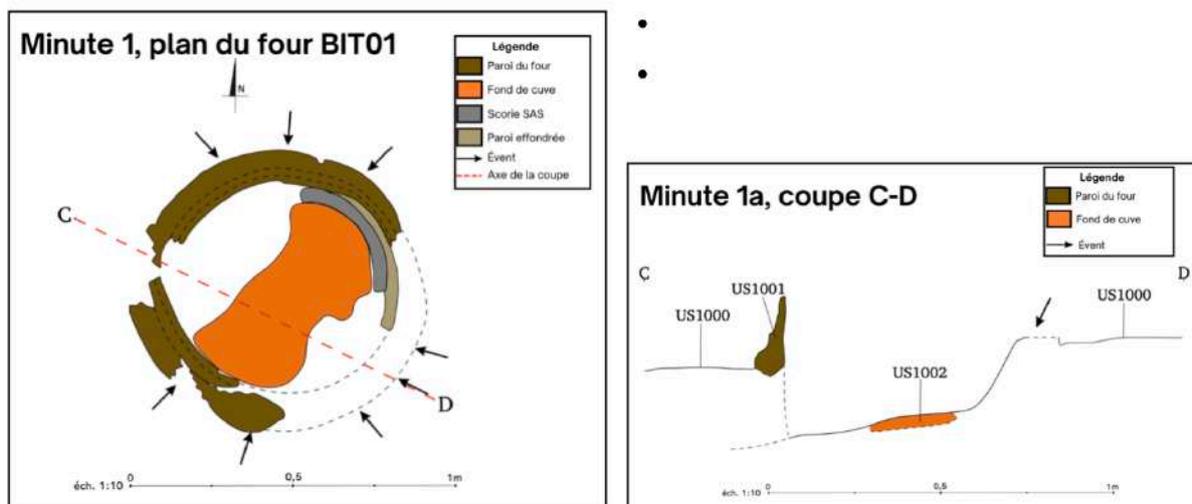


Figure 27 : Plan et coupe du four BIT01

Lors de la mission de 2021, huit blocs de paroi de la cheminée ont été prélevés. Les analyses archéomagnétiques en laboratoire ont fourni des résultats de très bonne précision, avec un paramètre k de 169 et un paramètre α_{95} de 4,3°.

- Bas-fourneau BIT03

La base du four BIT03 (9.454566097 °N 0.613336404 °E - technique SAS/SGD) est assez bien conservée (Figure 28).



Figure 28 : Bas fourneau BIT03

Une fouille archéologique complète a été réalisée sur la structure, qui présente une forme circulaire. Son diamètre extérieur est d'environ 75 cm et intérieur d'environ 65 cm. Bien que non conservée, il est probable que la porte était présente dans la partie ouest de la structure. À l'intérieur du bas-fourneau, une couche argileuse compacte de couleur gris sombre (US1005), d'une épaisseur d'environ 3 cm, a été identifiée comme le fond de la cuve. Cette dernière est entièrement conservée (US 1005). Elle est argileuse et bien indurée dans la partie est, de couleur gris-blanc, tandis que dans la partie ouest elle est moins compacte et montre des teintes plutôt rougeâtres. Inclinée vers l'ouest, en direction de la porte aujourd'hui disparue, le diamètre de cette cuve est de 55 cm. La paroi du four présente deux couches. La première interne a une épaisseur d'environ 3 cm et la seconde externe a une épaisseur d'environ 7 cm (Figure 29).

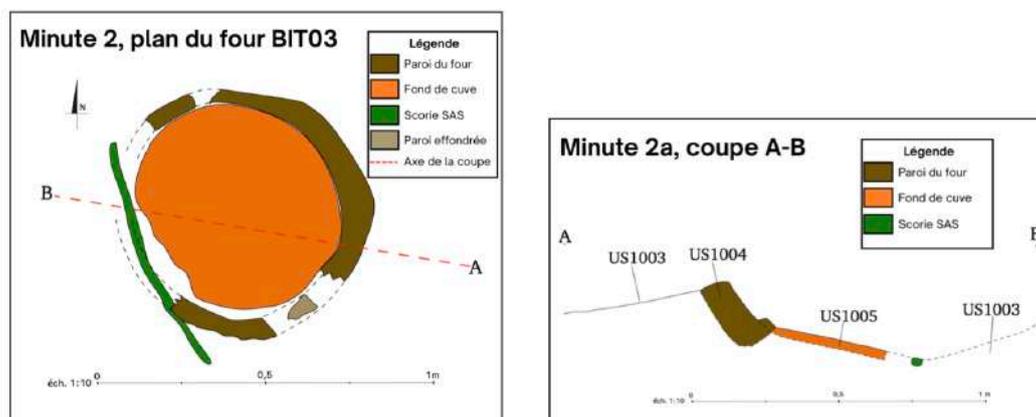


Figure 29 : Plan et coupe du four BIT03

L'échantillonnage archéomagnétique réalisé en octobre 2021 sur neuf blocs de paroi, dont quatre provenant du fond du four, a donné des résultats positifs ($k : 84 ; \alpha_{95} : 6,1^\circ$). Une certaine cohérence dans les valeurs de déclinaison et d'inclinaison a été observée entre les blocs du fond et ceux des parois du four.

- Bas-fourneau BIT04

Le bas-fourneau BIT04 (9.454856696 °N 0.613518800 °E - technique SAS/SGD) se distingue par un excellent état de conservation (Figure 30).



Figure 30 : Bas fourneau BIT04

Au cours de la mission de 2023, une fouille de la structure a été réalisée, révélant une conservation de la paroi d'environ 50 cm de hauteur par rapport au fond. Le bas-fourneau a une forme circulaire, avec un diamètre extérieur d'environ 80 cm et intérieur de 60 cm. La porte, située au nord-ouest de la structure, est conservée. À l'intérieur du bas-fourneau, une couche argileuse compacte de couleur gris sombre (US1007), d'une épaisseur d'environ 4 cm, a été identifiée comme le fond de la cuve. La sole du four est presque entièrement conservée avec une partie très indurée dans la zone sud. La cuve présente une pente d'environ 18° en direction nord-ouest, donc vers la porte. La paroi du bas-fourneau est constituée de deux couches avec une épaisseur maximale variant entre 10 et 15 cm. Le même type de briques avant la même disposition que sur le four BIT01 est présent (Figure 31).



Figure 31 : Paroi de la cheminée du four BIT04 constituée de brique rectangulaire agencée selon un motif en « arête de poisson »

Il est intéressant de noter ces similitudes entre deux fours appartenant à des techniques sidérurgiques différentes. Le four BIT04 présente 7 événements. On remarque qu'il y a une courte distance (± 15 cm) entre les 4 événements situés du côté opposé à la porte par rapport aux autres, qui sont espacés d'environ ± 30 cm (Figure 32).

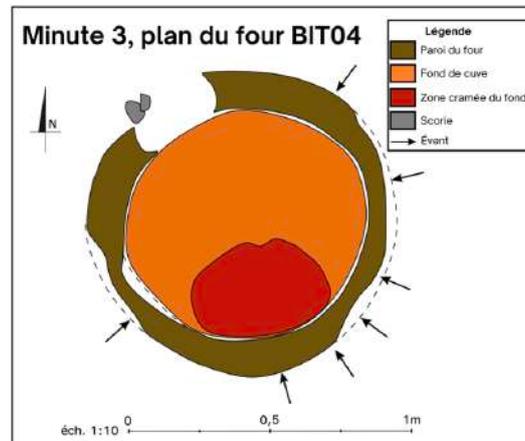


Figure 32 : Plan du four BIT04

Pendant la campagne archéomagnétique de 2021, huit blocs de paroi de la cheminée ont été prélevés. Les résultats de laboratoire ont fourni des données satisfaisantes ($k : 115 ; \alpha_{95} : 5,2^\circ$). Au cours de la campagne de 2023, quatre prélèvements archéomagnétiques supplémentaires ont été effectués sur le fond de la cuve du four, dans le but d'observer d'éventuelles variations magnétiques entre le fond et les parois. Les résultats obtenus lors de cette deuxième phase ne semblent pas montrer de différence particulière.

3) Tabale

Le site de Tabale ($9,43^\circ\text{N } 0,59^\circ\text{E}$) présente exclusivement des vestiges sidérurgiques attribuables à la technique SAS/SGD (Figure 2). Il est situé au sud-ouest de la chaîne montagneuse de Djowul. Les activités menées lors de la mission de 2023 à Tabale comprennent l'identification des bas-fourneaux par rapport à leurs coordonnées GPS (TAB01-02-03) et la réouverture des fours précédemment examinés (TAB01-02). Les objectifs sur ce site sont similaires à ceux de Bitamkpambe.

Prospections de surface

La prospection de surface menée sur le site de Tabale s'est concentrée sur les deux structures sidérurgiques déjà étudiées et échantillonnées pour la datation archéomagnétique lors de la campagne 2021 (TAB01-02). De plus, une autre structure, TAB03, a été documentée. Les données relatives à ces fours, y compris leurs coordonnées GPS et les prévisions de leur potentiel, sont répertoriées dans le Tableau 6.

N° Structure	Technique	Localisation	Potentiel AM	Prélèvement
TAB01	SAS/SGD	9.427590000 °N 0.595700003 °E	Bon	12/10/2021 (9 blocs)
TAB02	SAS/SGD	9.427609996 °N 0.595710004 °E	Bon	12/10/2021 (8 blocs)
TAB03	SAS/SGD	9.427670000 °N 0.595650002 °E	Bon	/

Tableau 6 : Synthèse des informations concernant les fours étudiés sur le site de Tabale

Réouverture des bas-fourneaux échantillonnés en 2021

- Bas-fourneau TAB01

Le bas-fourneau TAB01 (9,42759 °N 0,5957 °E - technique SAS/SGD) est dans un bon état de conservation, avec des parois encore visibles sur environ 50 cm de haut par rapport au fond du four (Figure 33).



Figure 33 : Bas fourneau TAB01 après le prélèvement archéomagnétique

Cette structure circulaire présente un diamètre externe d'environ 1 mètre et un diamètre interne de 75 cm. La porte, située dans la partie sud-occidentale de la structure, est partiellement préservée. À l'intérieur du bas-fourneau, une couche argileuse compacte de couleur gris sombre (US1002) a été identifiée comme le fond de la cuve. Elle présente un pendage horizontal et une épaisseur d'environ 4 cm. Les parois du bas-fourneau se composent de trois couches distinctes : la couche interne a une épaisseur d'environ 2 cm, la couche intermédiaire de 4 cm et la couche externe d'environ 6 cm. Quatre événements sont visibles, et il devait y en avoir sept à l'origine. Ces événements sont à une hauteur d'environ 20 cm par rapport au fond de la cuve et sont espacés d'environ 10 cm (Figure 34).

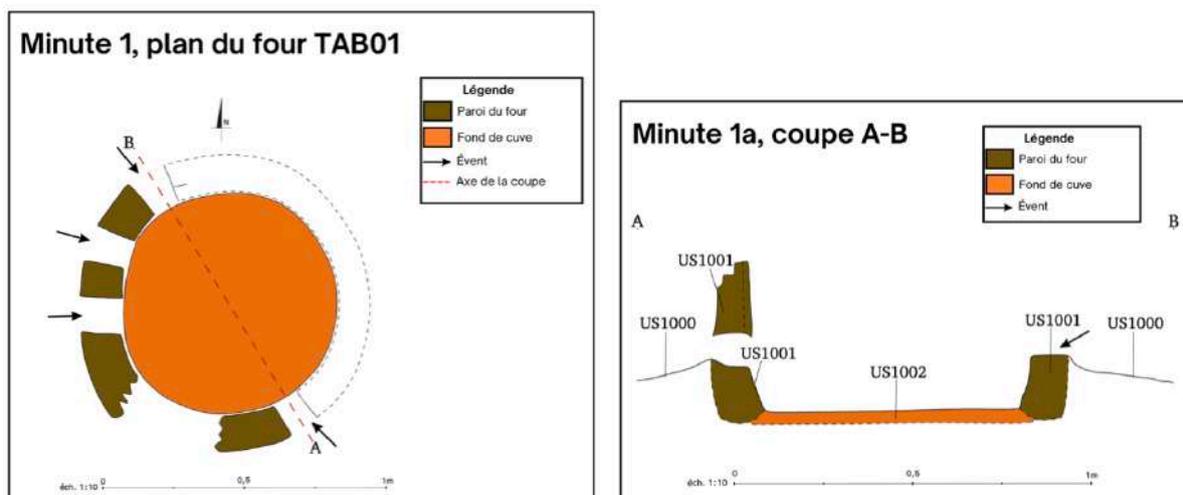


Figure 34 : Plan et coupe de TAB01

La structure du TAB01 se révèle particulièrement intéressante du point de vue archéomagnétique ($k : 182$; $\alpha_{95} : 4,5^\circ$). En ce qui concerne la méthodologie, il est intéressant de comprendre la correspondance ou la cohérence entre les blocs du fond et ceux prélevés dans les parois. On observe une légère différence dans l'inclinaison de deux blocs (07-08) provenant de la chambre du four (à l'exception du bloc 09), expliquant leur exclusion dans la considération finale des directions moyennes. En ce qui concerne l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN), aucune différence significative n'est observée entre les échantillons, montrant une faible intensité dans ce cas.

- Bas-fourneau TAB02

La base du bas-fourneau TAB02 (9,427609996 °N 0,595710004 °E - technique SAS/SGD) est en bon état de conservation (Figure 35).



Figure 35 : Bas fourneau TAB02 avant le prélèvement archéomagnétique de 2021

La cuve de ce four présente une forme légèrement ovale avec un diamètre extérieur d'environ 74 cm et intérieur de 62 cm. Le fond de la cuve n'est pas réellement présent. Il s'agit simplement d'une fine couche rubéfiée et non indurée. Le fond est légèrement incliné vers la porte qui se trouve au nord-ouest de la structure. L'ouverture de la porte mesure environ 52 cm. Les parois se composent de deux couches, avec une épaisseur maximale de 9 cm, dont la paroi interne a une épaisseur de 3 cm. Les parois sont préservées juste sous les événements.

Au cours de la mission de 2021, huit échantillons ont été prélevés sur les parois du four. Les résultats archéomagnétiques sont excellents ($k : 99$ et $\alpha_{95} : 5,6^\circ$).

Bilan des données sur les dimensions et la morphologie des fourneaux prélevés à Tchogma 1, Bitamkpambe et Tabale

Lors des missions en 2021 et 2023, les dimensions et la morphologie de plusieurs bas-fourneaux ont été relevés dans le but premier d'estimer si le positionnement de leurs parois était d'origine ou s'il avait subi des modifications au cours du temps. Toutefois, ces données (Tableau 7) permettent également d'évaluer si le faciès de ces fours est standardisé ou non, s'il présente des différences suivant le mode d'évacuation des scories (Robion-Brunner et al 2022), et s'il est conforme à celui du four observé par Hupfeld (1899) à Bandjeli à la fin du XIXe siècle, et celui du four issu de l'expérimentation réalisée par Hahn en septembre/octobre 1988 dans la même localité (1997).

Site	N° du four	Type de scories	Cuve					Loc. de la porte	Nbre d'événements conservés	Nbre de couche
			Forme	Diam. Ext. (cm)	Diam. Int. (cm)	Présence d'un fond	Fond incliné			
TCHOGMA	F011	SAS/SGD	ovale	± 72 (d'après photo)	± 57 (d'après photo)	/	/	Sud	/	1 ?
TCHOGMA	F013	SAS/SGD	ovale	81	71	non	oui	ouest	2	2
TCHOGMA	F016	SAS/SGD	ovale	/	/	/	/	sud-est	/	1
TCHOGMA	F024	SAS/SGD	ovale	60	50	non	/	nord-ouest	/	1
TCHOGMA	F038	SAS/SGD	ovale	± 80 (d'après photo)	± 68 (d'après photo)	non	/	ouest	/	1
TCHOGMA	F043	SVF	circulaire	100	90	non	/	nord-ouest	4	1
TCHOGMA	F066	SAS/SGD	ovale	75	62	non	/	ouest	/	1
TCHOGMA	F068	SAS/SGD	ovale	65	57	non	/	ouest ?	/	1
TCHOGMA	F069	SAS/SGD	ovale	70	63	non	/	ouest ?	/	1
TCHOGMA	F077	SAS/SGD	ovale	68 ?	60 ?	non	/	ouest ?	/	1
TCHOGMA	F080	SAS/SGD	circulaire	76	70	non	oui	ouest ?	/	1
TCHOGMA	F096	SVF	circulaire	± 75 (d'après photo)	± 68 (d'après photo)	/	/	nord	2	1
TCHOGMA	F099	SVF	circulaire	76	70	oui	oui	ouest	/	2
TCHOGMA	F104	SAS/SGD	ovale	95	83	non	/	ouest ?	4	1
TCHOGMA	F122	SAS/SGD	ovale	70	65	oui	oui	ouest	3	1
TCHOGMA	F133	SVF	ovale	± 65 (d'après photo)	± 56 (d'après photo)	/	/	ouest	3	1
TCHOGMA	F134	SAS/SGD	ovale	± 70 (d'après photo)	± 60 (d'après photo)	/	/	sud	/	1
TCHOGMA	F136	SAS/SGD	ovale	/	/	/	/	ouest	/	1
BITAMKPAMBE	F01	SVF	circulaire	85	67	oui	oui	ouest	7 (8?)	3
BITAMKPAMBE	F02	SVF	circulaire	/	/	/	/	/	/	2
BITAMKPAMBE	F03	SAS/SGD	circulaire	75	65	oui	oui	ouest	/	2
BITAMKPAMBE	F04	SAS/SGD	circulaire	80	60	oui	oui	nord-ouest	7 (8?)	2
TABALE	F01	SAS/SGD	circulaire	100	75	oui	oui	sud-ouest	4 (7 ?)	3
TABALE	F02	SAS/SGD	ovale	74	62	oui	oui	nord-ouest	4	2

? = structure insuffisamment préservée pour être sûre

nombre entre parenthèse avec ? = nombre événements supposés

Tableau 7 : Synthèse des données sur la morphologie et les dimensions des fours étudiés dans le cadre de la datation archéomagnétique

Les données ont été recueillies sur 24 fours : 18 pour Tchogma 1, 4 pour Bitamkpambe et 2 pour Tabale ; 18 pour la technique SAS/SGD (mode d'évacuation latéral de la scorie) et 6 pour la technique SVF (mode d'évacuation vertical de la scorie). Les fouilles menées sur 16 structures (11 pour Tchogma 1, 3 pour Bitamkpambe et 2 pour Tabale ; 13 pour la technique SAS/SGD et 3 pour la technique SVF) offrent des informations plus précises mais pas suffisantes en termes de représentativité³. Les données sur les fours attribués à la technique SVF sont trop minoritaires.

Globalement, les bas-fourneaux étudiés présentent relativement peu de différences entre eux et en tout cas aucune de majeure permettant de distinguer les structures suivant les techniques d'évacuation des scories (SAS/SGD = évacuation horizontale et SVF = évacuation verticale). Ils ont une cuve de forme ovale voire circulaire d'un diamètre interne d'une moyenne de 67 cm. Le fond de la cuve est aménagé et plat. Il présente une légère pente vers la porte. La paroi de la cheminée est percée de 7 à huit événements et d'une porte orientée à l'ouest ou au nord-ouest. Seuls quatre fours possèdent une porte orientée au sud. La paroi se compose généralement d'une seule couche, mais il peut y en avoir deux voir très rarement trois. Ces couches supplémentaires semblent issues de rechapage. L'épaisseur totale de la paroi va de 2,5 à 15 cm, ce qui montre une grande hétérogénéité des dimensions conservées. Seules deux structures à Bitamkpambe (BIT01 et BIT04) attribuées à deux techniques différentes ont été construites à l'aide de briques d'argile posées en arête de poisson.

³ À Tchogma 1 ; environ 130 bas-fourneaux sont encore en place et visibles à la surface du sol actuel.

Si aucune différence entre les fours attribués aux deux techniques n'est observable c'est qu'il y a peut-être eu une erreur d'identification. Les amas de la technique SVF sont marginaux sur les sites du district de Bandjeli. À Tchogma, il y en a seulement 3 contre 173 pour la technique SAS/SGD. Ainsi, les fours observés à proximité ou construits sur les amas de la technique SVF n'ont peut-être pas produit de gros blocs de scorie de fond. Certes, les données sont très faibles concernant les structures imputées à cette technique puisque seulement trois ont été fouillées, mais leurs morphologie et dimensions semblent peu compatibles avec un mode d'évacuation vertical de la scorie. En 2015, 24 scories vacuolaires à feuillet ont été mesurés (Tableau 8). Ovale, la plus grosse fait 58 cm de long pour 31 cm de large avec une épaisseur de 29 cm. En moyenne, ce type de scorie mesure environ 30 cm de long pour 25 cm de large et 17 cm d'épaisseur. Il se forme et se refroidit à l'intérieur de la cuve où un aménagement creux sous le niveau de la porte est aménagé par les métallurgistes afin de le recevoir durant la réduction du minerai de fer (Figure 36).

N° amas	Coordonnées		Longueur	Largeur	Epaisseur	Plusieurs parties
	N	E				
B1	1047643	239877	23	17	16	1
			30	27	17	2
			32	28	17	1
			17	14	11	2
			13	13	11	2
B2	1047638	239873	30	22	15	2
			20	14	14	2
			22	17	18	1
			26	26	18	2
			36	26	16	1
			34	31	20	2
B3	1047637	239867	21	19	12	1
			22	15	13	2
			45	39	25	1
			43	30	20	1
B4	1047628	239848	25	21	17	2
			31	20	17	2
			30	30	18	1
			36	23	19	2
			58	31	29	2
			24	29	12	1
			23	20	10	1
34	31	16	2			
26	20	18	2			
Moyenne			30,478	24,48	17,3478	

Tableau 8 : Dimensions relevées sur plusieurs scories vacuolaires à feuillet (SVF)

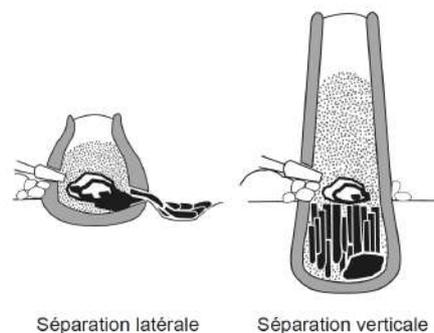


Figure 36 : Les deux types de séparation/évacuation de la scorie par rapport au bas-fourneau durant la réduction du minerai du four (Robion-Brunner 2019, p. 21)

Les fouilles des fours TCH43, TCH99 et BIT01⁴ ont montré que ces structures possèdent un fond plat et incliné vers la porte (Figure 27). Aucune fosse pour réceptionner un bloc de scorie entre 17 et 29 cm d'épaisseur n'a été observée. De plus, les portes devaient faire environ 40 cm de large et 18cm de haut⁵. Certaines scories, mais pas toutes, peuvent peut-être passées en longueur, mais difficilement en hauteur ! Et, comme il n'y a pas de cuve creusée, elles devaient obstruées la porte ne permettant pas de sortir la masse de fer brut. Certes, il faut obtenir plus d'informations pour avancer assurément sur cette question, mais il semble que les fours de la technique SVF n'ont pas encore été mis au jour et que par conséquent ce procédé n'a pas encore été daté par l'archéomagnétisme. Seuls les fours de la technique SAS/SGD auraient été étudiés et datés pour l'instant.

La morphologie et les dimensions des fours que nous avons étudiés montrent de nombreuses similitudes avec le four dessiné par Hupfeld (1899 ; Figure 37). Dans les deux cas, les structures possèdent une cuve de forme circulaire. Le relevé d'Hupfeld montre un diamètre interne d'environ 60 cm, soit un peu plus petit que ce que nous avons mesuré. Le fond de la cuve est aménagé et plat. La coupe d'Hupfeld ne permet pas de savoir si ce fond présente une légère pente car la section ne traverse par la porte. La paroi de la cheminée est percée de neuf événements contre sept à huit sur les fours étudiés dans le cadre de ce projet. Attention, aucune structure étudiée ne présente un état de conservation permettant d'observer toutes les ouvertures présentes par le passé. Nous avons estimé qu'originellement elles étaient au nombre de sept voire de huit en se basant sur l'espace présent entre les événements encore conservés. Sur les fours BIT01 et BIT04 – les mieux préservés –, sept événements étaient encore observables et un huitième a été déduit, peut-être qu'il y a en avait en fait deux détruits et non seulement un. La porte dans le dessin d'Hupfeld est plus haute que celle de BIT01 (33 cm contre 18 cm) mais la largeur est presque identique (50 cm contre 47 cm). Attention là encore, nous n'avons pu mesurer qu'une seule hauteur de porte, celle du four BIT01 (Figure 27). L'orientation de la porte n'est pas indiquée sur le dessin d'Hupfeld, pas plus d'information sur le nombre de couche qui composent la paroi de la cheminée. Toutefois, il est précisé qu'elle mesure 20 cm, ce qui est beaucoup plus que ce qui a été observé (Tableau 7). L'érosion a peut-être endommagé le revêtement externe des fours dont uniquement les ruines nous sont parvenues.

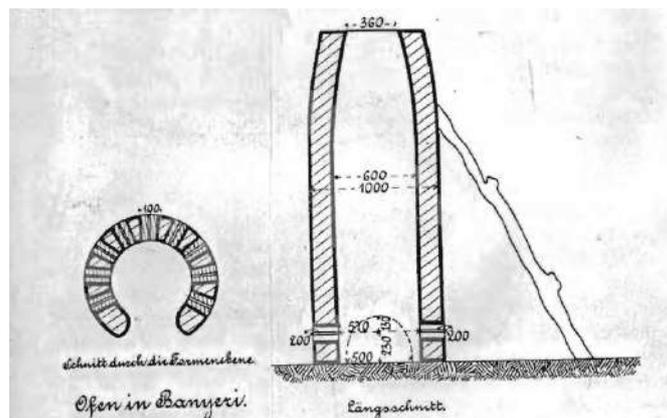


Figure 37 : Plan et coupe réalisé par Hupfeld à partir de fours observés dans la région d Banyeri (Bandjeli) et publiés en 1899

⁴ La fouille du four TCH43 n'a pas été que partielle. La cuve n'a pas été entièrement dégagée n'offrant aucune indication sur l'état de conservation de son fond et la manière dont ce dernier avait été aménagé (plat ou concave). La fouille du four TCH99 ne fournit aucune information sur les dimensions de la porte de cette structure en raison du mauvais état de conservation de cette partie.

⁵ Cette mesure provient du four BIT01, seule structure avait encore une porte complètement préservée.

La morphologie et les dimensions des fours que nous avons étudiés montrent de nombreuses similitudes avec le four construit lors de l'expérimentation impulsée par Hahn (1997). Dans les deux cas, les structures possèdent une cuve de forme circulaire (Figure 38). Pour le four d'expérimentation, le diamètre interne de la cuve est de 100 cm, ce qui beaucoup par rapport à nos observations (moyenne de 67 cm) et aux relevés réalisés par Hupfeld (60 cm). Le fond de la cuve est aménagé, plat et incliné vers la porte : « [La pente] a un rapport avec l'extraction du laitier qui sort en suivant la pente ainsi créée » (1997, p. 35).

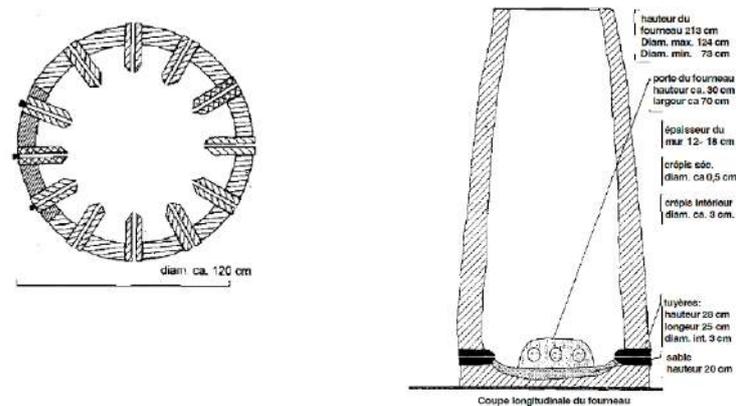


Figure 38 : Coupe latérale au niveau des tuyères et coupe longitudinale du four construit lors de l'expérimentation impulsée par Hahn (1997, p. 60 et 38).

La construction de la cheminée est décrite en détail : « À l'emplacement soigneusement nettoyé et légèrement surélevé d'environ 0,3 m, l'ogbel [le doyen] était déjà occupé à tracer un cercle à l'aide d'un pieu planté dans le sol et d'une ficelle d'à peu près 50 cm. Le fourneau n'a aucune sorte de fondation. Le seul creux dans la terre est une petite rigole circulaire à l'endroit où se construira le mur du fourneau. Dans cette rigole, on dispose quelques fragments d'une ancienne paroi de fourneau. [...] Les manœuvres prennent [...] des mottes d'argile de la grosseur de deux poings et les aplatissent, elles n'ont alors pas plus de 3-4 cm d'épaisseur et à peu près la superficie d'une main tendue. Ils donnent celles-ci au doyen d'âge qui les dépose verticalement l'une après l'autre sur les bords du cercle, les mottes d'argile sont légèrement inclinées en arrière par rapport à la direction du travail. Comme à partir de la quatrième rangée, la rangée suivante se fait dans le sens opposé, il se crée alors, vu de profil, une sorte de motif de mottes de terre en arêtes de poisson qui, selon les rangées, sont inclinées soit vers la droite soit vers la gauche. » (1997, p. 28-29). Ce motif « de mottes de terre en arêtes de poisson » (Figure 39) nous l'avons retrouvé sur uniquement deux fours de Bitampambe : BIT01 et 04 (Figure 26).

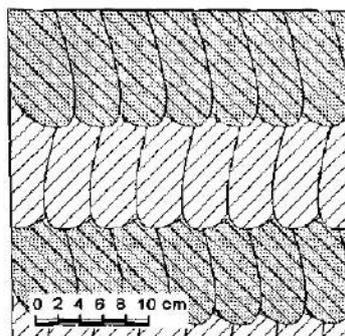


Figure 39 : Positionnement des mottes d'argile en arêtes de poisson sur le four expérimental d'Hahn (1997, p. 39)

La paroi de la cheminée est percée de 9 événements tout comme sur le dessin d'Hupfeld. Il faut donc revoir notre interprétation du nombre d'ouvertures sur les bas-fourneaux que nous avons fouillés. Hahn rapporte que les expérimentateurs ont eu une discussion au sujet du nombre et de la position des trous d'aération : « [...] Ce matin, le début des travaux est marqué par le perçage, à l'aide du coupe-coupe utilisé la veille, des 10 trous d'aération restants dont la position avait été déjà marquée. Ensuite, l'un des manœuvres se met à découper la porte du fourneau en suivant la ligne tracée. [...] Il s'en suit une discussion entre *l'ogbel* et le « régent » sur le nombre et la position des trous d'aération. Leur nombre total doit s'élever à 12, d'après la répartition faite jusqu'à présent, il n'y en a qu'un dans la porte et ceux qui suivent immédiatement à droite et à gauche se situent à 2 – 3 cm seulement du bord de la porte. Visiblement, il y a ici une erreur que *l'ogbel* aussi doit reconnaître, et ces trous d'aération dangereusement proches de la porte sont aussitôt bouchés avec de l'argile fraîche ; en revanche on devra installer plus tard dans la porte trois tuyères avec des intervalles plus réduits que pour les autres » (1997, p. 33 ; Figure 38). Les expérimentateurs semblent avoir au départ prévus douze événements dont un dans la porte que neuf. Ce nombre d'ouverture doit être mis en parallèle avec les dimensions de la section de la cuve et des tuyères. Des essais graphiques en variant le diamètre de la cuve peuvent nous aider à déterminer le total et le positionnement des trous d'aération. Rappelons que le four expérimental possède une cuve plus grande et une porte plus large que celui de Hahn, cela a certainement eu une incidence sur les événements à percer. La porte fait en effet 30 cm de haut et 70 cm de large : « Sa hauteur atteint deux fois, sa largeur au maximum trois fois la largeur d'une main » (1997, p. 32). Son orientation est identique, nord-ouest, à celle identifiée majoritairement sur les fours du projet. La paroi se compose de deux couches et de deux crépis (Figure 40). Les deux couches sont réalisées dès le départ, celle numérotée 3 sur le dessin est réalisée après le montage des mottes (2) par l'intérieur de la structure. Elle permet d'obtenir une surface interne régulière. Les crépis se composent de poudre d'argile (1) et de sable (4). Ils finalisent la construction des parois du four. L'ensemble de la paroi mesure 10 cm d'épaisseur, ce qui se rapproche de ce que l'on a observé en 2023.

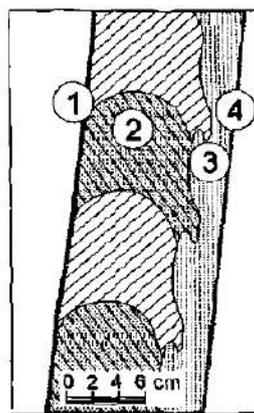


Figure 40 : Coupe transversale de la paroi du four (Hahn 1997, p. 39)

III.2 La prospection archéo-sous-marine dans la rade de Ouidha (Sud du Bénin) en avril 2024 (S. Berthaut-Clarac, C. Robion-Brunner, Th. Courp, A. Affolabi Ayedoun)

III.2.1 Problématique et objectifs de la mission

Les navires négriers ont été le principal instrument de la traite Atlantique. Ils ont permis de déporter plus de 12 000 000 africains. Grâce à la recherche archivistique en Europe, cette période est assez bien appréhendée, et l'archéologie terrestre de l'esclavage se développe. En revanche, le bilan en matière d'archéologie sous-marine est ténu. Les navires négriers découverts sont rarissimes. L'épave de l'*Henrietta-Marie* en Floride est l'un des navires le mieux fouillé, mais il ne l'a été qu'après la prédation des chasseurs de trésor. Le *Fredensborg*, navire norvégien naufragé proche de son port d'arrivée, n'a pas été fouillé selon les standards archéologiques actuels. Par ailleurs, les navires de traite, prisés des pirates, ont pu changer de fonction lors de leur capture et ne sont plus de fait négrier lors de leur naufrage et de leur étude à l'exemple du *Whydah Gally* ou du *Queen Anne's Revenge* découverts sur le continent américain.

Si des initiatives récentes d'archéologie sous-marine ont pu émerger à l'île Maurice, notamment sous l'impulsion de Yann Von Arnim, les épaves découvertes sont très abimées au contact des fonds rocheux. En Afrique du Sud, la découverte et l'étude du *San José Paquete de Africa* par Jaco Boshoff témoignent d'un état de conservation similaire. Seuls quelques artefacts épars dont des barres de fer étaient encore présents. C'est le cas également, du navire l'*Utile* dont il ne reste plus grand-chose : naufragé sur l'île de Tromelin dans l'océan Indien, il a été factuellement un négrier mais n'a pas été aménagé pour la traite. Ces trouvailles et premières études ont débouché sur la volonté de développer cette spécialité en Afrique. Ainsi, dans le cadre du projet Salve Wreck Projet, un chantier école d'archéologie sous-marine a été mis en place au Sénégal sous l'égide de l'Université Cheikh Anta Diop. Parallèlement, l'UNESCO promeut une initiative similaire au Kenya et depuis peu au Mozambique. Malgré cet engagement, l'archéologie sous-marine de la traite négrière reste largement à construire en Afrique. Même si elle se développe, elle reste sans commune mesure avec ce qui est réalisé en Europe ou aux Antilles.

1) Une brève synthèse des connaissances sur la période du commerce des esclaves dans la baie du Bénin

C'est vers 1472 que les Portugais arrivent sur les côtes de l'actuelle baie du Bénin. Cette région située entre la Volta et le grand fleuve Niger a vu se développer de puissants royaumes précédant et accompagnant toute la période du commerce transatlantique. Aux XV^e et XVI^e siècles, le royaume du Bénin était la principale puissance régionale avec laquelle les Portugais ont établi des liens étroits dès leur arrivée (Sinou et Agbo 1995, p. 10). Ces Européens se sont rapidement insérés dans les échanges préexistants et notamment ceux concernant la traite des êtres humains. En effet, l'économie qu'ils rencontrèrent était déjà structurée par l'offre et la demande en captifs (Chouin 2018, p. 356). Ils ont par contre modifié très sensiblement les réseaux d'échanges en proposant de nouveaux produits. Les raisons de cette prompte et efficace intégration sont multiples. L'affrontement des puissances locales pour contrôler du littoral en est une. Cet espace, longtemps marginalisé, se transforme en une nouvelle frontière d'opportunités qui attire de nouvelles populations et détourne les anciens réseaux commerciaux en direction de la mer. Ces modifications majeures suscitent alors de nouveaux

appétits politiques. Les Dahoméens notamment s'emparent du comptoir de Whydah⁶ en 1727 et détruisent la ville de Jakin en 1732 qui leur faisait concurrence (Law 2021, p. 210). L'enjeu est de taille quand on sait qu'à partir de la rade de Ouidah, ce sont plus d'un million d'individus qui ont été déportés soit près de 10% de la traite atlantique entre le XVII^e siècle et la fin du XIX^e siècle (Ibid., p. 215).

2) *Le potentiel archéologique sous-marin du Bénin*

La rade de Ouidah fait partie des principaux sites africains atlantiques du commerce des esclaves. Entre 1659 et 1863, 1 112 navires européens s'y sont succédés. L'apogée de la fréquentation de cet espace se situe entre 1701 et 1730 où jusqu'à 100 navires pouvaient venir mouiller alors que la moyenne par décennie était de 53 expéditions (Saupin 2023, p. 141 et 144). C'est la France avec 421 expéditions qui domine les échanges, suivie de la Grande-Bretagne avec 328 expéditions, et du Portugal et du Brésil qui cumulent 249 expéditions (Ibid., p. 148). Une rapide étude dans "The slave trade database" indique qu'une dizaine de navires ont fait naufrage dans ces eaux dès 1683 et ce jusqu'en 1842. D'après ces données historiques, il est évident que la rade (en fait un mouillage forain) de Ouidah doit abriter des épaves. Malgré ses 125 km de côte, le Bénin n'est pour l'instant pas une destination de plongée. La faible visibilité sous-marine en est certainement la cause. L'absence de cette pratique sportive et la présence de fonds sablo-vaseux laissent donc à penser que les sites sous-marins sont encore présents et bien préservés. La recherche menée dans les archives met en lumière l'existence du naufrage de deux navires indiqués comme brûlés en rade de Ouidah : *L'Indien* et la *Porcupine*.

Le naufrage de *L'Indien*

Fort de l'arrêté du conseil d'État du Roi du 27 septembre 1720, qui accorde à la nouvelle compagnie des Indes un privilège exclusif pour le commerce de Guinée, cette dernière envisage un projet de traite en « grand ». Si de 1719 à 1721, seuls 4 navires sont indiqués à la traite, ce sont 21 navires qui sont envoyés pour ce commerce du 17 mars 1723 au 11 janvier 1725 et 5 autres pour le retour en droiture des marchandises. La dépense est vertigineuse : entre l'achat des navires de traite, leur armement et leur mise-hors, 3 962 148 livres 5 deniers 11 sol sont investis. Sur ces 21 navires, 18 ont pour destination Ouidah ; les autres la côte d'Angole (actuel Angola). Ils vont permettre l'introduction dans les colonies de 4 678 captifs en 1723, puis 6 450 captifs en 1724 et enfin 4 800 captifs en 1725.

C'est dans ce contexte que le navire *L'Indien* est acheté en Angleterre en 1719. Le 21 mai 1720, il quitte le Havre pour l'Océan Indien et l'île de Madagascar, objectif de la traite, sous le commandement de Monsieur de Marquessac. Après un premier arrêt à Port-Louis (Lorient) le 29 juin 1720, il arrive au Brésil le 4 novembre de la même année d'où il repart le 19 novembre. Il lui faudra plus de 6 mois pour atteindre l'île Bourbon (actuellement la Réunion). Le 20 mai 1721, il arrive donc sur cette île quelques jours après l'attaque du navire portugais *Nossa Senhora do Cabo* par des pirates. Le vaisseau attaqué le 26 avril 1721 appartient au vice-roi des Indes portugaises Luís Carlos Inácio Xavier de Meneses. Malgré un combat héroïque, il perd son navire et les immenses richesses qui se trouvaient dans les cales. Les pirates impressionnés par son courage lui octroient la liberté en échange d'une rançon de 2 000 piastres avancées par le gouverneur de Saint-Denis. En remerciement, le vice-roi des Indes portugaises promet d'écrire aux autorités du Mozambique pour faciliter la traite française. C'est probablement cet épisode qui conduit *L'Indien* à faire sa traite non pas vers Madagascar

⁶ Cette graphie fut utilisée au XVIII^e siècle. C'est aujourd'hui la ville de Ouidah.

mais vers le Mozambique de juillet à octobre 1721. Il rentre à l'île Bourbon le 10 décembre 1721, et la quitte le 31 décembre 1721. L'*Indien* est de retour à Lorient le 3 juillet 1722 après un périple qui aura duré 25 mois et 13 jours. Il y rapatrie 18 portugais de la *Nossa Senhora do Cabo* et 5 de leurs serviteurs. Le navire nécessite certainement d'importantes réparations après un tel périple. Il faut attendre le 22 mars 1724 pour que le directeur de la compagnie autorise l'armement en guerre et en marchandises de l'*Indien* avec pour capitaine le Sieur Fabrique. L'*Indien* est alors estimé d'un port de 200 tonneaux, d'un tirant d'eau de 13 pieds en charge et de 8 pieds à vide. Il est armé de 16 canons et dispose de 63 hommes d'équipage. Le navire quitte Lorient le 5 avril 1724. La date d'arrivée à Ouidah est incertaine mais le premier mort déclaré sur cette côte, Pierre Le Cousse maître calfat, est à déplorer le 23 août 1724. Le 19 novembre 1724, un incendie se déclare (Mettas 1984, p. 564). Il ne doit pas être très violent et a dû laisser le temps à l'équipage de quitter le bord puisqu'un seul mort est déclaré ce jour-là (quid des esclaves probablement à bord ?). Les survivants européens dont le capitaine Fabrique sont ramenés à Lorient par les navires de la compagnie des Indes, l'*Alexandre* et le *Mercur*, faisant également la traite au moment du naufrage.

Le potentiel naufrage de la *Porcupine*

L'intensification de l'exploitation des îles des Caraïbes au début du XVIII^e siècle a entraîné une intensification du commerce vers ces îles et de la traite négrière (Soulat et de Bry 2019, p. 69). Dans le même temps, elle a eu pour conséquence d'accroître le phénomène de piraterie dans les Caraïbes, progressivement dans l'Océan Indien et dans une moindre mesure le long des côtes africaines (Bialuschewski 2008, p. 462 ; Gosse 1968). Les attaques de pirates ajoutées à l'instabilité des guerres entre les nations européennes ont rendu la traite le long des côtes africaines, particulièrement vulnérables (Sutton 2023). C'est dans ce contexte que Bartholomew Roberts, un pirate notoire, opérait au début du XVIII^e siècle. En ce début de 1722, il commande une flottille de trois navires à l'aide de laquelle il capture onze navires ancrés dans la rade de Whydah (Gosse 1968 ; Bankston 2016 ; Sutton 2023). Robert fixe la valeur de la rançon pour chaque navire à 8 livres de poudre d'Or. Dix commandants acceptent de payer cette rançon. Seul le Capitaine Fletcher, commandant de la *Porcupine*, refuse de payer : il indique que son navire ne vaut pas cette somme, et que d'autre part il n'a pas de consigne de ses armateurs (Gosse 1968 ; Bankston 2016, p. 467 ; Sutton 2023, p. 146-147). Cette réponse de Fletcher fut considérée par le capitaine pirate comme une bravade et il ordonne de brûler la *Porcupine*. Il semblerait que 80 captifs étaient à bord lors de l'attaque de Roberts et qu'ils n'auraient pas été débarqués (Gosse 1968 ; Defoe et al. 2002 ; Bankston 2016).

3) *L'impact du commerce transatlantique sur la production et la consommation du fer en Afrique de l'Ouest*

Entre la fin du I^{er} millénaire et le début du XX^e siècle, l'essor de la production de fer est phénoménal en Afrique de l'Ouest, mais il n'est pas identique dans toutes les régions. Pour les sites du Sahel, l'activité s'accélère à la fin du I^{er} millénaire et durant toute la première moitié du II^{ème} millénaire. Ce phénomène semble être corrélé avec l'émergence de l'urbanisme, des États et du commerce transsaharien. Dans la bande soudano-guinéenne, c'est durant la deuxième moitié du II^{ème} millénaire qu'augmente la production. L'ascension de nouveaux États comme les États Dagomba, Gonja et Mamprusi dans le bassin de la Volta durant les XV^e et XVI^e siècles (Togo/Ghana ; Fage 1978) et l'État Mossi dans le Yatenga au XVIII^e siècle (Burkina Faso ; Martinelli 2002) entraîne l'accroissement de la demande d'armes et de houes en fer et stimule ainsi le commerce à longue distance. Plus au sud, que ce soit dans la

région de la Volta (Ghana ; Macé 2004) ou du Mono (Bénin ; Randsborg 2009), l'essor de la production du fer semble antérieur. Il a eu lieu durant la première moitié du II^{ème} millénaire et précède ainsi la fondation des royaumes Ashanti et Dahomey. La destination de ce surplus fait l'objet encore d'hypothèses : le Califat, l'Empire Songhay, etc.

L'accroissement de la demande en fer se poursuit durant la seconde moitié du II^{ème} millénaire, mais les différents pouvoirs politiques africains de la Côte ne semblent plus prêter attention aux sidérurgies locales (Macé 2004). À partir du XVI^e siècle, on entre dans la période du commerce transatlantique et de la traite négrière. Les royaumes Ashanti (Ghana) ou d'Abomey (Bénin), qui bâtirent leur prospérité sur l'exportation des êtres humains, étaient de grands consommateurs de fer (Manning 1990). Les relations commerciales qu'ils tissent avec l'Europe ont entraîné une restructuration sociale et ont modifié l'orientation économique des régions proches de la bordure littorale. Les Européens chargeaient leurs navires de traite d'objets et matériaux qu'ils échangeaient contre les captifs africains. Cette cargaison avait donc bien évidemment un but lucratif mais présentait également l'avantage de lester les cales des navires. Les articles devaient correspondre aux goûts des Africains et répondre aux normes de qualité locale afin d'être acceptés dans les transactions. Les Européens se sont vite aperçus que le marché africain était dynamique et que les habitudes de consommation variaient d'un endroit à l'autre le long de la côte et qu'elles pouvaient changer au fil du temps (Richardson 1979). L'essentiel des exportations vers l'Afrique de l'Ouest étaient des biens de consommation, comme les textiles, les perles de verre, les fusils, les objets en céramique, l'alcool, le tabac, etc. (Alpern 1995). Les métaux, cuivre et fer, faisaient également partie des produits de base du commerce entre l'Europe et l'Afrique. Pour exemple, entre 70 000 à 80 000 tonnes de métaux bruts ont été importés en Afrique durant le XVIII^e siècle (Pétré-Grenouilleau 2006, p. 152). Ce à quoi il faut ajouter l'importation de produits finis ou semi-finis (armes blanches, houes, etc.) que les forgerons locaux n'avaient plus besoin de produire. S'agissant du fer, son importation en grande quantité semble à première vue paradoxale puisque ce métal était déjà largement produit en Afrique. Cette métallurgie et les artisans qui s'y rattachent étaient bien établis et aucun élément ne montre que cette activité était en déclin au XV^e siècle (de Barros 2023). Alors pourquoi les Africains ont-ils consommé du fer européen ? Est-ce que cette arrivée de fer européen est venue concurrencer la production locale, créer de nouveaux besoins, permettre la fabrication d'objets jusque-là inédits, alimenter des espaces dépourvus de métallurgie ?

La découverte et l'étude d'épaves de négriers possédant encore leur cargaison (en barres de fer) offrirait une opportunité unique pour mieux connaître le type de marchandises exportées. Actuellement, les données matérielles manquent (Evans and Ryden 2018). Aucune barre de fer n'a été mise au jour lors de fouilles archéologiques en Afrique et aucun objet africain en fer appartenant à la période de la traite n'a été analysé en laboratoire afin de caractériser l'origine, la nature et la qualité du métal dans lequel il a été fabriqué. Par contre, les archives européennes permettent d'accéder à certaines informations : lieux de production du fer, poids, tailles, formes des barres, estimation de la quantité de métal exporté. Contrairement au fer africain, le fer des barres était produit selon la méthode indirecte où la fonte était décarburée afin d'obtenir un métal forgeable. Leur poids a diminué au cours du XVIII^e siècle. Il est passé d'environ 30 livres (soit 15 kg) au XVII^e siècle à moins de 15 livres au XIX^e siècle. Il n'est pas aisé de savoir exactement les raisons de ce changement mais les acheteurs africains semblent exigeants sur les dimensions des barres et la qualité du fer. Un observateur suédois des années 1670 écrit : "The correct length of voyage iron or Guinea iron is about 11 feet, and of such weight that 18, 19 or 20 bars of it make 5 cwt or 76 to 80 bars in a cask of 20 cwt. It

must be smooth and well forged. There is much discussion when there are cracks along the edge of the bars... The buyers in England take great offence at this” (The Historical Metallurgy Group of the Swedish Ironmasters’ Association 1982). Les barres destinées à la Guinée à la fin du XVII^e siècle mesuraient donc 3,35 m et pesaient 12,7 kg ; elles ne devaient présenter aucune fissure, signe d’un mauvais forgeage. Afin de suivre l’évolution des mesures souhaitées, les industriels et armateurs européens devaient s’adapter constamment et suivre les demandes. La barre de fer semble être un produit sur mesure où les acheteurs décidaient et influaient sur la morphologie du produit. Certains écrits européens montreraient que la barre de fer européennes avait trois fonctions : la première d’usage - métal à transformer en objet usuel (De Corse 2001) -, la deuxième d’échange - monnaie de transaction commerciale (Park 1984), et la troisième de thésaurisation - par exemple la dote lors des mariages chez les Gouro (Meillassoux 1964). L’agent de la Compagnie royale d’Afrique en charge de Ouidah note que les ventes de fer se concentraient sur les deux premiers mois de l’année, lorsque les agriculteurs préparaient leurs champs pour les semailles (Evans and Ryden 2018, p. 20).

Il est encore aujourd’hui difficile de connaître le véritable rôle du fer européen dans les transactions commerciales car les données à disposition viennent essentiellement des sources écrites européennes. De nombreuses questions restent en suspens : est-ce que l’ajout majeur de ce fer au stock produit en Afrique a eu un impact sur l’accélération et/ou la cessation de la production locale ? L’arrivée du fer européen a-t-elle touché tous les secteurs (agriculture/guerre) de la même manière ? Selon les régions, la période chronologique et l’entité politique qui gouverne, quel a été le succès du fer européen ? Pourquoi l’activité sidérurgique dans les régions voisines des littoraux atlantiques disparaît-elle au tournant du XVI^e siècle, période d’accélération de la traite négrière, alors qu’au même moment elle s’intensifie dans les régions situées plus dans les terres ?

Afin de répondre à ces questions et de les envisager du côté des données africaines, il est impératif de retrouver et d’étudier une voire plusieurs épaves de navires négriers échoués au bord des côtes ouest-africaines. Cela offrira la possibilité de suivre l’impact de l’ouverture atlantique de l’Afrique sur la production locale du fer. Dans la perspective de la découverte de navires négriers, des analyses pourraient être conduites sur les barres de fer permettant ainsi de retracer la diffusion de ce métal exogène dans les terres africaines. Elles pourraient être comparées dans un second temps avec celles menées sur les objets en fer mis au jour sur les établissements africains lors des fouilles entreprises notamment dans le cadre du projet AFRICA.

III.2.2 Présentation de l’équipe

Responsable(s) du projet	Sébastien Berthaut-Clarac, Didier N’Dah
Responsable d’opérations	Sébastien Berthaut-Clarac, Caroline Robion-Brunner, Angelo Affolabi Ayedoun
Prospection au sonar latéral	Thierry Courp, Bertil Herbert
Prospection archéo sous-marine	Sébastien Berthaut-Clarac, Makime Sekouri, Angelo Affolabi Ayedoun
Rédaction	Sébastien Berthaut-Clarac, Caroline Robion-Brunner, Thierry Courp, Angelo Affolabi Ayedoun
Photographies sur le terrain	Makime Sekouri
Mise en Page	Sébastien Berthaut-Clarac

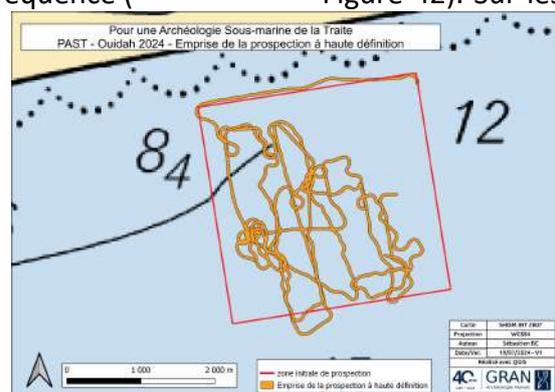
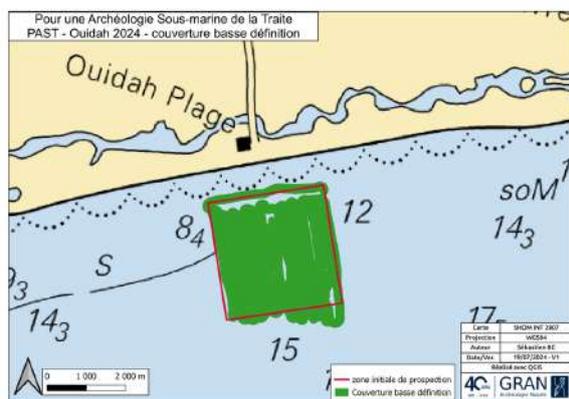
III.2.3 La démarche méthodologique de prospection

Avant de fouiller une épave, il faut la repérer. C’est dans ce but que la mission d’avril 2024 a été réfléchi. Elle comprenait une prospection au sonar à balayage latéral et une vérification par plongées. La prospection au sonar à balayage latéral vise à donner une image du fond à

l'aide d'ondes sonores. Celles-ci sont projetées sur le fond permettant de mettre en évidence ses irrégularités qui peuvent être naturelles (roches) ou anthropiques (le plus souvent des restes d'épaves). Le sonar latéral utilisé est un CM2 de marque C-MAX permettant de travailler avec deux fréquences : 1) une basse fréquence de 325 kHz permettant de travailler plus grossièrement sur la zone mais avec une fauchée (c'est-à-dire une couverture au fond horizontalement) de près de 120 m par passe ; 2) une haute fréquence de 780 kHz permettant de travailler très finement mais avec une ouverture ne dépassant pas 40 mètres.

Dans un premier temps, la totalité de la zone a été couverte en basse fréquence (

Figure 41), puis un second passage a été effectué sur des anomalies identifiées en haute fréquence (Figure 42). Sur les 9



km² à couvrir initialement ce sont 8,445 km² (93,82%) qui ont été prospectés. Le hiatus au nord s'explique par le mauvais temps.

Figure 41 : Prospection en basse définition.

Figure 42 : Prospection en haute définition.

La première couverture en basse définition a permis d'identifier pas moins de 250 anomalies. La nature des fonds tel que reporté sur les cartes indique seulement un fond sablo-vaseux sans indication de roche. Pour nommer ces points, il a été choisi d'utiliser l'heure minute et seconde d'enregistrement, c'est-à-dire HH.MM.SS du JJ/MM/AAAA. La date permettant, dans le cas improbable où il y aurait un enregistrement identique au centième de seconde près sur deux jours, de les distinguer. Les anomalies ont été discriminés visuellement permettant de ne retenir que 40 anomalies afin de pouvoir les traiter en haute définition. Les passes en haute fréquence sur ces anomalies ont eu lieu sur deux jours. Les trajectoires non rectilignes des différents pilotes et des problèmes de positionnement du navire n'ont pas permis de couvrir en haute définition la totalité des anomalies initialement relevées. Au total, ce sont plus de 100 Km (exactement 100,538 Km) qui ont été parcourus tant en haute définition qu'en basse définition.

III.2.4 Les premières analyses et interprétations

1) Analyses des anomalies détectées par sonar latéral

27 anomalies qui ont été retenues à la suite du passage en haute définition et/ou significatif en basse définition (Tableau 9). Seules certaines ont fait l'objet d'un traitement.

fid	WPT	Date	XDM	YDM
1	12 02 05	06/04/24	2°05'E	6°18'N
2	11 40 40	06/04/24	2°05'E	6°17'N
3	12 09 06	04/04/24	2°05'E	6°17'N
4	12 23 17	04/04/24	2°05'E	6°17'N
5	11 08 07	06/04/24	2°05'E	6°18'N
6	11 35 25	06/04/24	2°05'E	6°17'N
7	11 41 49 a	06/04/24	2°05'E	6°17'N
8	11 42 33 a	06/04/24	2°05'E	6°17'N
9	10 31 25	06/04/24	2°06'E	6°19'N
10	10 55 18	06/04/24	2°05'E	6°18'N
11	11 42 33 b	06/04/24	2°05'E	6°17'N
12	11 42 33 c	06/04/24	2°05'E	6°17'N
13	11 41 49 b	06/04/24	2°05'E	6°17'N
14	11 41 49 c	06/04/24	2°05'E	6°17'N
15	11 35 31	06/04/24	2°05'E	6°17'N
16	11 35 17	06/04/24	2°05'E	6°17'N
17	11 43 54	06/04/24	2°04'E	6°18'N
18	10 42 32	06/04/24	2°05'E	6°18'N
19	10 38 55	06/04/24	2°05'E	6°19'N
20	10 37 51	06/04/24	2°05'E	6°19'N
21	10 37 51 b	06/04/24	2°05'E	6°19'N
22	10 34 07	06/04/24	2°05'E	6°19'N
23	10 26 53	06/04/24	2°06'E	6°18'N
24	11 48 08	06/04/24	2°05'E	6°17'N
25	12 31 17	05/04/24	2°05'E	6°18'N
26	12 27 32	05/04/24	2°04'E	6°18'N
27	11 50 35	06/04/24	2°05'E	6°17'N

Tableau 9 : Listes des anomalies

Anomalie 1 : deux masses peu uniformes - la première (12.02.05) mesure 23 m sur 8 m de large, la deuxième mesure au plus large 13 m sur 12 m (Figure 43).

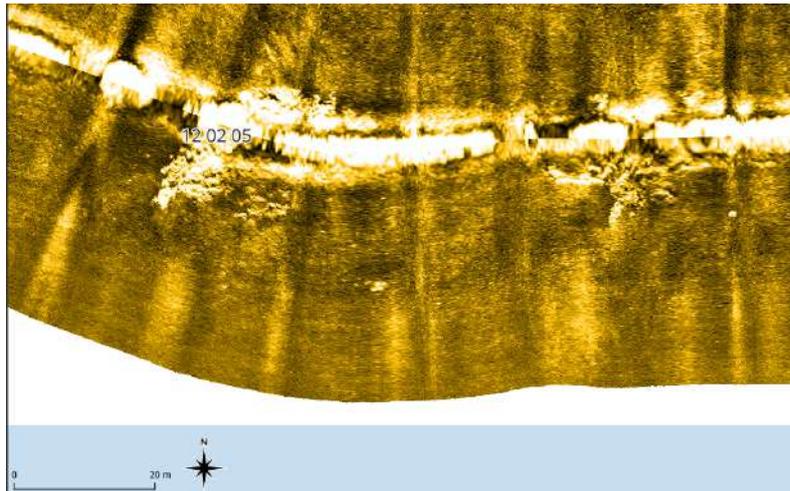


Figure 43 : Anomalie 1.

Anomalie 2 (image non traitée) : anomalie avec ombre projetée de 9m par 9m (Figure 44).

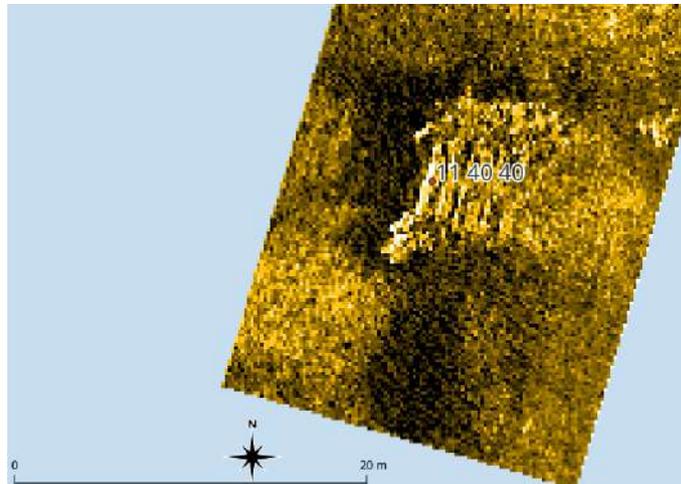


Figure 44 : Anomalie 2.

Anomalie 3 (image non traitée) : petites anomalies provoquant des ombres portées avec des éléments très réfléchissants sur un fond assez uniforme (Figure 45).

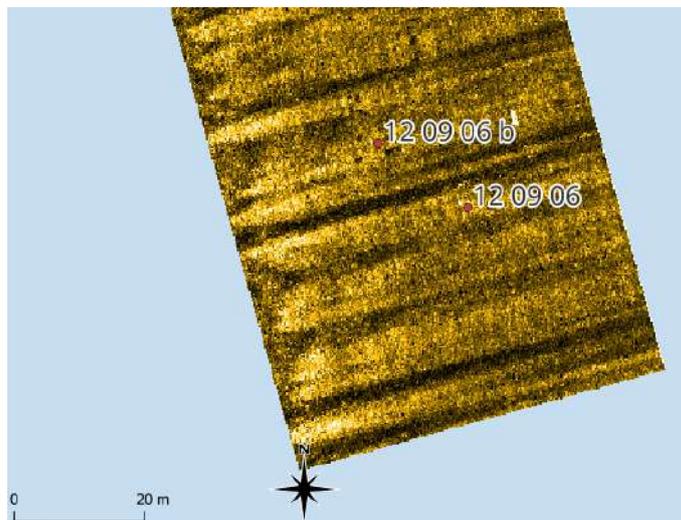


Figure 45 : Anomalie 3.

Anomalie 4 (image non traitée) : deux anomalies l'une mesurant 23 m sur 8 m de large et l'autre (12.23.17) mesurant 10 m par 9 m (Figure 46).

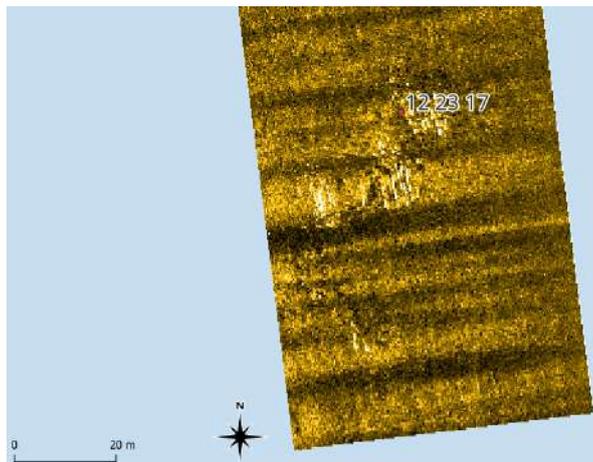


Figure 46 : Anomalie 4.

Anomalie 5 : excroissance de près de 5m (la plus au sud) avec d'autres éléments en connexion à droite dont une anomalie rectiligne de 3m (Figure 47).

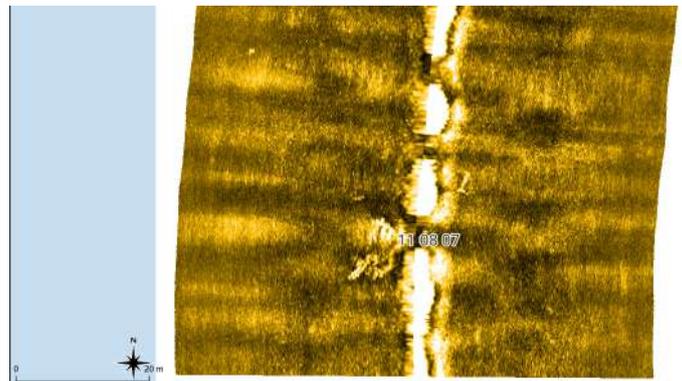


Figure 47 : Anomalie 5.

Anomalie 6 : amas (11.35.25) de 11m par 9 m. Le point 11.32.25.b semblait comporter des ombres portées sur les images base définition, mais en haute définition ces ombres ne sont plus visibles (Figure 48).

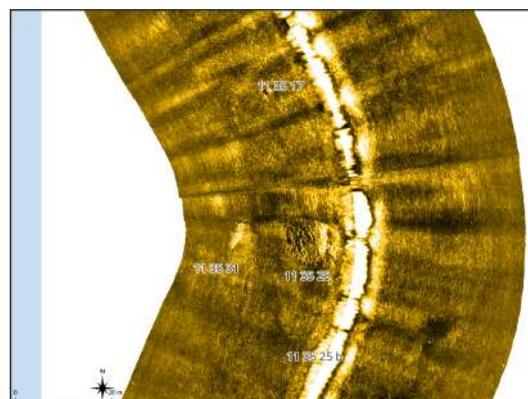


Figure 48 : anomalie 6.

Anomalies 7, 13 et 14 (image non traitées) : ensemble d'amas (peu perceptibles) avec en 11.41.49.b une anomalie perpendiculaire au signal émis par le sonar. En 11.41.49.c, une anomalie circulaire est perceptible en haute définition (Figure 49).

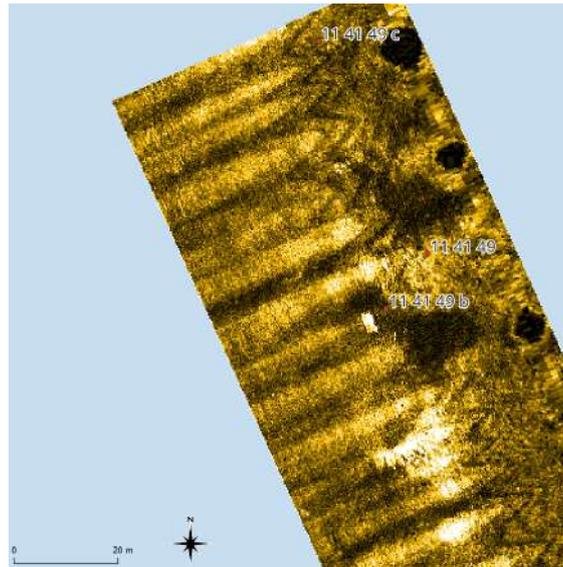


Figure 49 : Anomalies 7, 13 et 14.

Anomalies 8, 11 et 12 : anomalies peu visibles. En 11.42.33, un amas de 14 m par 9 m. En 11.42.33.b une forme circulaire (Figure 50, Figure 51 et Figure 52).

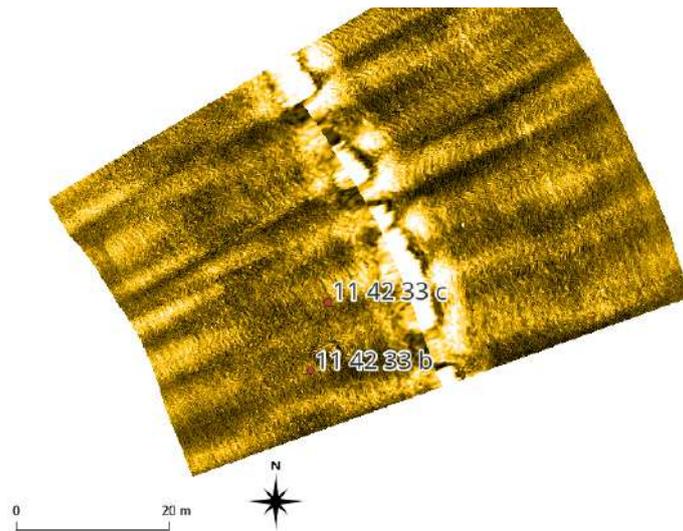


Figure 50 : Anomalies 11 et 12.

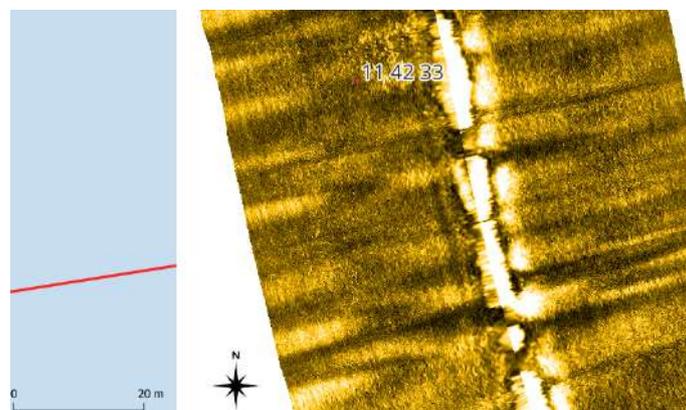


Figure 51 : Anomalie 8.

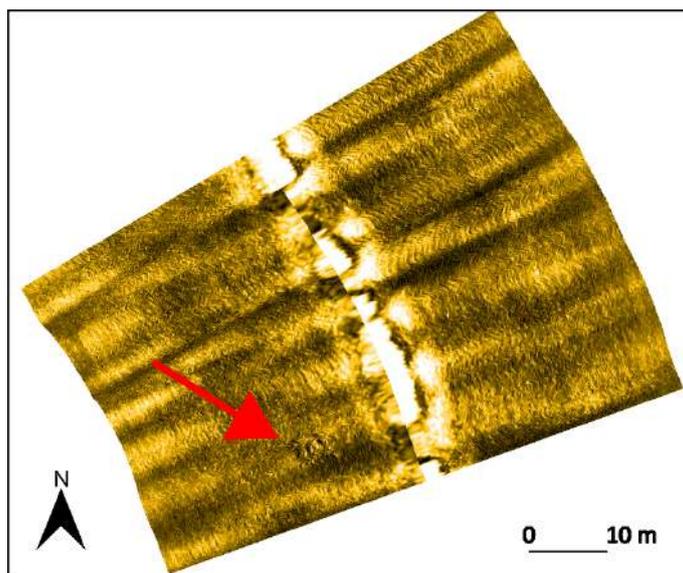


Figure 52 : Anomalie 11 de forme circulaire.

Anomalie 9 : en 10.31.25 est visible un artefact de 7 m de long et en 10.31.25.b sont visibles de petits artefacts de moins de 2 m de long (Figure 53).

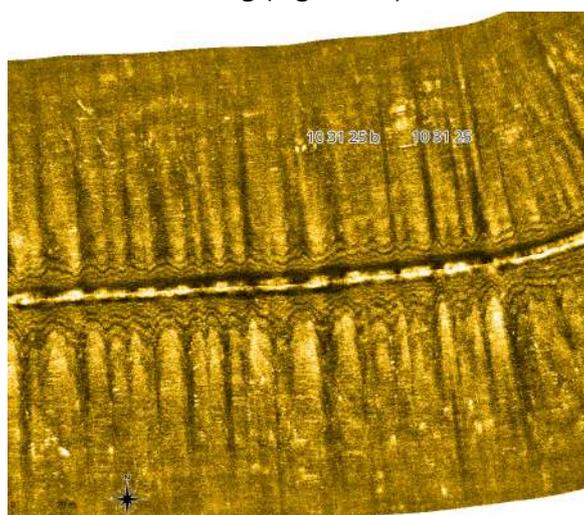


Figure 53 : Anomalie 9.

Anomalie 10 : forme longiligne de 7m de long. Mais à 50 m plus au sud-est est visible une forme de 5m de long (Figure 54).

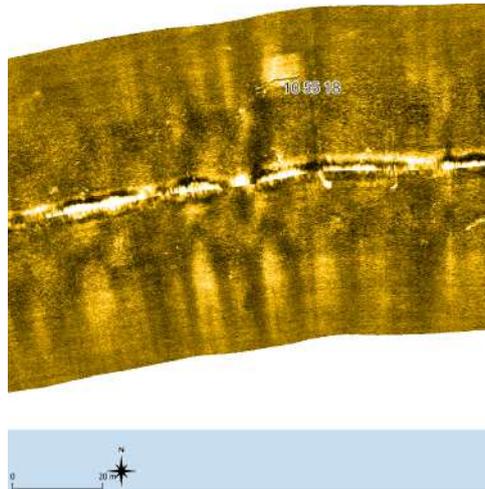


Figure 54 : Anomalie 10.

Anomalies 15 et 16 : En 11.35.17, une forme circulaire de 2m de diamètre et en 11.35.31 à l'ouest de 11.35.25, une forme longiligne de 5 m de long (Figure 55).

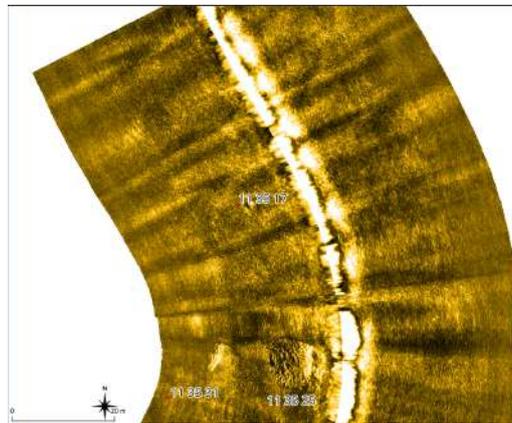


Figure 55 : Anomalies 15 et 16.

Anomalie 17 (image non traitée) : à l'ouest de ce point se trouve une masse incomplète mesurant environ 43 m et 10 m de large. De multiples anomalies sont visibles à proximité (Figure 56).

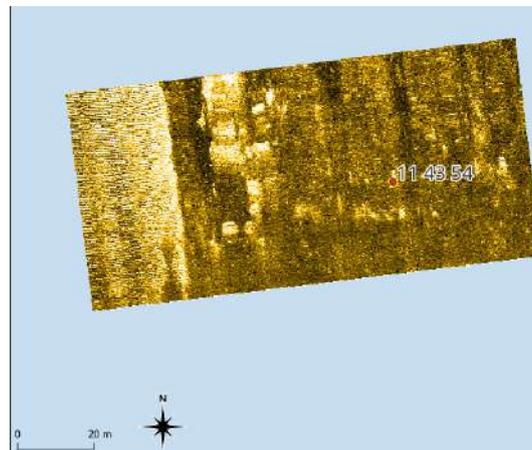


Figure 56 : Anomalie 17.

Anomalie 18 (image non traitée) : anomalie de 17 m sur 6 m de large avec de multiples anomalies à proximité (Figure 57).

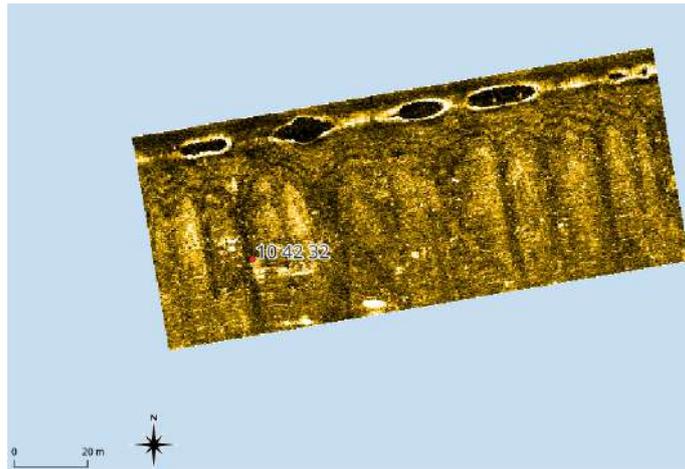


Figure 57 : Anomalie 18.

Anomalie 19 (image non traitée) : multiples anomalies (Figure 58).

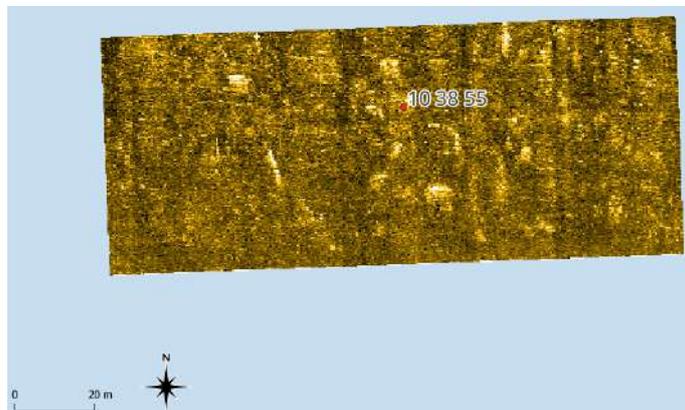


Figure 58 : Anomalie 19.

Anomalies 20 et 21 (image non traitée) : multiples anomalies non déterminées (Figure 59).

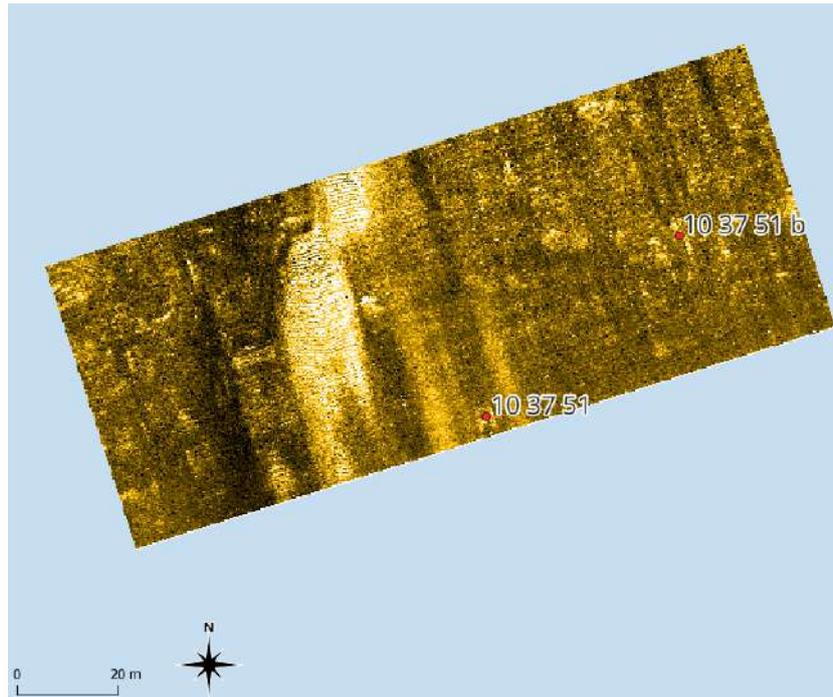


Figure 59 : Anomalies 20 et 21.

Anomalie 22 : anomalies nombreuses avec un amas compris dans un rectangle de 8 m par 5 m (Figure 60).

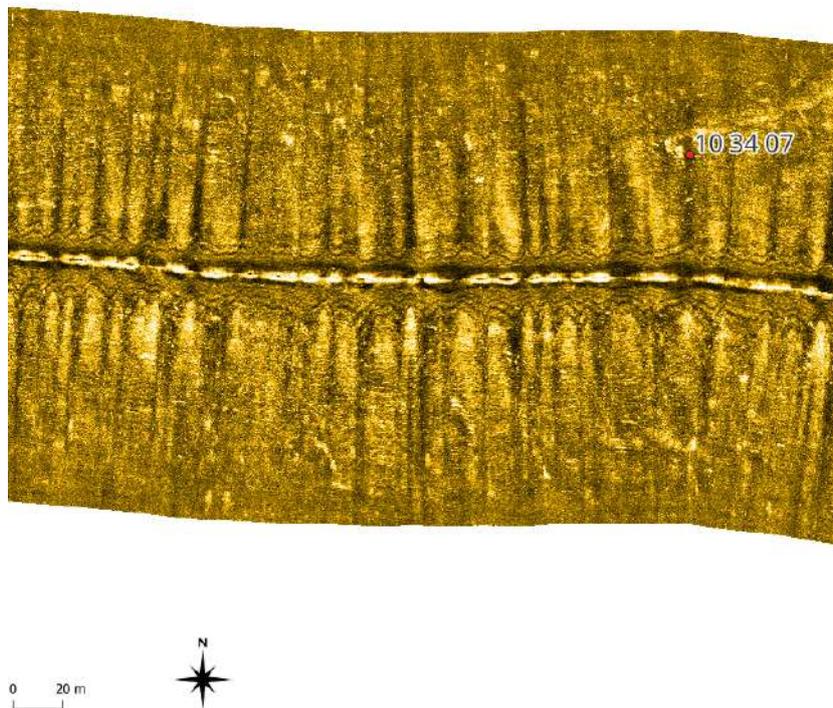


Figure 60 : Anomalie 22.

Anomalie 23 : multiples anomalies (flèches rouges) (Figure 61).

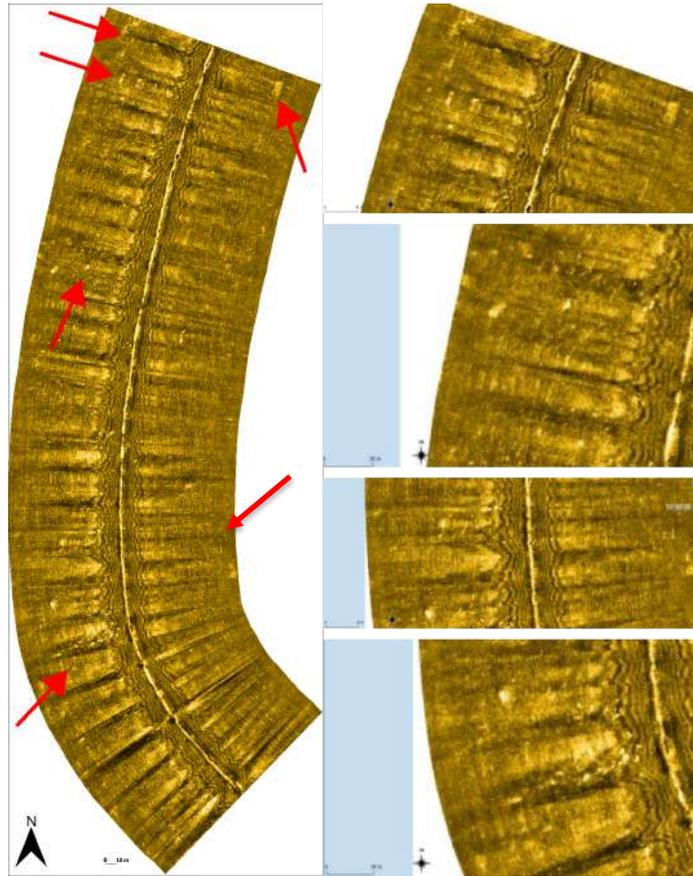


Figure 61 : Anomalie 23.

Anomalie 24 (image non traitée) : anomalie de 5m de long (Figure 62).

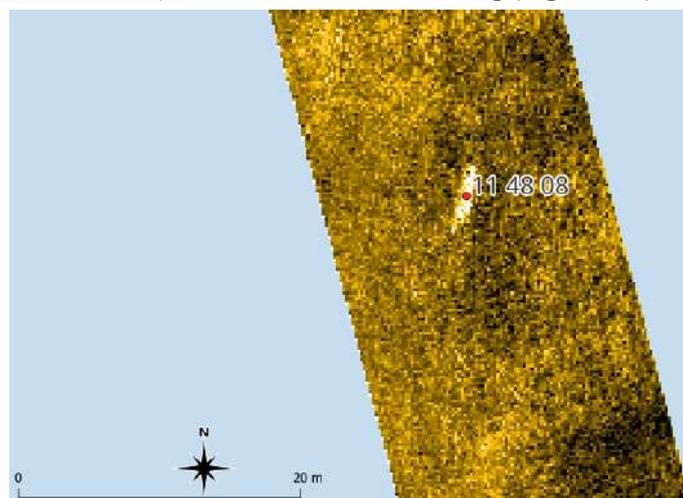


Figure 62 : Anomalie 24.

Anomalie 25 (image non traitée) : anomalie de 37 m de long pour 6 m de large (Figure 63).

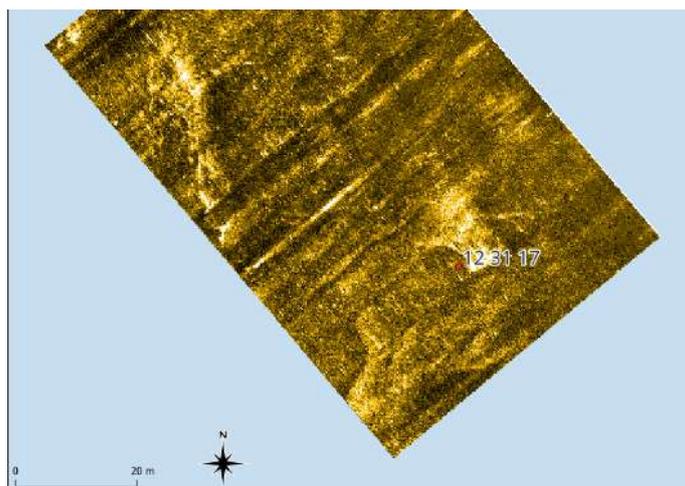


Figure 63 : Anomalie 25.

Anomalie 26 (image non traitée) : anomalie circonscrite dans un rectangle de 12m par 10 m (Figure 64).

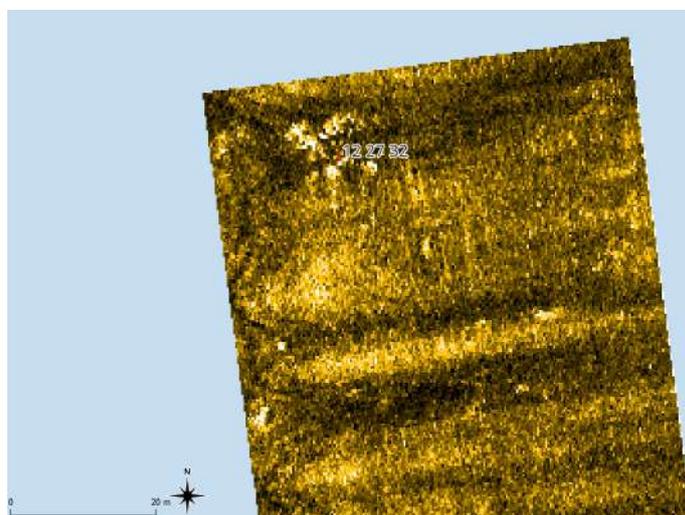


Figure 64 : Anomalie 26.

Anomalie 27 : anomalie saillante de 12 m par 7 m (Figure 65).

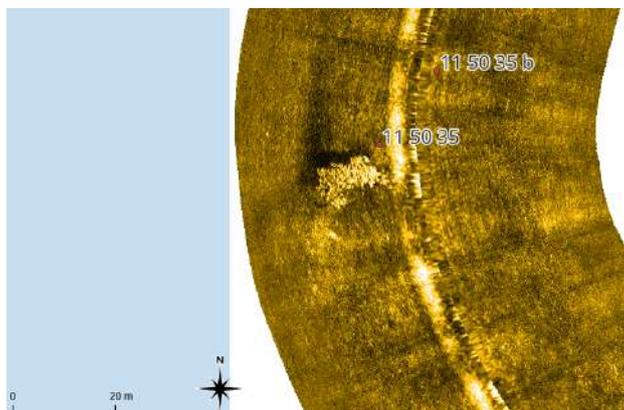


Figure 65 : Anomalie 27.

2) Les plongées sur les anomalies

En raison des contraintes de disponibilité du navire de la marine nationale et des conditions en mer, il n'a été possible de plonger que sur 5 anomalies. Trois plongées ont été tentées sur le point 11.42.33 et deux sur les points 10.26.53 (Figure 66 et Tableau 10).

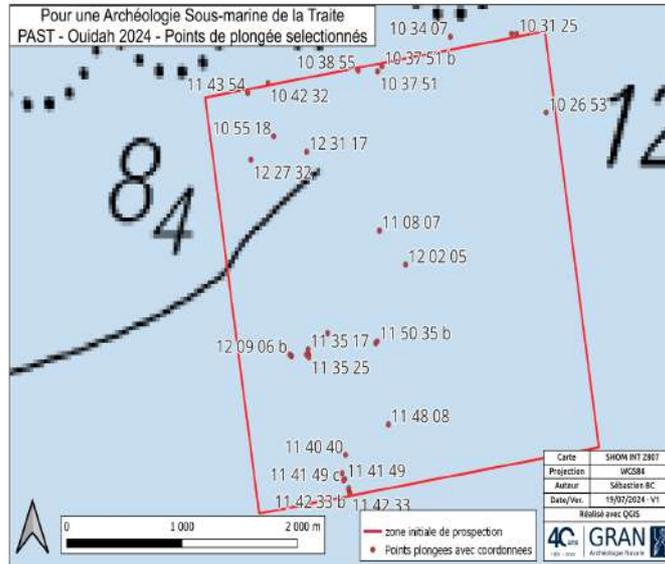


Figure 66 : Points de plongée.

Date plongée	Point	Prof.	Commentaires
11/04/2024	11.42.33 du 06/04/2024	17 m	fonds vaseux avec grosse granulométrie. Plongée très rapide en raison de problème de gueuse à récupérer (longueur de bout trop faible la bouée était enfoncée).
11/04/2024	11.42.33 du 06/04/2024	17 m	fonds vaseux avec grosse granulométrie présence de concrétions ou rochers (blocs gris) non tranchants homogène avec de la vie dessus, dimension d'une vingtaine de centimètre mais impossible de les faire bouger.
11/04/2024	11.41.49 du 06/04/2024	17 m	rochers (cuirasse latéritique)
11/04/2024	10.26.53 du 06/04/2024	12,8 m	fonds sableux plus fins mais avec moins de vase, aucune visibilité sur le fond. Visibilité se dégradant jusqu'à -10 m et qui devient nulle à 3m du fond. Un courant latéral cisailant au fond conduit au soulèvement de la vase ou du sable.
12/04/2024	11.50.35 du 06/04/2024	15,85 m	rochet saillants recouverts de filets à 15 m au Nord de la gueuse. Fond sablo-vaseux avec granulométrie fine plus grossière à côté des rochers. Visibilité nulle
12/04/2024	11.42.33 du 06/04/2024	17 m	fonds sableux, visibilité nulle
12/04/2024	11.40.40 du 06/04/2024	16,75	rocher très tranchant, hauteur d'une main, beaucoup de vase. Sable coquillier tout autour.
12/04/2024	10.26.53 du 06/04/2024	12,8 m	sable seulement (sans vase)

Tableau 10 : Synthèse des données obtenues

Malheureusement, la visibilité en plongée étant nulle (Figure 67), seule une identification des rochers rencontrés sur le point 11.41.49 a été possible.



Figure 67 : Exemples de visibilité à -14 m (soit à 3m du fond).

III.2.5 L'analyse des roches

Le morceau de roche prélevée a un aspect caverneux et une couleur brune-jaune (Figure 68).



Figure 68 : Morceau de roche prélevée

Après étude des photos par Guillaume Estrade, il s'agit bien d'une latérite de cuirasse essentiellement pisolitique : les pisolithes très ferriques, presque noirs, d'un diamètre moyen de quelques centimètres se sont dissous dans l'eau laissant des cavités. Ces pisolithes ressemblent à des ooïdes. Ils étaient saisis dans un ciment certainement rouge au départ constitué de grains de quartz (grès).

« Les pisolithes sont abondantes dans les dépôts terrigènes et les profils de sol dans de nombreuses régions d'Australie et d'outre-mer, allant des lits non consolidés de gravier pisolitique à la ferricroûte cimentée et peuvent former des composants majeurs des sols et des colluvions associés à l'altération profonde "latéritique". Les pisolithes sont également abondants dans les dépôts sans aucun doute colluviaux d'éboulis cimentés tels que le canga et forment également des composants mineurs à majeurs des sols, des

graviers colluviaux et des minerais détritiques, mais sont rares et généralement fragmentés dans les sédiments alluviaux.

Les pisolithes sont généralement composées de sesquioxydes de fer, d'aluminium et de manganèse avec des mélanges mineurs de quartz et de kaolinite. Elles sont largement distribuées dans les régions tropicales à subtropicales recouvrant des profils de sol profondément altérés. Bien que les éléments terminaux riches en fer, en aluminium et en manganèse soient des sources importantes de ces métaux, leur genèse reste encore énigmatique. Leur formation n'a jamais été observée ou produite expérimentalement et les modèles actuels de leur origine ne sont guère plus que des suppositions. »⁷

La présence de cuirasse pourrait expliquer les performances erratiques du magnétomètre de la mission du docteur Cook lors de ses recherches à Elmina au Ghana (Cook, Horlings† et Pietruszka 2016, p. 4). En effet, un magnétomètre a été utilisé pour détecter les anomalies ferreuses. Or la présence d'une telle cuirasse a pu entraîner des faux positifs d'anomalies. Ce cas se rencontre parfois lors de prospections magnétométriques dans des régions volcaniques.

III.2.6 Bilan de cette première prospection en mer

Étant une première au Bénin, cette mission de prospection a permis de connaître les équipements à disposition et les conditions en mer. Réalisée avec de modestes financements, elle a bénéficié du concours de la marine béninoise, de l'ambassade de France et de nombreux autres acteurs qui l'ont rendu possible.

Les indications données dans la littérature, notamment sur la nature des fonds (sablo-vaseux), se sont avérées inexactes complexifiant d'autant l'identification d'une éventuelle épave par la présence de rochers. Néanmoins, des anomalies nécessitent de nouvelles investigations avec une meilleure visibilité afin d'affirmer leur nature anthropique. Par ailleurs, les recherches en archives se poursuivent montrant un grand potentiel de cette zone pour la découverte d'épaves.

Enfin, cette mission a rendu possible la prise de contacts avec des acteurs de terrain (plongeurs, entrepreneurs, EPA, etc.) qui permettront sur le long terme de structurer l'archéologie sous-marine au Bénin.



⁷ Source : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5593/pisolithe> consulté le 23 mai 2024.

IV. Les résultats obtenus en laboratoire

IV.1 Étude des collections céramiques mises au jour sur le site d'habitat de Kpeta 2 dans la commune d'Aplahoue au sud-est du Bénin (A. Delvoye)

Lors d'un séjour au laboratoire d'archéologie de l'université d'Abomey-Calavi organisé entre le 27 mai et le 12 juin, après une première semaine dédiée à la dispense de cours en paléoméallurgie et en céramologie, A. Delvoye a poursuivi l'étude du mobilier céramique issu des fouilles du projet AFRICA. Son intérêt s'est plus particulièrement porté sur les vestiges mis au jour lors de la campagne 2023 sur le site de Kpeta 2.

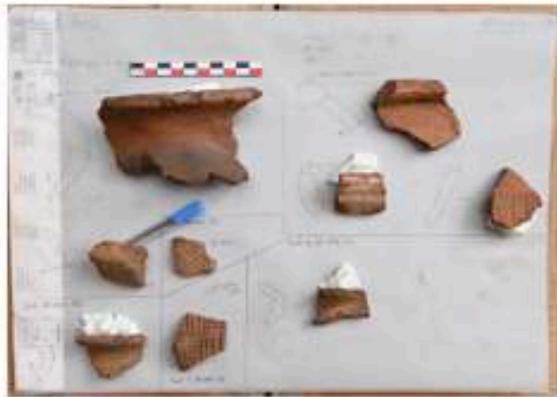
IV.1.1 Actions menées et premières observations

La phase d'étude des collections a permis de réaliser 22 planches de dessin et de clichés (voir planches ci-dessous), qui viennent s'ajouter aux 33 autres planches produites durant une semaine lors de la campagne d'août 2023. Les deux semaines d'études post-fouille effectuées entre 2023 et 2024 ont donc permis d'effectuer 55 planches de dessin et de cliché. Ces éléments seront traités cet hiver pour produire des planches de synthèse des productions céramiques rencontrées sur les différents sites du projet. Elles viendront ainsi illustrer les données quantitatives et qualitatives également recueillies lors de ces deux semaines d'études post-fouille au travers d'inventaires. À ce jour, près de 7205 fragments ont déjà été décomptés pour un poids total d'environ 119 kg de matériel céramique.

Si l'étude détaillée de cet important corpus devra préciser - pour chaque site et chaque contexte - la variabilité morpho-décorative et technique des productions ainsi que leur évolution dans le temps, plusieurs points remarquables des corpus méritent déjà d'être soulignés. Le premier point renvoie à la présence de potentiels outils en céramique, détectés parmi ce vaste corpus de poteries fragmentées en raison de leur forme sensiblement particulière. Il s'agit de six fragments de forme circulaire ou ovale, présentant des faces aplanies plus ou moins marquées, évoquant la partie active d'outils destinées à une action de raclage. Cette hypothèse devra toutefois être vérifiée par une observation au microscope et une étude tracéologique dédiée. Cette session d'étude révéla également la présence de traces récurrentes sur les ouvertures de certaines poteries. De teinte blanchâtre ou noirâtre, ces traces prennent souvent la forme de bandes verticales partant du rebord des récipients, de manière similaire à des coulures. Une observation plus attentive devrait permettre de dire s'il s'agit de résidus alimentaires ou de décors ornant les parties supérieures des vases. Le traitement du mobilier a finalement souligné l'existence d'éléments d'architecture en terre, dont quelques éléments avaient déjà été dissociés du reste du corpus céramique. Il s'agit ici de fragments de terre – probablement légèrement rubéfiés – aplanis sur deux faces. L'une des deux faces apparaissant toujours plus lisse semble correspondre à une paroi externe, évoquant les couches d'enduit en terre appliquées sur les faces internes et externes de murs. La reconnaissance de ces éléments est fondamentale puisqu'elle atteste de la présence d'architectures en terre sur le site. Si la conservation de ces éléments est due à leur rubéfaction, comment dès lors mettre en avant le reste de ces architectures ? Des masses de terre issues de la dégradation de ces architectures pourraient-elles être détectées en fouille ? Aucun indice de ce type n'était apparu lors de la campagne de fouille 2021.

Planches du mobilier céramiques de la fouille de Kpeta 2







IV.1.2 Perspectives

Les fouilles extensives entamées à Kpeta 2 en 2023 soulignèrent le fort potentiel archéologique de cette occupation située entre les 14^e et 17^e siècles environ. Il s'agit d'une période charnière de l'histoire récente de l'Afrique de l'Ouest, où les sociétés locales virent l'arrivée puis le développement croissant des relations économiques et culturelles avec l'Europe occidentale et l'Amérique. La bonne conservation de niveaux de circulation, pavés ou non, et de dépôts de mobilier et structures adjacentes constitue une opportunité unique de documenter l'évolution des modes de vie et de la culture matérielle des sociétés du Golfe de Guinée à cette période, dans un contexte de recherche où les fouilles archéologiques se limitent souvent à des sondages restreints. À l'échelle des deux années restantes pour la quadriennale 2023-2026, deux volets seraient à conduire en priorité à Kpeta 2.

En 2025, la priorité pourrait être mise sur l'achèvement de l'important corpus de vestiges céramiques exhumé au cours de la campagne 2023, permettant ainsi d'avoir une image claire de la variabilité des productions dans les niveaux supérieurs d'occupation du site. Si une part significative de ce mobilier a déjà été inventorié, décrit, dessiné et photographié, ces données nécessitent en effet encore un important travail de mise au propre (planches de synthèse) et d'analyse.

En 2026, la poursuite des fouilles à Kpeta 2 permettrait d'étudier plus précisément l'extension de l'occupation, notamment dans la partie haute de la butte où des aires pavées en place ont été découvertes. Ces décapages extensifs complémentaires devraient aussi préciser l'organisation interne de l'occupation, et la fonction de certains aménagements et structures. C'est le cas de l'amas de scories St. 4 mais aussi de la St.6, interprétée comme un dispositif funéraire. La présence de niveaux d'occupation antérieurs devra être aussi vérifiée durant cette campagne. Les anomalies de faible intensité détectées par F. Lévêque en géophysique dans les parties basses de la butte devront être aussi vérifiées. Cette mission sera aussi l'occasion d'engager : une étude géoarchéologique des niveaux de sols (composition, entretien) à l'extérieur comme à l'intérieur des aires pavées ; une étude archéobotanique (carpologie, phytolithes). Dès lors, plusieurs orientations de recherche peuvent déjà être formulées pour une future quadriennale (2027-2030). En fonction des résultats de la campagne de fouille 2026, des compléments d'information seront probablement nécessaires sur le site de Kpeta 2, notamment du point de vue des pratiques funéraires. Si des dispositifs funéraires semblent intégrés aux espaces domestiques, leur étude est encore largement à mener. Une approche anthropologique de terrain serait ainsi un axe privilégié pour la campagne 2027. La compréhension de la vie et de la mort de ces populations ayant un lien étroit avec la métallurgie du fer ne devrait toutefois pas se restreindre au seul site de Kpeta 2.

La quadriennale 2027-2030 pourrait ainsi être une opportunité pour investiguer une ou plusieurs autres buttes similaires, déjà identifiées en prospection pédestre, et acquérir ainsi de précieux points de comparaison. Cette étape semble nécessaire pour replacer les résultats acquis à Kpeta 2 à une échelle micro-régionale, permettant ainsi des comparaisons sur les périodes d'occupation, leur intensité, ou encore sur la diversité des modes d'habitat et leur structuration. Les démarches initiées en géoarchéologie et en archéobotanique trouveraient ainsi tout leur sens, offrant la possibilité d'un échantillonnage raisonnée à l'échelle de plusieurs sites. Cette approche comparatiste concernerait également l'étude des pratiques funéraires et de la culture matérielle (céramique, objets métalliques, cauris, outillage macro-lithique).

IV.2 Datations radiocarbone (E. Delque-Kolic et A. Höhn)

IV.2.1 Datations radiocarbone obtenues sur les sites d'Aplahoué au sud-ouest du Bénin

En 2022, 58 échantillons de charbons ont été collectés sur les sites de Dolomey et de Kpeta 1. La majorité des charbons a été prélevée manuellement dans les couches sédimentaires, certains ont été extraits de scories et d'autres isolés par flottage à partir du sédiment. 21 fragments ont été sélectionnés pour des datations radiocarbone et ont fait l'objet d'une étude archéobotanique par Alexa Höhn.

Pour 3 échantillons de taille centimétrique (entre 1 cm et 4 cm de diamètre), l'étude archéobotanique a permis de différencier 2 à 3 zones de croissance (Figure 69). Des prélèvements ont été réalisés dans chacune de ces zones dans le but d'observer d'éventuelles variations de teneurs en carbone 14 entre le cœur et l'extérieur du charbon ce qui pourrait permettre de les dater plus précisément.

Des quantités de 5 à 10 mg de charbons sont habituellement nécessaires pour récupérer 1 mg de carbone environ. Les pollutions carbonées extérieures aux échantillons ont été éliminées par une alternance de nettoyages chimiques et de rinçages (Dumoulin et al., 2017). Un premier traitement avec de l'acide chlorhydrique dilué (0,5N à 80°C pendant quelques heures) a permis d'éliminer les carbonates apportés par l'environnement minéral de l'échantillon. Les échantillons ont ensuite été traités avec une solution de soude (0,1 N à 80°C pendant 1h) pour supprimer les acides humiques provenant du sol d'enfouissement. Ils ont subi un dernier lavage à l'acide chlorhydrique dilué (0,5N à 80°C pendant 1h) pour éliminer le gaz carbonique atmosphérique moderne éventuellement absorbé par les échantillons lors du traitement à la soude. Les échantillons ont ensuite subi une combustion (5h à 850°C avec CuO et Ag) afin d'en extraire le carbone sous forme de gaz carbonique. Le gaz carbonique a été réduit en carbone solide (graphite) qui a été compacté dans une cible en aluminium pour être placé dans la source de l'AMS (Spectromètre de Masse par Accélérateur) Artemis au LMC14. Les teneurs en carbone 14 des échantillons mesurés dans l'AMS ont été normalisées par rapport au standard international, corrigées du fractionnement isotopique mesuré dans l'AMS et du bruit de fond associé à leur préparation (Moreau et al., 2020). Les âges radiocarbone calculés à partir de ces teneurs et exprimés en BP ont été calibrés avec le programme OxCal en ligne (OxCal V4.4.4, Bronk Ramsey, 2009) en utilisant la courbe de calibration SHCal20 (Hogg et al., 2020) de l'hémisphère sud. Bien que le Bénin ne soit pas situé géographiquement dans l'hémisphère sud, les masses d'air qui le traversent proviennent majoritairement du sud de la planète marquant la biosphère de leur teneur en carbone 14.

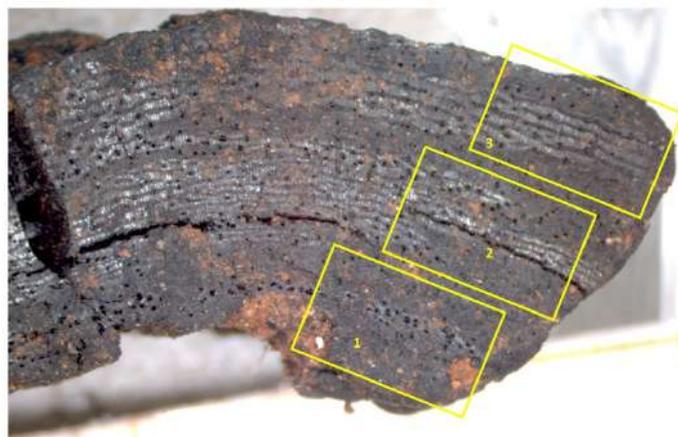


Figure 69 : Cernes de croissance sur le charbon KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt3 (photo : Alexa Höhn)

N° SacA	Référence échantillon	Nature	Identification botanique	Masse de carbone (mg)	$\delta^{13}C\%$	Activité ^{14}C (pMC)	Age BP	Age calibré à 95,4%
DOLOMEY								
70372	DOL-2022-127-Cubage2-90cm/AB89	Charbons dans sédiment	Faboideae I	1,32	-24,3	93,05 ± 0,26	580 ± 30	1324CE (11,6%) 1345CE 1390CE (83,9%) 1441CE
70373	DOL-2022-128-Cubage1-70cm/AB90	Charbons dans sédiment	cf. Faidherbia albida	1,61	-22,3	91,60 ± 0,28	705 ± 30	1282CE (45,2%) 1326CE 1342CE (50,2%) 1392CE
70374	DOL-2022-129-Cubage1-1m/AB91	Charbons dans sédiment	Ficus spp.	1,40	-23,6	91,92 ± 0,28	675 ± 30	1294CE (95,4%) 1395CE
KPETA 1								
70375	KP1-2022-141-SD15-base US1035/AB102	Charbons dans sédiment	Endocarps	1,67	-21,7	91,82 ± 0,26	685 ± 30	1290CE (95,4%) 1394CE
70376	KP1-2022-130-SD04-US1002/AB92	Charbons dans scorie	Faboideae I	1,54	-23,9	91,61 ± 0,27	705 ± 30	1282CE (45,2%) 1326CE 1342CE (50,2%) 1392CE
70377	KP1-2022-137-SD04-US1034/AB98	Charbons dans sédiment	cf. Sapindaceae	1,39	-25,6	91,50 ± 0,27	715 ± 30	1278CE (48,2%) 1324CE 1346CE (47,2%) 1390CE
70378	KP1-2022-138-SD04-US1039/AB99	Charbons dans sédiment	Faboideae I	1,43	-22,3	91,68 ± 0,27	695 ± 30	1286CE (95,4%) 1394CE
70379	KP1-2022-152-SD04-US1002/AB113	Charbons dans sédiment	monocot	1,83	-21,5	100,26 ± 0,28	Moderne	1954CE (86,4%) 1957CE 2019CE (9,0%) 2020CE
70380	KP1-2022-136-SD18-sachet1061/AB97	Charbons dans sédiment	Detarieae lia	1,43	-24,1	91,86 ± 0,26	680 ± 30	1292CE (95,4%) 1394CE
70381	KP1-2022-149-US1049/AB110	Charbons dans sédiment	Faboideae I	1,51	-23,9	91,56 ± 0,26	710 ± 30	1280CE (46,5%) 1325CE 1343CE (48,9%) 1392CE
70382	KP1-2022-148-SD16-US1054/AB109	Charbons dans sédiment	Fabaceae indet.	1,13	-23,2	91,78 ± 0,26	690 ± 30	1288CE (95,4%) 1394CE
70383	KP1-2022-139-SD16-US1054/AB100	Charbons dans sédiment	Faboideae I	1,50	-22,8	91,73 ± 0,25	695 ± 30	1286CE (95,4%) 1394CE
70384	KP1-2022-132-SD16-US1054/AB93	Charbons dans sédiment	cf. Sapindaceae (2-seriate rays, check Blighia sp.)	1,40	-21,1	91,70 ± 0,27	695 ± 30	1286CE (95,4%) 1394CE
70385	KP1-2022-146-SD15-US1071-Fosse7/AB107	Charbons dans sédiment	Terminalia/Pteleopsis	1,41	-24,5	91,75 ± 0,26	690 ± 30	1288CE (95,4%) 1394CE
70386	KP1-2022-92-SD15-ST8-US1059-PRL1059-1/AB88	Charbons dans sédiment	unidentified wood charcoal fragments	1,71	-23,0	92,13 ± 0,27	660 ± 30	1296CE (95,4%) 1400CE
70177	KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt1-out	Charbons dans sédiment	cf. Pterocarpus sp.	1,45	-24,8	92,17 ± 0,25	655 ± 30	1296CE (95,4%) 1404CE
70387	KP1-2022-163-ST11 Int-US1097/AB131	Charbons isolés par flottage	unidentified wood charcoal fragments	1,54	-25,7	91,48 ± 0,26	715 ± 30	1278CE (48,2%) 1324CE 1346CE (47,2%) 1390CE
70388	KP1-2022-159-ST11-US1004/AB121	Charbons isolés par flottage	unidentified wood charcoal fragments	1,50	-24,0	88,54 ± 0,27	980 ± 30	1026CE (92,7%) 1161CE 1169CE (2,8%) 1179CE
70173	KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt3-ins	Charbon dans sédiment	Faboideae I	1,79	-26,3	91,81 ± 0,25	685 ± 30	1290CE (95,4%) 1394CE
70174	KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt3-out			1,57	-24,1	92,32 ± 0,24	640 ± 30	1300CE (66,4%) 1364CE 1378CE (29,1%) 1410CE
70175	KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt3-igr			1,53	-24	91,65 ± 0,26	700 ± 30	1284CE (43,8%) 1327CE 1340CE (51,7%) 1392CE
70176	KP1-2022-SD15-ST8/AB94-frgt3-mgr			1,74	-26,8	92,48 ± 0,24	630 ± 30	1304CE (61,0%) 1362CE 1380CE (34,5%) 1416CE
				Age modélisé pour le dernier cerne SD15-ST8/AB94-frgt3			1309CE (63,9%) 1365CE 1381CE (31,6%) 1405CE	
70178	KP1-2022-SD15-US1036-F7/AB104-ins	Charbon dans sédiment	Phyllanthaceae I	1,5	-27,5	92,19 ± 0,24	655 ± 30	1296CE (95,4%) 1404CE
70179	KP1-2022-SD15-US1036-F7/AB104-out			1,53	-27,1	92,36 ± 0,25	640 ± 30	1300CE (66,4%) 1364CE 1378CE (29,1%) 1410CE
				Age modélisé pour le dernier cerne SD15-US1036-F7/AB104			1312CE (70,7%) 1365CE 1382CE (24,7%) 1408CE	
70180	KP1-2022-SD15-US1036/AB114-B-ins	Charbon dans sédiment	cf. Entada sp.	1,56	-23,8	92,31 ± 0,24	645 ± 30	1298CE (68,4%) 1365CE 1377CE (27,1%) 1408CE
70181	KP1-2022-SD15-US1036/AB114-B-mid			1,46	-23,4	92,31 ± 0,24	645 ± 30	1298CE (68,4%) 1365CE 1377CE (27,1%) 1408CE
70182	KP1-2022-SD15-US1036/AB114-B-out			1,69	-22,6	92,31 ± 0,22	645 ± 30	1298CE (68,4%) 1365CE 1377CE (27,1%) 1408CE
				Age modélisé pour le dernier cerne SD15-US1036/AB114-B			1318CE (74,5%) 1363CE 1386CE (20,9%) 1405CE	

Tableau 11 : Synthèse des datations radiocarbone pour les sites Dolomey et Kpeta 1

La majorité des datations obtenues fournit un intervalle chronologique fin XIIIème -début XVème siècle CE, similaire aux résultats de la campagne 2021 (Tableau 11 et Figure 70). L'échantillon KP1-2022-152-SD04-US1002/AB113 a donné une date postérieure à 1950, incompatible avec les données du site. L'intervalle début XIème-fin XIIème siècle CE fourni par l'échantillon KP1-2022-159-ST11-US1004/AB121 surprend par son antériorité. Il pourrait être en lien avec les 2 datations obtenues précédemment sur des charbons de scories de cette même phase d'activités sidérurgiques et suggérer des productions métallurgiques antérieures au XIVème siècle. Néanmoins, s'agissant de micro charbons récupérés par flottage au sein du sédiment et qui n'ont pas pu être identifiés du fait de leur petite taille, le risque de charbon intrusif n'est pas à exclure.

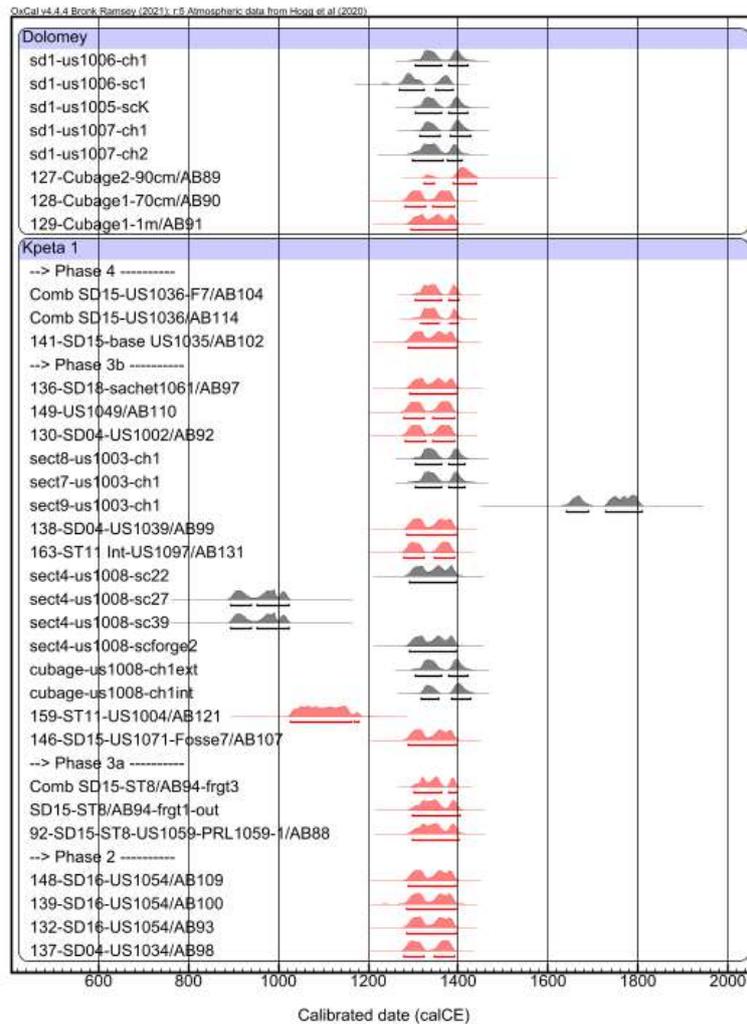


Figure 70 : Synthèse des dates radiocarbone calibrées (en noir les dates de la campagne 2021, en rouge les dates de la campagne 2022)

Les prélèvements réalisés dans les zones de croissance repérées sur 3 charbons (KP1-2022-SD15-ST8/AB94, KP1-2022-SD15-US1036-F7/AB104, KP1-2022-SD15-US1036/AB114) ont donné des valeurs identiques ne permettant pas d’obtenir une plus grande précision sur la datation de ces charbons. Un âge modélisé pour le dernier cerne a tout de même été calculé avec le logiciel OxCal pour chacun de ces échantillons ; l’intervalle obtenu n’apporte pas plus de précision en raison du faible nombre de cernes disponibles.

En 2023, 71 échantillons de charbons ont été collectés sur les sites de Domy, Kpeta 2 et Dolomey. 10 prélèvements des sites de Domy et Kpeta 2 ont été identifiés par Alexa Höhn et sont en cours de datation.

IV.2.2 Datations radiocarbone obtenues sur le site de Tchogma 1 au centre-ouest du Togo

2 datations ont été réalisées sur des restes charbonneux prélevés dans une scorie à feuillet associée au bas-fourneau TCH133 (Tableau 12). Les intervalles chronologiques obtenus pour ces 2 échantillons se recouvrent largement entre 1500 CE et 1670 CE. En 2023, la datation archéomagnétique de ce même four avait fourni un intervalle à 95% de confiance de 1650 CE à 1703 CE, offrant une meilleure précision pour cette période où le carbone 14 connaît de fortes fluctuations.

N° SacA	Référence échantillon	Nature	Masse de carbone (mg)	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	Activité ^{14}C (pMC)	Age BP	Age calibré à 95,4 %
71819	Tchogma 1 (Togo): scorie feuilletés associée à F99-133, n°1 (9,47016N 0,63120E)	charbon dans scorie	1,35	-25,4	96,43 ± 0,35	290 ± 30	1499CE (64,5%) 1600CE 1614CE (31,0%) 1662CE
71820	Tchogma 1 (Togo): scorie feuilletés associée à F99-133, n°2 (9,47024N 0,63119E)	charbon dans scorie	0,85	-17,3	96,73 ± 0,29	265 ± 30	1512CE (36,4%) 1592CE 1619CE (49,6%) 1670CE 1779CE (9,5%) 1799CE

Tableau 12 : Datations radiocarbone pour le site de Tchogma 1

De nouveaux échantillons seront prélevés dans la stratigraphie au cours de la prochaine mission de terrain qui aura lieu en octobre/novembre 2024 et qui s’attachera, entre autres, à préciser le cadre chronologique des activités métallurgiques du site de Tchogma.

IV.3 Datations archéomagnétiques obtenues sur les bas fourneaux du site de Domy au sud-ouest du Bénin (G. Hervé)

Lors de la campagne de terrain menée à Aplahoué l’été 2023, cinq structures ont été prélevées pour analyse archéomagnétique : les deux bas-fourneaux du site de Domy (ST1 et ST2) et à Kpeta 1, la structure de chauffe gracile ST26 dans le sondage SD17 et les deux structures de combustion quadrangulaires ST10 et ST11 sans doute associées au traitement du minerai dans le sondage 8 (Figure 71). Toutes ces structures ont été prélevées par la méthode du chapeau de plâtre qui permet d’orienter les échantillons et ainsi de retrouver la direction du champ magnétique terrestre environnant au moment de la dernière chauffe. Entre 6 et 15 blocs ont été prélevés par structure.



Figure 71 : Structures prélevées pour analyse archéomagnétique à Domy et Kpeta 1. Sur la structure 2 de Domy, le bloc orienté entouré en jaune n’a finalement pas été prélevé car son extraction risquait de provoquer un effondrement de la coupole de ce bas-fourneau parfaitement conservé (© G. Ricci et G. Hervé).

IV.3.1 Méthodes et résultats

Au laboratoire du LSCE, les prélèvements, relativement friables, ont d’abord été indurés par trempage dans une solution de silicate de sodium, afin de pouvoir être découpés en spécimens cubiques de 2 cm de côté (taille standard des mesures au magnétomètre). Pour ce faire, les prélèvements ont dans un premier temps été découpés en tranches sur une scie diamantée de grande taille à l’observatoire de l’Institut de Physique du Globe de Paris à Chambon-la-

Forêt (Loiret). Malheureusement, il s'est avéré que la lame de scie utilisée, neuve, était aimantée, ce qui a résulté en l'acquisition d'une aimantation parasite liée au sciage. Cette erreur expérimentale a eu un impact sur le protocole choisi. Dans un second temps, les tranches ont été découpées en cubes sur une plus petite scie au LSCE. Au total, 187 cubes ont été préparés sur les cinq structures.

A ce jour, l'analyse directionnelle n'est finalisée que sur les deux bas-fourneaux de Domy. Les aimantations rémanentes ont été mesurées sur le magnétomètre cryogénique 2G à haute homogénéité du LSCE. La distribution des directions des aimantations rémanentes naturelles (ARN) suggère que le signal a été perturbé par l'acquisition d'une composante d'aimantation perturbatrice liée au sciage effectué à Chambon-la-Forêt. Pour éliminer les composantes d'aimantation perturbatrices et retrouver la direction de l'aimantation thermorémanente (ATR) acquise au cours de la dernière chauffe, 16 spécimens du bas-fourneau ST1 et 11 du bas-fourneau ST2 ont été désaimantés, soit par champ alternatif (14 spécimens) soit thermiquement (13 spécimens). La désaimantation par champ alternatif est réputée plus efficace pour enlever une composante d'aimantation rémanente isotherme acquise au sciage et nous avons d'abord testé ce protocole. Dans un appareil de désaimantation 2G, les 14 spécimens ont été soumis des champs alternatifs d'intensité croissante avec 14 paliers entre 5 et 80 mT. Pour compléter les déterminations, la désaimantation thermique, plus usuelle en archéomagnétisme, consiste à chauffer les spécimens par paliers successifs de température en champ magnétique nul. Les chaufes ont été réalisées dans un four amagnétique Pyrox avec 14 paliers entre 100°C et 565°C.

L'interprétation consiste d'abord à reporter les aimantations résiduelles mesurées après chaque étape de chauffe ou de champ alternatif sur un diagramme de Zijderveld en coordonnées cartésiennes (Figure 72). Les alignements de points visualisent l'évolution des composantes partielles de l'aimantation. La majorité des spécimens porte une seule composante d'aimantation claire, identifiée comme l'ATR, après élimination de la composante secondaire entre 5 et 21 mT ou entre 150 et 490°C. Cette composante secondaire, sans doute acquise involontairement au sciage, est plus importante sur les spécimens de ST1 que ST2. Les spécimens du bloc 38 de ST1 présentent un comportement particulier avec une composante d'ATR ne passant pas par l'origine du repère. Ce comportement reste mal compris. Au vu de la position du bloc proche de la paroi interne, il semble difficile de l'interpréter par une chauffe insuffisante pour effacer une aimantation précédemment acquise.

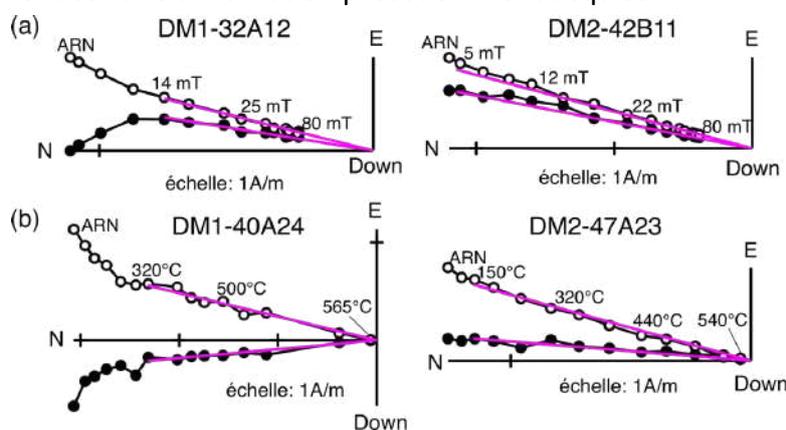


Figure 72 : Exemples de désaimantation par champ alternatif (a) et thermique (b). Les directions sont en coordonnées *in situ*. Sur les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections de la direction d'aimantation sur le plan horizontal (vertical). Le trait mauve indique la composante d'ATR.

L'ATR est parfois déviée par rapport au champ géomagnétique ambiant lors de la chauffe. Cet effet d'anisotropie, qui s'explique par des directions d'aimantation préférentielles dans les minéraux magnétiques, a été estimé sur les spécimens désaimantés. Pour déterminer le tenseur d'anisotropie d'ATR, des aimantations thermorémanentes ont été créées artificiellement en laboratoire en chauffant les spécimens à 480°C sous un champ de 30 μT appliqué successivement selon les axes Z+, Z-, X+, X-, Y+ et Y- du spécimen. Une dernière chauffe selon Z+ permet de détecter d'éventuelles évolutions de la minéralogie lors du protocole et ainsi de contrôler la justesse du tenseur. Les directions d'ATR ont été corrigées individuellement de leur tenseur d'anisotropie.

Les directions obtenues sont présentées dans le Tableau 13. A l'échelle du bloc, on observe un bon accord entre les deux méthodes de désaimantation. Lorsque deux spécimens d'un même prélèvement ont été désaimantés), une direction moyenne est calculée à l'échelle du bloc. Les directions d'ATR retenues sont représentées sur les stéréogrammes de la Figure 73. Les directions moyennes ont été calculées par la statistique de Fisher (Tableau 14). Les valeurs du paramètre k autour de 250 et 320 indiquent un bon regroupement, qui s'améliore d'ailleurs avec la correction d'anisotropie.

DOMY ST1											
Bloc	Spécimen	AF/Th	Et _{min} - Et _{max}	PCA / GCA	Origine (o/n)	n	D (°)	I (°)	Mad (°)	D _{ani} (°)	I _{ani} (°)
31	DM1-31A11	AF	14 - 80 mT	PCA	o	10	3.5	-12.7	1.6	4.7	-10.7
32	DM1-32A12	AF	14 - 80 mT	PCA	o	10	9.1	-13.9	0.9	8.9	-12.1
33	DM1-33A21	AF	14 - 80 mT	PCA	o	10	8.3	-13.8	1.9	9.4	-12.5
34	DM1-34A13	AF	11 - 80 mT	PCA	o	11	3.4	-15.2	1.6	2.8	-13.0
35	DM1-35A21	Th	150 - 540 °C	PCA	o	11	9.1	-19.4	0.7	9.1	-18.7
	DM1-35A12	AF	8 - 80 mT	PCA	o	12	6.5	-15.6	1.4	7.4	-15.0
						Moyenne 35	7.8	-17.5		8.2	-16.9
36	DM1-36A11	Th	490 - 555 °C	PCA	o	5	14.4	-16.2	0.5	13.3	-15.0
	DM1-36A21	AF	17 - 80 mT	PCA	o	9	16.6	-12.9	1.1	15.7	-11.7
						Moyenne 36	15.5	-14.6		14.5	-13.4
37	DM1-37A21	Th	360 - 540 °C	PCA	o	7	0.9	-20.8	1.0	2.2	-20.5
	DM1-37A12	AF	17 - 80 mT	PCA	o	9	4.5	-13.6	0.9	6.2	-11.6
						Moyenne 37	2.7	-17.2		4.2	-16.1
38	DM1-38A12	AF	14 - 80 mT	PCA	n	10	1.1	-11.6	2.4	6.7	-10.6
	DM1-38A22	Th	210 - 510 °C	PCA	n	8	10.4	-16.6	3.6	10.6	-16.2
						Moyenne 38	5.7	-14.1		8.6	-13.4
39	DM1-39A11	AF	17 - 80 mT	PCA	o	9	8.4	-11.8	2.0	8.1	-9.1
	DM1-39A13	Th	100 - 565 °C	GCA	o	14	84.8	57.8	5.5	87.4	56.5
						Moyenne 39	9.2	-10.6		8.6	-8.4
40	DM1-40A14	AF	21 - 80 mT	PCA	o	8	359.3	-11.3	0.8	0.1	-10.1
	DM1-40A24	Th	360 - 565 °C	PCA	o	9	354.8	-13.5	1.4	354.5	-13.1
						Moyenne 40	357.1	-12.4		357.3	-11.6
DOMY ST2											
Bloc	Spécimen	AF/Th	Et _{min} - Et _{max}	PCA / GCA	Origine (o/n)	n	D (°)	I (°)	Mad (°)	D _{ani} (°)	I _{ani} (°)
41	DM2-41A11	Th	210 - 525 °C	PCA	o	9	16.1	-16.7	0.6	16.0	-17.6
	DM2-41A21	AF	10 - 80 mT	PCA	o	12	16.6	-18.3	1.4	15.0	-20.5
						Moyenne 41	16.3	-17.5		15.5	-19.1
42A	DM2-42A12	Th	210 - 540 °C	PCA	o	10	14.4	-17.3	0.8	12.3	-17.5
42B	DM2-42B11	AF	5 - 80 mT	PCA	o	14	11.7	-15.6	0.9	11.0	-14.8
	DM2-42B13	Th	150 - 525 °C	PCA	n	10	9.9	-18.1	1.5	11.7	-17.2
						Moyenne 42B	10.8	-16.9		11.4	-16.0
43	DM2-43A12	Th	150 - 555 °C	PCA	o	12	9.1	-17.1	0.9	9.7	-16.3
44	DM2-44A21	AF	15 - 80 mT	PCA	o	10	1.6	-15.6	1.2	4.4	-15.2
	DM2-44A12	Th	360 - 540 °C	PCA	o	7	358.5	-16.6	1.4	1.3	-18.7
						Moyenne 44	0.1	-16.1		2.9	-17.0
46	DM2-46A12	Th	150 - 500 °C	PCA	o	9	11.6	-14.7	0.6	12.1	-14.8
47	DM2-47A22	AF	8 - 80 mT	PCA	o	13	5.2	-12.4	0.8	6.6	-12.1
	DM2-47A23	Th	150 - 540 °C	PCA	o	11	4.6	-15.4	1.3	4.0	-16.5
						Moyenne 47	4.9	-13.9		5.3	-14.3

Tableau 13 : Résultats d'archéodirection sur les spécimens des bas-fourneaux de Domy. Numéro du bloc prélevé ; nom du spécimen ; Protocole de désaimantation : par champ alternatif (AF) ou thermique (Th) ; Et_{min} – Et_{max} : intervalle de champ alternatif ou de température sur lequel est déterminée la direction d'ATR ; PCA/GCA : calcul de la direction par linéarité en analyse en composante principale (PCA) ou par grand cercle (GCA) ; origine : dans le cas des analyses PCA seulement, la composante d'ATR passe par l'origine (o) ou non du diagramme de Zijdeveld ; n : nombre d'étapes dans l'intervalle de champ ou de température considéré ; D et I : déclinaison et inclinaison avant correction d'anisotropie ; Mad : Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction ; Dani et Iani : déclinaison et inclinaison avant correction d'anisotropie. Les valeurs utilisées dans le calcul de la direction moyenne par structure sont indiquées en gras.

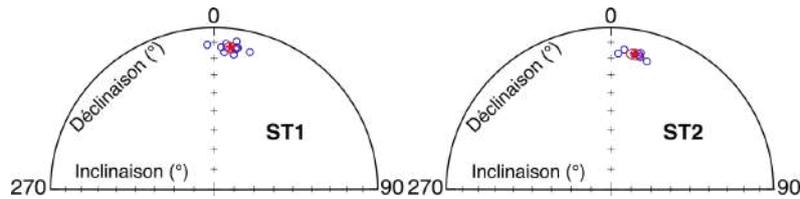


Figure 73 : Distribution des directions d'ATR acquise au cours de la dernière chauffe. La direction moyenne avec son cercle d'erreur à 95% de confiance (α_{95}) est indiquée en rouge.

Structure	N/n	Moyenne sans anisotropie				Moyenne avec anisotropie				Datation (ap. J.-C., à 95%)	
		D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	BIGMUDI4k	SHAWQ2k
ST1	10/16	6,2	-14,2	239	3,1	6,7	-12,8	245	3,1	[1168 ; 1375]	[1212 ; 1369]
ST2	7/11	9,6	-16,3	216	4,1	9,9	-16,5	326	3,3	[1100 ; 1367]	[1187 ; 1338]

Tableau 14 : Directions moyennes avant et après correction d'anisotropie et résultats de datation archéomagnétique. Nom de la structure ; N/n : nombre de blocs prélevés et nombre de spécimens pris en compte dans la moyenne ; D et I : déclinaison et inclinaison moyennes (valeurs au site) ; k : paramètre de regroupement de la statistique de Fisher ; α_{95} : rayon du cercle à 95 % de confiance autour de la moyenne. La datation est testée avec les prédictions à Aplahoué de deux modèles géomagnétiques globaux, BIGMUDI4k.1 (Arneitz et al., 2019) et SHAWQ2k (Campuzano et al., 2019). Les intervalles de date sont donnés à 95% de confiance.

IV.3.2 Datation archéomagnétique

Avant d'effectuer la datation archéomagnétique, on peut déjà remarquer que les deux directions moyennes sont significativement différentes, ce qui signifie que la dernière chauffe des deux structures n'a pas été contemporaine.

La datation archéomagnétique consiste à comparer la direction moyenne obtenue avec un référentiel de la variation séculaire. Au Bénin, en l'absence de courbes de référence locales comme en Europe, les référentiels les plus appropriés sont la prédiction au site des modèles géomagnétiques globaux. Nous avons choisi deux modèles parmi les plus récemment publiés, BIGMUDI4k.1 (Arneitz et al., 2019) et SHAWQ2k (Campuzano et al., 2019). Ces deux modèles ont aussi l'avantage de prendre en compte la qualité des données de référence à partir desquelles ils sont construits.

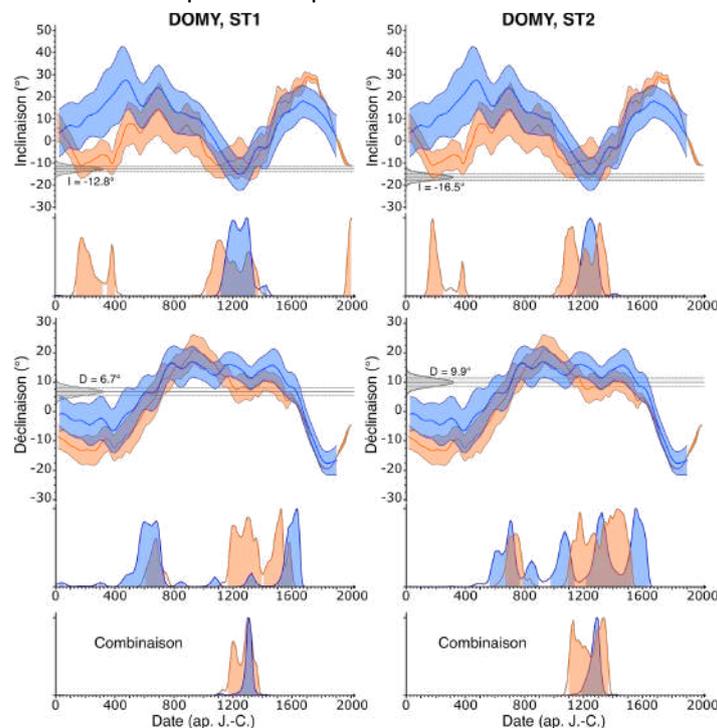


Figure 74 : Datation archéomagnétique des bas-fourneaux ST1 et ST2 avec la prédiction au site des modèles géomagnétiques globaux BIGMUDI4k.1 (en orange) et SHAWQ2k (en bleu). L'inclinaison et la déclinaison sont comparées à leur courbe de variation séculaire respective, fournissant des courbes de distribution de date. Les intervalles de date finaux sont définis sur la combinaison des distributions de date de l'inclinaison et de la déclinaison.

La datation a été réalisée sur le logiciel Chronomodel (Lanos & Dufresne, 2019). Le report des moyennes relocalisées sur leur courbe de référence donne des courbes de distribution de date, sur lesquelles sont définis un ou des intervalles de date à 95% de confiance (Figure 74). Sur les deux fours, on observe une bonne concordance des distributions de date de l'inclinaison et de la déclinaison. Le résultat final est défini à partir de la combinaison (c'est-à-dire le produit) des deux distributions. Avec les deux modèles, un seul intervalle de date est obtenu sur les deux derniers millénaires autour des XII-XIVe siècles (Tableau 14). La largeur de l'intervalle de date s'explique par l'imprécision des modèles globaux dans cette région à cette période. Les résultats des deux modèles sont compatibles. Le modèle SHAWQ2k fournit un intervalle de date un peu plus précis. Comme il n'est pas possible de clairement s'assurer de la fiabilité d'un modèle par rapport à l'autre dans l'état des connaissances actuelles, nous avons décidé par précaution de retenir en priorité le modèle BIGMUDI4k.1. En attendant la datation radiocarbone, l'archéomagnétisme place le fonctionnement de ces deux bas-fourneaux à la même époque que ceux de Tado au Togo qui avaient été datés par thermoluminescence (Aguigah 2015).

IV.3.3 Perspectives

Les études archéomagnétiques sur les structures du Mono et de Bandjeli se poursuivent. Au Bénin, l'analyse directionnelle des trois structures de Kpeta 1 (ST10, ST11 et ST26) sera terminée d'ici quelques semaines. Les premiers résultats montrent de manière certaine que l'ensemble des blocs prélevés (Figure 71) a bien refroidi, et sans doute chauffé, en place. La comparaison entre les directions moyennes de Kpeta 1 et Domy apportera des informations sur la contemporanéité ou non des deux sites. Au Togo, de nouveaux bas-fourneaux seront prélevés lors de la mission archéologique d'octobre-novembre 2024 afin de compléter le corpus de la thèse de Giorgia Ricci.

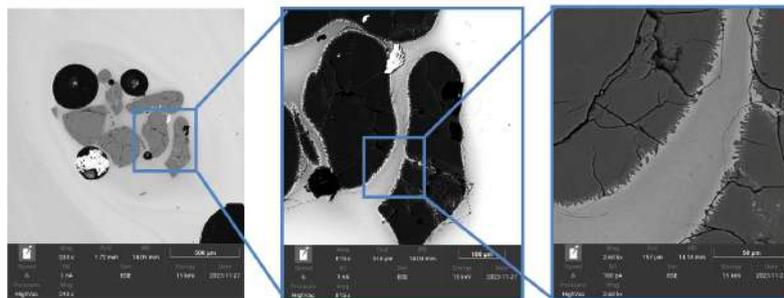
En parallèle de ces mesures sur la direction du champ géomagnétique, des analyses de paléointensité du champ géomagnétique sont en cours sur les mêmes structures. Cette étude bénéficie du soutien financier de l'INSU avec le projet VASAFE (programme TelluS, 2023-2024), dont l'objectif principal est de reconstruire la variation séculaire de l'intensité en Afrique de l'Ouest au dernier millénaire. Les paléointensités sont déterminées par le protocole de Thellier-Thellier avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement. Ce protocole est chronophage mais il permet d'acquérir des données de la plus haute qualité. Au Bénin, la faisabilité du protocole a été vérifiée sur quelques spécimens des deux bas-fourneaux de Domy. Ces futures intensités moyennes compléteront celles obtenues sur les tuyères et fragments de parois retrouvés dans les amas de scories de Dolomey et Kpeta 1. Au Togo, l'acquisition des paléointensités se concentre pour l'instant sur les bas-fourneaux des deux sites les plus récents de Bitamkpambe et Tabalé, respectivement datés dans le courant du XIXe siècle et dans la première moitié du XXe siècle. Les premiers résultats confirment la faisabilité de l'archéomagnétisme sur les bas-fourneaux, du moins lorsqu'ils sont bien préservés comme à Domy. La réduction expérimentale qui sera menée à l'automne 2025 constituera un nouveau test de validité de la méthode (Cf. IV.3). Enfin, nous espérons développer l'archéomagnétisme en Afrique de l'Ouest dans les années à venir. Un pré-projet ANR sur la chronologie de la métallurgie du fer en Afrique de l'Ouest a d'ailleurs été déposé en octobre 2024.

IV.4 Analyses des scories vitreuses échantillonnées sur les sites paléométallurgiques de la commune d'Aplahoue au sud-est du Bénin (M. Brost G. Estrade, D. Béziat, M.-P. Coustures)

La découverte en 2019 sur les sites paléométallurgiques de la commune d'Aplahoue de déchets de production du fer ressemblant à ceux des hauts fourneaux actuels nous a conduit à s'interroger sur les techniques mises en place dans cette région avant l'arrivée du fer européen par la traite atlantique. Leur caractère exclusivement vitreux a nécessité, en 2023 et en 2024, la mise au point d'un protocole inédit d'analyse de ces vestiges en laboratoire. En effet, les principaux porteurs d'informations sur le déroulement des opérations métallurgiques, à savoir les minéraux des scories, sont absents ou trop petits pour que le protocole habituel (microscopie optique, puis analyse à la microsonde électronique « classique ») puisse être appliqué. Ce sont ainsi les premiers résultats d'un nouveau protocole encore en cours d'élaboration que nous présentons ici.

IV.4.1 Protocole et résultats

Dans un premier temps, le nouveau protocole d'étude a été élaboré à partir de l'échantillon AFL-31, une scorie vitreuse prélevée sur le site d'Aflatan (département du Couffo). La lame mince polie réalisée en 2022 avait été observée au microscope polarisant (cf rapport 2022), mais l'échelle d'observation était trop faible pour accéder à la « cristallinité » très fine du matériau. C'est pourquoi une première analyse au microscope électronique à balayage (MEB) a été réalisée. Elle a permis la mise en évidence d'une néo-cristallisation à partir de cristaux de quartz, reliques du minerai utilisé (de type grès ferrugineux pour AFL-31), au sein de la matrice vitreuse de la scorie (Figure 75).



Échelles : 500 / 100 / 50 μm

Figure 75 : Images MEB-BSE d'un amas de quartz relique isolé au sein de la matrice vitreuse, montrant la surcroissance de grains néoformés de cristobalite.

L'analyse de ces cristaux néoformés à la microsonde électronique à effet de champ (EPMA-FEG : Electron Probe Micro-Analyser - Field Effect Gun), c'est-à-dire un appareil de haute résolution, au centre de micro-caractérisation Castaing à Toulouse a conduit à identifier de la silice SiO₂ (Figure 76 et Tableau 15). Or, on sait que la silice existe sous plusieurs formes polymorphes en fonction de la température : quartz, tridymite ou cristobalite, polymorphes de structures cristallines différentes.

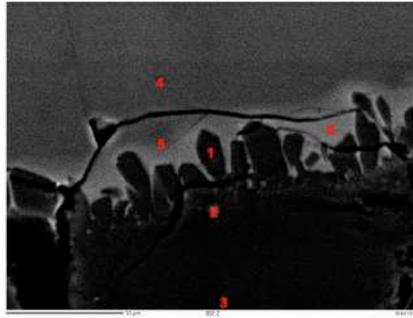


Figure 76 : Image EPMA-FEG montrant les grains néoformés de cristobalite et la variation de composition de la matrice vitreuse au contact des cristaux de cristobalite.

Spot	% massique en oxydes majeurs						Total
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	
1	1,46	95,1	0,79	0,04	0,3	0,1	97,83
2	0,47	98,92	0,36	0,03	0,08	0,03	100,04
3	0,04	99,08	0,25	0,02	0,02	0	99,48
4	12,52	70,73	9,84	3,41	1,62	0,41	99
5	15,99	62,69	14	2,92	2,31	0,46	98,97
6	18,89	53,54	19,27	1,93	2,85	0,58	97,71

Tableau 15 : Composition des différents spots (en % massique d'oxydes). Les spots : 1 = cristobalite / 2 et 3 = quartz / 4,5,6 = matrice vitreuse

Pour déterminer le polymorphe de silice formé et tenter de remonter aux températures qui ont permis la formation de ces scories essentiellement vitreuses, l'échantillon a été soumis à une analyse cristallographique par diffraction d'électrons rétrodiffusés (EBSD : Electron Back Scattered Diffraction) au centre de micro-caractérisation Raimond Castaing à Toulouse. On a ainsi pu déterminer à la fois la nature du polymorphe de silice néoformé (Figure 77), mais également la variété allotropique du fer présent dans les billes de fer repérées au sein du même échantillon (Figure 78). Les cristaux de silice néoformés sont de la cristobalite et le fer des billes est sous la forme fer γ (cubique centré). La confrontation de ces résultats avec les données de la thermodynamique des mélanges binaires FeO/SiO₂ permet de proposer une fourchette de température (T en °C) dans laquelle la réaction de réduction du minerai de fer (un grès ferrugineux ici pour AFL-31) conduit à l'obtention simultanée de ces 2 variétés cristallines, cristobalite pour la silice et fer γ pour le fer, à savoir : 1465°C < T < 1535°C (e.g. Prostakova et al., 2019).

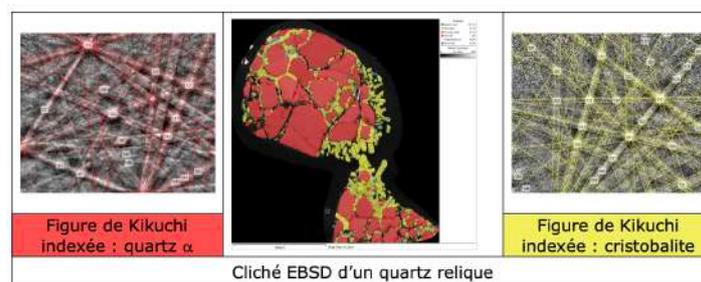


Figure 77 : Cliché EBSD et figures de Kikuchi⁸ des polymorphes de la silice.

⁸ L'image que laissent sur un écran phosphorescent les électrons rétrodiffusés par réflexion sur les plans cristallins selon les lois de Bragg constitue une figure de Kikuchi. Numérisées et exploitées, ces figures permettent de déterminer l'orientation et la symétrie du cristal étudié.

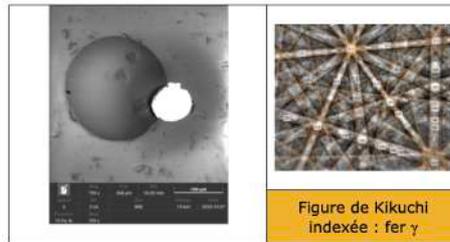


Figure 78 : Image MEB-BSE et figure de Kikuchi du fer γ .

Un échantillonnage des scories vitreuses découvertes sur les sites de Domy, Dolomey et Kpeta 1 lors des fouilles de 2022 et 2023 a alors été effectué d'après leur étude typomorphologique (Tableau 16).

Nom de l'échantillon	Numéro de lame mince	Nature de l'échantillon	Lieu de prélèvement	Type de site
DOE-1-S	DOE-1-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOE-2-S	DOE-2-S	Scorie	DOMY	Structure 2 (archéologie)
DOE-3-S	DOE-3-S	Scorie	DOMY	Archéologie
DOE-4-S	DOE-4-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOE-9-S	DOE-9-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOE-10-S	DOE-10-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOE-11-S	DOE-11-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOE-12-S	DOE-12-S	Scorie	DOMY	Structure 2 (archéologie)
DOE-13-S	DOE-13-S	Scorie	DOMY	Structure 2 (archéologie)
DOE-14-S	DOE-14-S	Scorie	DOMY	Structure 1 (archéologie)
DOL-18-S	DOL-18-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
DOL-19-S	DOL-19-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
DOL-20-S	DOL-20-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
DOL-22-S	DOL-22-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
DOL-23-S	DOL-23-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
DOL-65-S	DOL-65-S	Scorie	DOLOMEY	Sondage 3 (archéologie)
KPT-31-S	KPT-31-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 (archéologie)
KPT-36-S	KPT-36-S	Scorie	KPETA 1	Secteur 8 Structure 13 (archéologie)
KPT-38-S	KPT-38-S-A	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 (archéologie)
	KPT-38-S-B	Scorie	KPETA 2	Sondage 15 (archéologie)
KPT-39-S	KPT-39-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 Structure 7 (archéologie)
KPT-41-S	KPT-41-S	Scorie	KPETA 1	Secteur 8 (archéologie)
KPT-43-S	KPT-43-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 (archéologie)
KPT-44-S	KPT-44-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 (archéologie)
KPT-45-S	KPT-45-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 15 Structure 7 (archéologie)
KPT-49-S	KPT-49-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 4 (archéologie)
KPT-51-S	KPT-51-S	Scorie	KPETA 1	Archéologie
KPT-59-S	KPT-59-S	Scorie	KPETA 1	Sondage 20 (archéologie)

Tableau 16 : Échantillons de scories vitreuses

Des échantillons représentatifs de chaque catégorie morphologique ont été tronçonnés, puis sciés sous forme de sucres au laboratoire TRACES (UT2J - Toulouse) et enfin envoyés d'une part à Thin Section Lab à Toul (54) pour y être transformés en lames minces polies (LMP), et d'autre part au SARM à Nancy (54) pour des analyses de composition chimique « roche totale » (ART). On dispose ainsi de dix LMP pour le site de Domy, de six pour le site de Dolomey et de douze pour le site de Kpeta 1. Cinq échantillons de minerai de Domy, site fouillé le plus récemment, ont également été analysés cette année dans les mêmes conditions (Tableau 17).

Nom de l'échantillon	Numéro de lame mince	Nature de l'échantillon	Lieu de prélèvement	Type de site
DOE-1-M	DOE-1-M	Minerai de fer	DOEMI	Four (archéologie)
DOE-3-M	DOE-3-M	Minerai de fer	DOEMI	Archéologie
DOE-5-M	DOE-5-M	Minerai de fer	DOEMI	Archéologie
DOE-7-M	DOE-7-M	Minerai de fer	DOEMI	Archéologie
DOE-8-M	DOE-8-M-A	Minerai de fer	DOEMI	Archéologie
	DOE-8-M-B	Minerai de fer	DOEMI	Archéologie

Tableau 17 : Échantillons de minerai retrouvés sur le site de Domy

L'étude minéralogique des lames minces a été réalisée au microscope polarisant au laboratoire TRACES. Après sélection, quatre LMP ont d'ores et déjà été étudiées au MEB (laboratoire TRACES à UT2J) et six à la microsonde électronique (Centre de Microcaractérisation Castaing à Toulouse). On retrouve dans tous ces échantillons, en proportion variable, les minéraux récurrents des scories de fer, spinelles, baguettes de fayalite et billes de fer, contenus dans une matrice vitreuse. Les premiers résultats montrent aussi la présence, au sein de certains échantillons, de cristaux néoformés de silice sur des quartz reliques comme pour AFL-31, alors que pour d'autres échantillons, ce sont des plagioclases, des feldspaths de type anorthite, qui sont mis en évidence. Des sulfures de fer ont aussi été repérés.

IV.4.2 Perspectives

Pour 2025, des analyses sont programmées, en particulier cristallographiques avec l'EBSDF, pour d'une part identifier les polymorphes de silice et la variété allotropique du fer repérés dans ces échantillons, et d'autre part caractériser les nouvelles phases cristallines de type anorthite, ainsi que leurs conditions de formation, en relation ou non avec la nature des minerais utilisés. L'objectif de ces analyses est de vérifier si la température atteinte au sein des bas-fourneaux du Bénin, telle que fournie par l'échantillon AFL-31, à savoir au moins 1465°C, est caractéristique de la sidérurgie africaine dans le Mono-Couffo au XIVe siècle. D'autre part, la relation entre la morphologie des scories, qui témoigne de leurs positions respectives au sein de la structure de réduction, et les températures atteintes pourra être discutée. De la même façon, la détermination à l'EBSDF du système cristallin des sulfures de fer présents dans ces scories pourrait permettre de préciser le caractère plus ou moins réducteur de l'atmosphère dans ces bas-fourneaux.

L'obtention de scories majoritairement vitreuses dans ce département du Bénin relève-t-elle d'une simple « anomalie locale » ou peut-elle être mise en relation avec la nature des minerais à disposition et utilisés sur ce territoire ? Est-ce que l'utilisation de minerais de fer « pauvres », tels que les grès ferrugineux, a eu un impact sur l'architecture des structures de réduction et le fonctionnement des bas-fourneaux ou faut-il plutôt mettre les spécificités locales observées dans ce domaine en relation avec des pratiques spécifiques des populations qui peuplaient la région, artisans spécialisés ou non, indigènes ou migrants, voire à une pression économique ?

Si la relation entre les techniques mises en œuvre et la nature des minerais utilisés devait être confirmée (elle est évidente pour ce qui est de la nature des assemblages minéralogiques observés cette année), elle pourrait peut-être alors permettre de « relire » la composition des ferriers sur d'autres sites de sidérurgie ancienne identifiés, en Afrique comme en Europe par exemple.

Relier des températures très élevées à une architecture particulière des bas-fourneaux et à leur fonctionnement n'est pas chose aisée. Seul le site de Domy a à ce jour livré des bas-fourneaux encore en cours d'étude. La poursuite des analyses de notre corpus de scories vitreuses selon le protocole d'étude mis en place pour les scories vitreuses du Mono-Couffo conduira sans nul doute, au-delà du Bénin, à une meilleure compréhension de la formation des scories vitreuses au sein des sites de sidérurgie ancienne.

V. Les missions de terrain prévues entre octobre 2024 et décembre 2025 (Figure 79)

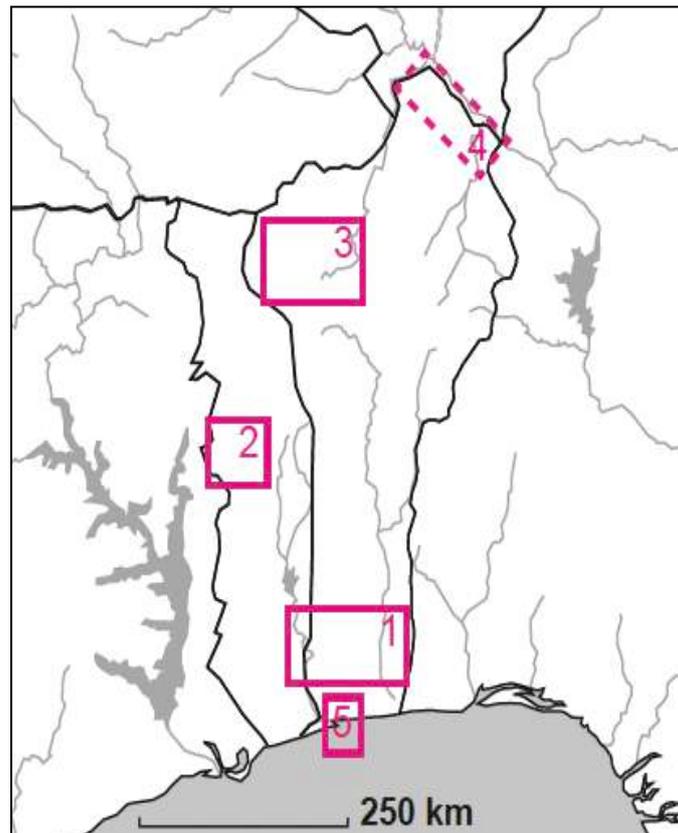


Figure 79 : Localisation des zones investiguées durant l'année 2025.

V.1 Zone 2 - 18 Octobre – 11 Novembre 2024 - Chronologie de la production du fer à Bandjeli, préfecture de Bassar (centre-ouest du Togo) (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé)

À la suite de la campagne de fouilles menée en octobre 2023, les objectifs et les plans d'action pour la prochaine mission de quatre semaines, prévue entre octobre et novembre 2024, ont été définis. Les objectifs de cette prochaine campagne se concentreront exclusivement sur le site de Tchogma 1. Ce choix est motivé par le désir d'étudier la chronologie de la sidérurgie à l'échelle d'un complexe sidérurgique plutôt que d'une région. Les sites de Bitamkpambe et Tabale ne seront pas étudiés en tant que tel mais serviront de point de comparaison et permettront d'y effectuer des tests méthodologiques. Comme mentionné précédemment, les fours déjà étudiés sur ces deux sites serviront de « boîte à outils » pour nous aider dans nos réflexions. Nous nous concentrerons donc uniquement sur le site de Tchogma 1 afin de mieux comprendre l'évolution et le fonctionnement d'un site sidérurgique (début, développement et fin). En tenant compte des deux techniques sidérurgiques mises en place, nous

rechercherons les zones les plus prometteuses pour l'ouverture de nouveaux sondages. Bien entendu, certaines zones ont été identifiées lors de la mission de 2023 (Tableau 18 et Figure 80).

Tchogma 1. SAS/SGD		Tchogma 1. SVF	
Potentiel AM	Structures	Potentiel AM	Structures
Bon	TCH104-105-108-115-119-122-128-16-23-38-51-55-62	Bon	TCH42-96
Assez bon	TCH06-08-11-13-24-25-26-28-30-52-80-87	Assez bon	TCH43-92-133
Faible	TCH01-02-03-09-27-32-35-40-47-61-66-68-69-77-78-79-82-90-109-124-127-129-134	Faible	TCH99-100
À explorer	TCH14-18-19-20-21-22-29-34-39-41-53-54-60-81-83-84-101-103-106-111-116-117-118-120-121-125	À explorer	TCH44-91-93-94-95-98

Tableau 18 : Structures les plus prometteuses à prélever à Tchogma 1 en 2024

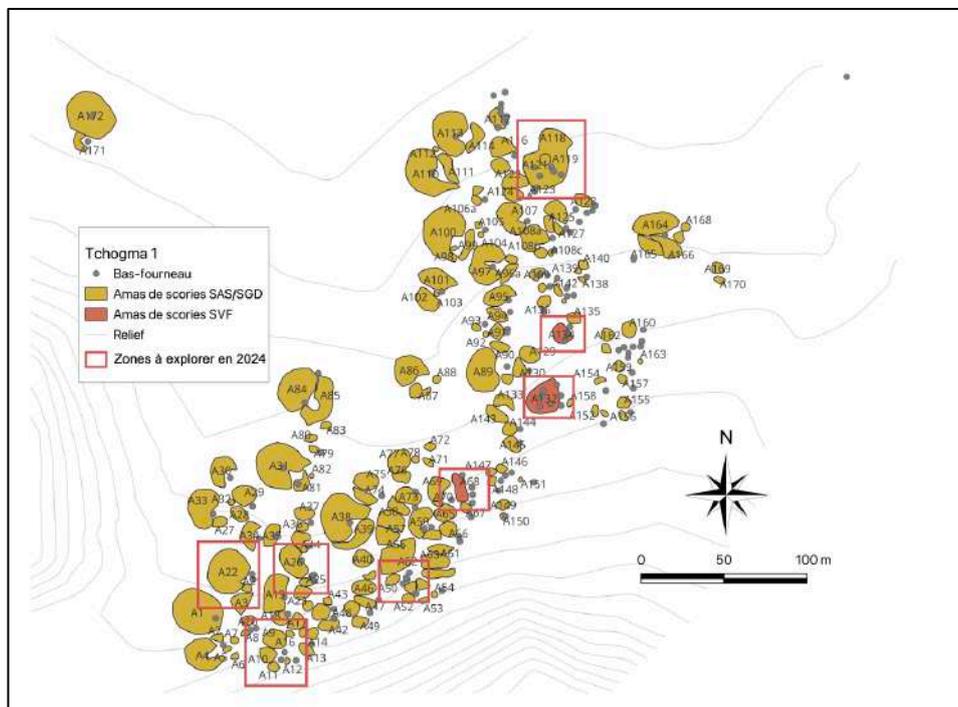


Figure 80 : Zones repérées en 2023 pour y effectuer des fouilles en 2024

Des sondages et des fouilles archéologiques seront menées lors de la prochaine mission de 2024 dans le but de déterminer si des fours sont présents au sein ou sous les amas de scories, révélant une histoire de la production plus complexe et plus ancienne. Profondément interdisciplinaire, cette mission se situe à la croisée du paléomagnétisme, de la géochronologie, de l'archéologie et du paléoenvironnement. Elle fera intervenir un grand nombre de spécialistes.

Les amas où il faudra fouiller sont pour la technique SAS/SGD : 9, 10, 11, 12, 21, 22, 26, 44, 50, 51, 55, 118, 119, 120, 121 et pour la technique SVF : 68, 132, 134, 158.

Les nouveaux prélèvements archéomagnétiques se feront au moins sur les fours : 26, 28, 30 et 32.

V.2 Zone 1 - Août 2025 (2 semaines) - Mise au jour des travaux miniers dans le district sidérurgique d'Aplahoué au sud-est du Bénin (C. Robion-Brunner, J. Maintenant)

En août 2025, nous envisageons la fouille du réseau minier découvert en juin 2022 dans la commune d'Aplahoué (cf rapport 2022). L'archéologie minière est complètement absente en Afrique de l'Ouest invisibilisant l'étude des travaux d'extraction des minerais métallifères. Là aussi, cela serait une première de mettre en place de telles investigations. Elles permettraient de déterminer les techniques employées et les stratégies des mineurs pour acquérir les matières premières indispensables à la production du fer.

Pour l'instant plus d'une trentaine de puits ont été localisés au sud-ouest des ateliers sidérurgiques Kpeta 1 et Doloumey (Figure 81). Nous en avons vidé un partiellement. Cette petite opération archéologique nous a permis de nous apercevoir que plusieurs puits étaient reliés par de petites chambres assez proches les unes des autres (quelques mètres de distance). Les Anciens auraient percé un banc latéritique affleurant en surface, puis attaqué la roche autour de cet orifice afin de recueillir des nodules de grès ferrugineux pris dans la matrice latéritique, enfin ils auraient suivi la couche et creuser une nouvelle chambre et un nouveau puits.



Figure 81 : Un des nombreux puits identifiés lors de la prospection de juin 2022.

L'exploration des anciennes mines fait appel aux techniques de la spéléologie et ce que les mines soit horizontales ou verticales. Des passages très instables doivent être équipés soit de boisage afin de les stabiliser. L'exploration d'une ancienne mine permet d'observer celle-ci dans l'état où les mineurs l'ont laissée à l'arrêt de l'exploitation. L'observation des traces laissées permet de comprendre comment l'exploitation s'est déroulée et quelles techniques ont été mises en place. L'exploration relève d'une démarche scientifique tout d'abord géologique par l'observation des roches encaissantes des filons exploités, archéologique ensuite par l'observation des restes laissés par les mineurs comme les outils le mobilier et archéométrique par l'analyse des minerais prélevés en front de taille. Pour réaliser cette opération, nous ferions appel à un spécialiste, Gabriel Munteanu (géologue et archéologue minier chez Hadès).

IV.3 Zone 2 - Octobre 2025 (2 semaines) - Expérimentation autour de la réduction du fer du fer à Bandjeli, préfecture de Bassar (Nord du Togo) (G. Ricci, C. Robion-Brunner, G. Hervé)

Dans le cadre d'améliorer la chronologie de la production ancienne du fer en Afrique de l'Ouest grâce aux datations archéomagnétiques, une expérimentation *in situ* de réduction de minerai de fer sera organisée en octobre 2025.

L'objectif est triple :

- documenter l'opération de réduction d'un point de vue technique en confrontant nos observations lors de la fouille des bas-fourneaux et celles lors des expérimentations précédentes et qui seront menées par notre équipe (que se passe-t-il dans le fourneau et comment les métallurgistes opèrent-ils ce procédé de transformation de la matière à des température comprises entre 1200 et 1500°C) ;
- prélever après la réduction les parois du fourneau à différents niveaux (du haut de la cheminée qui fait généralement 2m au bas de la cuve) en vue de mieux comprendre les résultats des analyses de datation archéomagnétique et d'améliorer la localisation de l'échantillonnage ;
- valoriser ce savoir disparu il y a plus d'un siècle.

En archéomagnétisme, l'expérimentation de réduction constituera une étude méthodologique inédite qui sera intégrée dans la thèse de doctorat de Giorgia Ricci. Il est en effet important de rappeler que l'archéomagnétisme est rarement employé sur les contextes de métallurgie du fer. La raison principale est la présupposition que la méthode ne fonctionne pas bien sur les bas-fourneaux car la loupe de fer présente à l'intérieur du bas-fourneau pendant le refroidissement est susceptible de dévier le champ géomagnétique local en créant une anomalie. Les bons résultats acquis dans le cadre d'AFRICA (préfecture de Bassar, Togo et commune d'Aplahoué, Bénin), ainsi que ceux obtenus en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso par une autre équipe (Donadini et al., 2015 ; Kapper et al., 2016, 2020), démontrent pourtant le bien-fondé de l'utilisation de l'archéomagnétisme : sur le bas-fourneau TABO2 de Tabalé daté de la première moitié du XXe siècle, nous obtenons par exemple une archéointensité moyenne égale à $33,1 \pm 1,6 \mu\text{T}$, alors que les modèles géomagnétiques prédisent une intensité entre 32,0 et 32,5 μT à cette période.

Pour aller plus loin que ces preuves indirectes de fiabilité, l'expérimentation de réduction permettra de connaître de manière précise quel est l'effet réel de la loupe de fer sur l'aimantation thermorémanente acquise dans les parois. L'usage de thermocouples permettra d'avoir un suivi continu de la température. À l'aide d'une sonde de champ absolu (Magnetoscop de chez Foerster), le vecteur champ géomagnétique sera aussi mesuré autour du bas-fourneau, afin d'estimer si la direction et/ou l'intensité du champ change lors de la réduction et si c'est le cas dans quelles zones et à quel moment du processus. Une fois la réduction terminée, une moitié de la structure sera prélevée de manière exhaustive avec une trentaine de prélèvements répartis de manière homogène. Les prélèvements seront ensuite mesurés au laboratoire selon le même protocole que celui utilisé pour les échantillons archéologiques de Tchogma 1.

V.4 Zone 5 - Dates de mission non arrêtées - Localisation des navires négriers et de leur cargaison (S. Berthaut-Clarac, C. Robion-Brunner, A. Affolabi Ayedoun et D. N'Dah)



Figure 82 : Extrait de la Carte du Royaume de Whidah, par Renaud Des Marchais, 1747, Gallica <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8595588d>

Après une première phase réussie de prospection à l'aide d'un sonar à balayage latéral dans la rade de Ouidah (Figure 82), nous souhaitons poursuivre les investigations en effectuant des plongées ciblées sur les « anomalies » identifiées. Ces plongées permettront de caractériser les anomalies dont certaines doivent être liées aux épaves de navires négriers. Le dépouillement et l'analyse des archives relatives au commerce maritime de la période de la traite transatlantique montrent qu'au moins deux navires ont fait naufrage aux abords des plages de Ouidah : la *Porcupine* et l'*Indien*. Bien entendu, l'étude des sources écrites doit continuer afin de mieux envisager le potentiel de notre zone d'étude.

Pour l'instant, les dates de la mission en mer ne sont pas fixées. La meilleure période pour avoir de la visibilité sous l'eau n'est pas encore définie. Un plongeur expérimenté béninois a été mandaté pour plonger dans cette zone tous les deux mois pour la déterminer. Il est prévu qu'elle dure une quinzaine de jours, qu'elle rassemble au moins quatre plongeurs et un plongeur photographe. Parallèlement, des demandes de financement supplémentaire sont déposées car la logistique de ce type de mission est très onéreuse. Un dossier a d'ailleurs été déposé auprès de la fondation Heritage Management Organization.

VI. Formation et valorisation du patrimoine sidérurgique au Togo et au Bénin (C. Robion-Brunner)

Toutes les missions de terrain qu'elles se déroulent au Togo ou au Bénin accueillent des étudiant.e.s béninois.e.s et français.e.s. Leur participation offre bien souvent une opportunité aux étudiant.e.s, collaborateurs et collaboratrices africain.e.s et européen.e.s d'échanger tant sur le plan des méthodes que sur celui des résultats scientifiques.

Au Togo, la filière en archéologie à l'université de Lomé est pour l'instant fermée. Nous sommes dans l'attente du recrutement des deux docteurs en archéologie, M. Sèverin Bakrobéna et M. Pakou Haréna qui ont soutenu leur thèse en 2020. Cette ouverture de postes permettrait la dispense de cours en archéologie dans les universités de Lomé et de Kara et ainsi de former une nouvelle génération d'archéologues.



Figure 83 : Flyer sur l'histoire de la production du fer à Bandjeli

Le projet FSPI « Préservation du patrimoine culturel par le tourisme en pays Bassar » a permis d'initier des actions patrimoniales dans la région de Bassar et notamment dans la ville de Bandjeli. Avec la construction et la mise en fonction du centre d'interprétation à Bandjeli, un flyer a été réalisé et sera distribué au public. Ce support offre un bref aperçu des connaissances acquises sur l'histoire de la production du fer et des métallurgistes (Figure 83). Il est souhaité que cette dynamique se poursuive et que les retombées sur la population locale soient effectives en terme notamment de sensibilisation à la préservation et valorisation du patrimoine culturel et d'éducation. Pareillement, parce qu'il est important d'obtenir des archives audiovisuelles et photographiques des actions que nous menons sur le terrain, nous avons contacté les équipes de CNRS Images afin qu'ils réalisent un film documentaire sur l'expérimentation de la réduction des minerais de fer à Bandjeli prévue en octobre 2025.

Grâce à une bourse octroyée dans le cadre du projet Erasmus + *Patrimoine et Archéologie en Afrique*, Caroline Robion-Brunner et Adrien Delvoe ont pu séjourner une dizaine de jour fin avril/début juin au Bénin. Avec Gérard Tidou Kouagou, jeune docteur en paléométallurgie, ils ont dispensé une semaine de cours sur la céramologie et l'archéométallurgie. Plus d'une quarantaine d'étudiant.e.s en troisième année de Licence et en première année de Master ont suivi cette formation (Figure 84).

PROGRAMME	
Cours Céramologie (Adrien Delvoye) et Paléoméallurgie (Caroline Robion-Brunner et Gérard Tidou Kouagou)	
Lundi 27 mai 2024 (Laboratoire d'archéologie) – Céramologie	
9h-12h -	De l'archéologie à l'ethnographie : étudier les productions céramiques pour quoi faire et comment ? Nature et propriétés des matériaux argileux

Mardi 28 mai 2024 (Laboratoire d'archéologie) – Céramologie	
9h-12h -	De la collecte des argiles à la cuisson des céramiques : un regard sur les chaînes opératoires de fabrication Renseigner le passé à partir du présent : l'apport des référentiels ethnographiques

Mercredi 29 mai 2024 - (Laboratoire d'archéologie) – Paléoméallurgie	
9h-12h -	Du minerai au métal : la chaîne opératoire des métallurgies

Jeudi 30 mai 2024 (Laboratoire d'archéologie) – Paléoméallurgie	
9h-12h -	Les vestiges et les méthodes de la paléoméallurgie sur le terrain

Vendredi 31 mai 2024 (Laboratoire d'archéologie) – Mobilier archéologique	
9h-12h -	Initiation au dessin et à la caractérisation du mobilier céramique et des vestiges paléoméallurgique

Figure 84 : Programme du cours block dispensé du 27 au 31 mai 2024

VII. Projets de diffusion et publications (C. Robion-Brunner)

Les résultats obtenus dans le cadre du programme AFRICA font et feront l'objet de présentations dans le cadre de réunions scientifiques nationales et internationales ainsi que de publications dans des revues à haute visibilité internationale.

L'article issu de la communication Caroline Robion-Brunner, durant le colloque international et interdisciplinaire sur l'histoire précoloniale de l'Afrique « Extraire le passé du présent » qui a eu lieu du 1^{er} au 5 mars 2021 à Bruxelles, a été publié en début 2024 dans un numéro spécial de la revue *Afriques : Débats, méthodes et terrains d'histoire*.

Deux articles ont été soumis et acceptés en automne 2024 :

- Coustures Marie-Pierre, Estrade Guillaume, Brost Michèle, Gouy Sophie, Proietti Arnaud, de Parseval Philippe, Béziat Didier, Robion-Brunner Caroline (Accepté) « Avant l'ouverture atlantique, le Bénin a produit du fer à haute température » Livre des 10 ans du centre Raimond Castaing
- Delvoye Adrien, Robion-Brunner Caroline, N'Dah Didier, Mangier-Merceron Camille, Hervé Gwenaël, Maintenant Julien, Mawutin Adokin Honoré, Angelo Ayedoun Affolabi, Ibiwoumin, Modeste, Kouagou Gérard, Ricci Giorgia, Tchebe Arnaud (Soumis) « Living among the blacksmiths: Preliminary archaeological results of the 2023 campaign at Kpeta 2 settlement (Benin) », Nyame Akuma

Durant le colloque international et interdisciplinaire *World of Iron at 10* organisé par le BIEA (The British Institute of East Africa) qui a eu lieu du 6 au 10 novembre 2023 à Nairobi, Giorgia Ricci et Gérard Tidou Kouagou ont communiqué sur les résultats obtenus dans le cadre de

leurs travaux doctoraux et du projet AFRICA. Ils sont en cours de rédaction de deux articles qui figureront dans des actes de colloques qui paraîtront en 2025.

Un article sur la fouille des deux bas-fourneaux mis au jour sur le site de Domy (sud-ouest du Bénin) est en cours de rédaction. Nous le soumettrons avant l'été 2025 dans la revue *Journal of African Archaeology*.

Lors du 27^{ème} congrès de la *Société des Archéologues Africanistes (SAfA)* qui se tiendra du 21 au 26 juillet 2025 à l'université d'Algarve à Faro (Portugal), nous prévoyons d'organiser une session intitulée *African metallurgy: Technique and Society*. Elle permettra d'accueillir plusieurs communications issues des recherches menées au Togo et au Bénin du programme AFRICA.

VIII. Bibliographie

Aguigah, A.D. (2015) Les sites métallurgiques dans l'aire culturelle aja-tado. *NAC's Journal of African Cultures & Civilizations*, 1.

Alpern, S.B. (2005) Did they or didn't invent it? Iron in sub-Saharan Africa. *History in Africa*, 32, 41-94.

Arneitz, P., Egli, R., Leonhardt, R. & Fabian, K. (2019) A Bayesian iterative geomagnetic model with universal data input: Self-consistent spherical harmonic evolution for the geomagnetic field over the last 4000 years. *Phys. Earth Planet. Inter.* 290, 57–75.

Bankston, J. (2016) *Black Bart (Bartholomew Roberts)*, Hockessin, DE, Mitchell Lane Publishers (coll. « Pirates around the world »).

de Barros, P. (2023) *La Métallurgie du Fer en Pays Bassar (Nord-Togo) Depuis 2400 Ans. Tome I : L'Âge du Fer Ancien (de 400 avant J.-C. à 130 après J.-C.)*, l'Harmattan, Paris.

Bialuschewski, A. (2008) Black People under the Black Flag: Piracy and the Slave Trade on the West Coast of Africa, 1718–1723, *Slavery & Abolition*, 29 (4), 461-475.

Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, 51, 337–360.

Campuzano, S., Gomez-Paccard, M., Pavon-Carrasco, F.J. & Osete, M.L. (2019) Emergence and evolution of the South Atlantic Anomaly revealed by the new paleomagnetic reconstruction SHAWQ2k. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 512, 17-26.

Cook, G. D., Horlings† R., Pietruszka, A. (2016) Maritime Archaeology and the Early Atlantic Trade: research at Elmina, Ghana, *International Journal of Nautical Archaeology*, 45 (2), 370-387.

Chouin, G. (2018) L'ouverture atlantique de l'Afrique, in : *L'Afrique ancienne. De l'Acacus au Zimbabwe, 20000 avant notre ère - XVIIIe siècle* (F.-X. Fauvelle, editor). Mondes anciens, Belin, Paris.

DeCorse, C. (ed.) (2001) *West Africa during the Atlantic Slave Trade: Archaeological Perspectives*, London.

Defoe, D., Thies, H., Villeneuve, G. and Le Bris, M. (2002) *Histoire générale des plus fameux pirates*. P. in.: *Libretto, Phébus*, Paris (France).

Donadini, F., Serneels, V., Kapper, L., El Kateb, A. (2015) Directional changes of the geomagnetic field in West Africa: Insights from the metallurgical site of Korsimoro. *Earth and Planetary Science Letters* 430, 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.08.030>

Dumoulin, J.-P., Comby-Zerbino, C., Delqué-Količ, E., Moreau, C., Caffy, I., Hain, S., Perron, M., Thellier, B., Setti, V., Berthier, B. and Beck, L. (2017) Status Report on Sample Preparation Protocols Developed at the LMC14 Laboratory, Saclay, France: From Sample Collection to 14 C AMS Measurement. *Radiocarbon*, 59, 713–726.

Evans, C., Rydén, G. (2018) 'Voyage Iron': An Atlantic Slave Trade Currency, its European Origins, and West African Impact*. *Past & Present*, 239 (1), 41–70.

Fage, J. D. (1978) *A History of Africa*, London, Hutchison.

- Gosse, P. (1968) *The pirates' who's who giving particulars of the lives & deaths of the pirates & buccaneers*, New York, B. Franklin (coll. « Burt Franklin research & source works series 119 »).
- Hahn, H. P. (1997) *Techniques de Métallurgie au Nord-Togo*, Lomé, Presses de l'Université du Bénin.
- Hogg, A.G., Heaton, T.J., Hua, Q., Palmer, J.G., Turney, C.S., Southon, J., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Boswijk, G., Bronk Ramsey, C., Pearson, C., Petchey, F., Reimer, P., Reimer, R. and Wacker, L. (2020) SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0–55,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 62, 759–778.
- Hervé, G., Lanos, P. (2018) Improvements in Archaeomagnetic Dating in Western Europe from the Late Bronze to the Late Iron Ages: An Alternative to the Problem of the Hallstattian Radiocarbon Plateau: Improvements in archaeomagnetic dating in Western Europe, *Archaeometry*, 60 (4), p. 870-883.
- Hupfeld, Fr. (1899) *Die Eisenindustrie in Togo*, *Mitteilungen von Forschungsreisenden und Gelehrten aus den deutschen Schutzgebieten*, XI, p. 175-194.
- Kapper, L., Donadini, F., Serneels, V., Tema, E., Goguitchaichvili, A., Julio Morales, J. (2017) Reconstructing the Geomagnetic Field in West Africa: First Absolute Intensity Results from Burkina Faso. *Scientific Reports* 7. <https://doi.org/10.1038/srep45225>
- Kapper, L., Serneels, V., Panovska, S., Ruíz, R.G., Hellio, G., Groot, L. de, Goguitchaichvili, A., Morales, J., Ruíz, R.C. (2020) Novel insights on the geomagnetic field in West Africa from a new intensity reference curve (0-2000 AD). *Scientific Reports* 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57611-9>
- Lanos, P., Dufresne, P. (2019) ChronoModel version 2.0: Software for Chronological Modelling of Archaeological Data using Bayesian Statistics. <https://chronomodel.com/>
- Law, R. (2021) *Entre mer et lagune un port sur le côte des Esclaves*. Pp. 210–220 in: *Les Mondes de l'esclavage. Une Histoire Comparée* (P. Ismard, editor). Seuil, Paris.
- Macé, A. (2004) *La disparition de la sidérurgie dans la Volta Region (Ghana)*. *Techniques & Culture*, 42, 23-41.
- Manning, P. (1990) *Slavery and African life: Occidental, Oriental, and African Slave Trades*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Meillassoux, C. (1964) *Anthropologie économique des Gouro de Côte d'Ivoire*, Paris, Editions EHESS.
- Mettas, J. (1984) *Répertoire des expéditions négrières françaises au XVIIIe siècle. Tome Second : Ports autres que Nantes*. Index établis par Jean-Claude Nardin. P. in.: *Société française d'histoire d'outre-mer*, Paris (France).
- Moreau, C., Messenger, C., Berthier, B., Hain, S., Thellier, B., Dumoulin, J.-P., Caffy, I., Sieudat, M., Delqué-Količ, E., Mussard, S., Perron, M., Setti, V. and Beck, L. (2020) ARTEMIS, The 14C AMS Facility of the LMC14 National Laboratory: a status Report on Quality Control and Micro-sample Procedures. *Radiocarbon*, 62, 1755–1770.
- Pétre-Grenouilleau, O. (2006) *Les traites négrières : essai d'histoire globale*. P. in.: *Folio*, 148, Gallimard, Paris.
- Prostakova V., Shishin D., Shevchenko M., Jak E. (2019) Thermodynamic optimization of the Al₂O₃-FeO-Fe₂O₃-SiO₂ oxide system, *Calphad*, 67, 101680, ISSN 0364-5916. <https://doi.org/10.1016/j.calphad.2019.101680>
- Randsborg, K., Merkyte, I., Møller, N.A., Albek, S. and Adandé, A. (2009) *Bénin archaeology: the ancient kingdoms*. P. in.: *Acta archaeologica*, vol. 80-1, Wiley-Blackwell, Oxford, 2 pp.
- Richardson, D. (1979) *West African Consumption Patterns and their Influence on the Eighteenth-Century Slave Trade*, in Henry A. Gemery and Jan. S. Hogendorn (eds.), *The UncommonMarket: Essays in the Economic History of the Atlantic Slave Trade*, New York.
- Robion-Brunner Caroline. (2019) *Pourquoi ton four n'est pas comme le mien ? Diversité technique dans la sidérurgie ancienne : le cas du Dendi (Bénin)*, *Journal des africanistes*, 88 (2) : 16-39, <http://journals.openedition.org/africanistes/7548>.
- Robion-Brunner, C., Coustures, M.-P., Dugast, S., Tchetre-Gbandi, A. and Beziat, D. (2022) *Origines et étapes de la diversité des techniques sidérurgiques en Afrique de l'Ouest : le cas de la production du fer en pays bassar (nord du Togo) du XIIIe au XXe siècles*. *Afriques : Débats, méthodes et terrains d'histoire*.
- Saupin, G. (2023) *L'émergence des villes-havres africaines atlantiques : au temps du commerce des esclaves, vers 1470-vers 1870*. P. in.: *Histoire*, Presses universitaires de Rennes, Rennes.
- Sinou A., Agbo B. (1995) *Le comptoir de Ouidah : une ville africaine singulière*, Paris, Editions Karthala.

Soulat, J., de BRY, J. (2019) Archaeology of piracy between Caribbean Sea and the North American coast of 17th and 18th centuries: shipwrecks, material culture, and terrestrial perspectives, *Journal of Caribbean Archaeology*, 19, 68-103.

Sutton, A. (2023) *Pirates of the slave trade: the Battle of Cape Lopez and the birth of an American institution*, Lanham (Md.), Prometheus Books.