



HAL
open science

Du produit d'échange à l'objet symbole : de nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val de Saône et l'Arc jurassien

Marion Berranger, Philippe Dillmann, Philippe Fluzin, Enrique Vega, Stéphanie Leroy, Michel Aubert, Emmanuelle Delque-Količ

► To cite this version:

Marion Berranger, Philippe Dillmann, Philippe Fluzin, Enrique Vega, Stéphanie Leroy, et al.. Du produit d'échange à l'objet symbole : de nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val de Saône et l'Arc jurassien. Gallia - Archéologie des Gaules, 2019, 76 (2), pp.165-189. 10.4000/gallia.4870 . hal-02480781

HAL Id: hal-02480781

<https://hal.science/hal-02480781v1>

Submitted on 27 Feb 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Du produit d'échange à l'objet symbole

De nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val de Saône et de l'Arc jurassien

Marion BERRANGER¹, Philippe DILLMANN², Philippe FLUZIN³, Enrique VEGA⁴,
Stéphanie LEROY⁵, Michel AUBERT⁶ et Emmanuelle DELQUÉ-KOLIČ⁷

Mots-clés. Âge du Fer, sidérurgie, archéométrie, circulation, proto-monnaie, dépôt, savoir-faire, demi-produit.

Résumé. Les demi-produits ferreux, en tant que réserves de métal approvisionnant les ateliers de forge, sont les témoins privilégiés de la circulation des biens et de l'organisation des réseaux d'échanges. Plusieurs milliers d'entre eux, attribués aux âges du Fer, sont connus sous la forme de fers plats s'achevant par une extrémité roulée, également dénommés currency-bars. Dans le cadre de cet article, un ensemble exceptionnel de plus de 70 currency-bars, retrouvé dans un secteur s'étendant du Val de Saône aux environs de Salins-les-Bains (Jura), a été étudié en appliquant les dernières méthodologies développées dans les domaines de

la datation des objets en fer, de la caractérisation des matériaux ainsi que celui des études de provenance. Les résultats obtenus renouvellent radicalement les interprétations antérieures, fondées uniquement sur les contextes de découverte, et éclairent d'un jour nouveau leur contexte chrono-culturel, qui se révèle bien plus ancien que présumé. Le recours aux méthodes de l'archéométrie a également permis de préciser la nature et la qualité des matériaux, les savoir-faire mobilisés et l'identification de marqueurs chimiques, caractéristiques des sources de production, tracés jusqu'au sein des objets. Ces approches interdisciplinaires permettent ainsi de proposer des données déterminantes pour la connaissance de leurs conditions de production, de circulation et de dépôt.

From exchange products to symbolic objects

New data on currency-bar type semi-finished products from Val de Saône and the Jura Arc

Keywords. Iron Age, iron metallurgy, archaeometry, exchange, proto-currency, deposit, skill, iron semi-product.

Abstract. Semi-ferrous products, such as metal reserves supplying forging workshops, are privileged markers of the circulation of goods and the organization of trade networks. Several thousand of these products, attributed to the Iron Ages, are shaped like flat irons ending in a rolled end, and are also known as currency-bars. In the context of this article, an exceptional collection of more than 70 currency-bars, found in an area extending from the Val de Saône to the surroundings of Salins-les-Bains (Jura), has been studied by applying the latest methodologies developed in the

fields of dating iron objects, the characterization of materials and provenance studies. The results obtained allow us to reconsider the interpretations resulting solely from the study of discovery contexts and shed new light on their chrono-cultural context, which is much older than previously assumed. The use of archaeometric methods has also made it possible to specify the nature and quality of the materials, to define the know-how and to identify the chemical markers characteristic of the sources of production. These interdisciplinary approaches enable us to propose a new analysis of the conditions of production, circulation and deposition of these objects.

1. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS, université de Technologie de Belfort-Montbéliard, F-90010 Belfort Cedex. Courriel : marion.berranger@utbm.fr

2. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS ; Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération – IRAMAT, NIMBE, UMR 3685, CEA, CNRS, université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex. Courriel : philippe.dillmann@cea.fr

3. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS, université de Technologie de Belfort-Montbéliard, F-90010 Belfort Cedex. Courriel : philippe.fluzin@utbm.fr

4. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS ; Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération – IRAMAT, NIMBE, UMR 3685, CEA, CNRS, université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex. Courriel : enrique.vega@cea.fr

5. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS ; Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération – IRAMAT, NIMBE, UMR 3685, CEA, CNRS, université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex. Courriel : stephanie.leroy@cea.fr

6. Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – IRAMAT, UMR 5060, CNRS, université de Technologie de Belfort-Montbéliard, F-90010 Belfort Cedex. Courriel : michel.aubert@utbm.fr

7. Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) – LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex. Courriel : emmanuelle.delque-kolic@cea.fr

Plusieurs milliers de demi-produits ferreux attribués à l'âge du Fer nous sont parvenus sous la forme de produits dits « bipyramidés », ainsi que de fers plats s'achevant par une extrémité roulée. Ces derniers sont également fréquemment dénommés *currency-bars* en référence à la phrase de César qui, dans la *Guerre des Gaules*¹, mentionne la présence de barres de fer de poids déterminé utilisées en tant que monnaies dans l'île de Bretagne.

Réserves de métal destinées à approvisionner les ateliers de forge, ces barres sont les témoins privilégiés de la circulation des biens et de l'organisation des réseaux d'échanges. Produites durant une période d'important développement qualitatif et quantitatif de la métallurgie du fer, elles traduisent par leurs formes normalisées l'adoption de standards communs à une zone s'étendant de la Grande-Bretagne à la Pologne actuelle.

Ce sont principalement les exemplaires qui ont été soustraits des réseaux d'échanges qui nous sont parvenus. Ils présentent l'avantage d'être complets, permettant ainsi d'appréhender avec précision la qualité des matériaux en circulation et les savoir-faire mis en œuvre dans le traitement du métal².

Dans le domaine de l'archéométrie, les récentes avancées en termes de datation des objets en fer, de caractérisation des matériaux ainsi qu'en études de provenance (Dillmann *et al.* 2015) ont permis de reprendre certaines grandes questions restées jusqu'à présent en suspens, grâce à l'étude d'un ensemble exceptionnel de plus de 70 *currency-bars* retrouvés dans un secteur s'étendant du Val de Saône aux environs de Salins-les-Bains (Jura). Ce lot constitue le cœur d'une concentration s'étendant jusqu'en Suisse et de manière plus diffuse jusqu'aux bords de Seine et dans le sud-ouest de l'Allemagne (fig. 1a). La cohérence et les grandes quantités d'objets retrouvés autorisent l'approche comparative de leurs conditions de production, de circulation et de dépôt, qui s'avérait jusqu'à présent difficile, en raison de la piètre qualité de la documentation disponible.

Les techniques de fabrication et la nature des matériaux ont ainsi fait l'objet d'une étude spécifique en tant que témoins des conditions de production et d'échanges. En complément, des marqueurs chimiques caractéristiques des sources de production, conservés au sein des objets, ont pu être analysés. Les résultats obtenus permettent de suivre le parcours des masses de métal constituant ces demi-produits, depuis leurs lieux de production, puis de mise en forme, jusqu'au lieu de leur enfouissement, tout en restituant les techniques de transformation subies avant leur abandon.

1. *Untuntur aut aere, aut nummo aureo, aut taleis ferreis ad certum pondus examinatis pro nummo* (César, *Guerre des Gaules*, V, 12), soit « Pour monnaie on se sert de cuivre, de pièces d'or ou de lingots de fer d'un poids déterminé » (traduction : L.-A. Constans).

2. Ces travaux ont été financés par le Service régional de l'archéologie (SRA-DRAC) de Bourgogne-Franche-Comté et le Laboratoire Métallurgies et Cultures (LMC-IRAMAT-UMR 5060-CNRS) dans le cadre d'un Projet collectif de recherche portant sur la sidérurgie ancienne en Bourgogne-Franche-Comté (coordonné par M. Berranger). Merci à nos collègues du Centre Ernest Babelon (IRAMAT-UMR 5060-CNRS) à Orléans pour l'accès à l'ICP-MS ainsi que pour leur aide durant les phases d'analyses. Merci également au Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ) pour la réalisation des dates radiocarbone sur les objets en fer. Enfin, nous tenons à remercier vivement les différentes personnes et institutions ayant permis l'accès aux objets étudiés : H. Grut, P. Moscat et J.-F. Piningre (SRA Franche-Comté) pour la région de Salins-les-Bains et L. Bonnamour, G. Marchet-Legendre et C. Michel au musée Denon de Chalon-sur-Saône.

Plusieurs exemplaires ont également été datés par la méthode radiocarbone après prélèvement du carbone au sein de la matrice métallique elle-même. Les résultats obtenus renouvellent radicalement les interprétations antérieures, fondées uniquement sur les contextes de découverte et éclairent d'un jour nouveau leur contexte chrono-culturel, qui se révèle bien plus ancien que présumé.

UNE APPROCHE INTERDISCIPLINAIRE POUR L'ÉTUDE DE LOTS COHÉRENTS DE DEMI-PRODUITS

CORPUS

73 barres provenant de 10 lieux ont été considérées (tabl. I). Les sites de leur découverte se répartissent en trois ensembles distincts (fig. 1b) : le cours de la Saône (Saône-et-Loire et Côte-d'Or), un bras mort du Doubs à Champdivers (Jura) et les environs de Salins-les-Bains. Ils présentent chacun des spécificités qu'il convient de détailler.

Dans le lit de la Saône, à proximité de Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire et Côte-d'Or), une trentaine de demi-produits à extrémité roulée sont connus (Berranger, Fluzin 2016). Ils proviennent des surveillances d'opérations de dragages effectuées dans les années 1970-1980 par Louis Bonnamour, alors conservateur du musée Denon à Chalon-sur-Saône. 31 pièces ont été collectées en quatre points différents : 4 sur le site du Gué des Piles à Chalon-sur-Saône, 1 à Pouilly-sur-Saône, 14 au lieu-dit l'Île au Bœuf, à Seurre et 12 à Port Guillot, à Saint-Marcel. Un grand nombre d'autres *currency-bars* a probablement disparu en raison du faible intérêt qui leur était porté par les ouvriers de l'époque, responsables du dragage. Quelques autres demi-produits, de forme bipyramidée ou quadrangulaire, figurent parmi les objets issus de la Saône, mais ils sont en plus faible nombre et rarement trouvés en séries. Les travaux menés dans le cours de la Saône ont mis en évidence la richesse extraordinaire du fleuve, au sein duquel quantité d'objets en métal, céramiques, matériaux périssables ont été abandonnés sur de très longues durées (au moins dès le Néolithique). La localisation de ces dépôts d'objets ne serait pas aléatoire et semble liée à la présence de gués (Dumont 2002, p. 193).

Le gisement de Champdivers (Jura) se situe en bordure du Doubs dans une zone où son cours se divise en plusieurs méandres. Durant l'époque de Hallstatt et le début de l'époque de La Tène, il semble que les abords du Doubs aient été peu propices à la navigation, tandis qu'à la fin de l'âge du Fer la rivière se présente comme un chenal unique, navigable et navigué, d'après le témoignage de Strabon (*Géographie*, IV, 1, 11) et la découverte d'amphores Dressel 1b le long de son cours (Daubigny *et al.* 2007). Des séries de collectes d'objets ont été réalisées dans les années 1980-1990, sur la commune de Champdivers au lieu-dit le Grand-Glairon. De localisation imprécise, elles résultent de l'exploitation d'une carrière sur un espace d'environ 1 km² en bordure immédiate du Doubs. Au moins 7 *currency-bars* ont été retrouvés aux côtés d'objets en fer dont la datation s'étale sur plusieurs siècles, entre La Tène A et le haut Moyen Âge (*ibid.*).

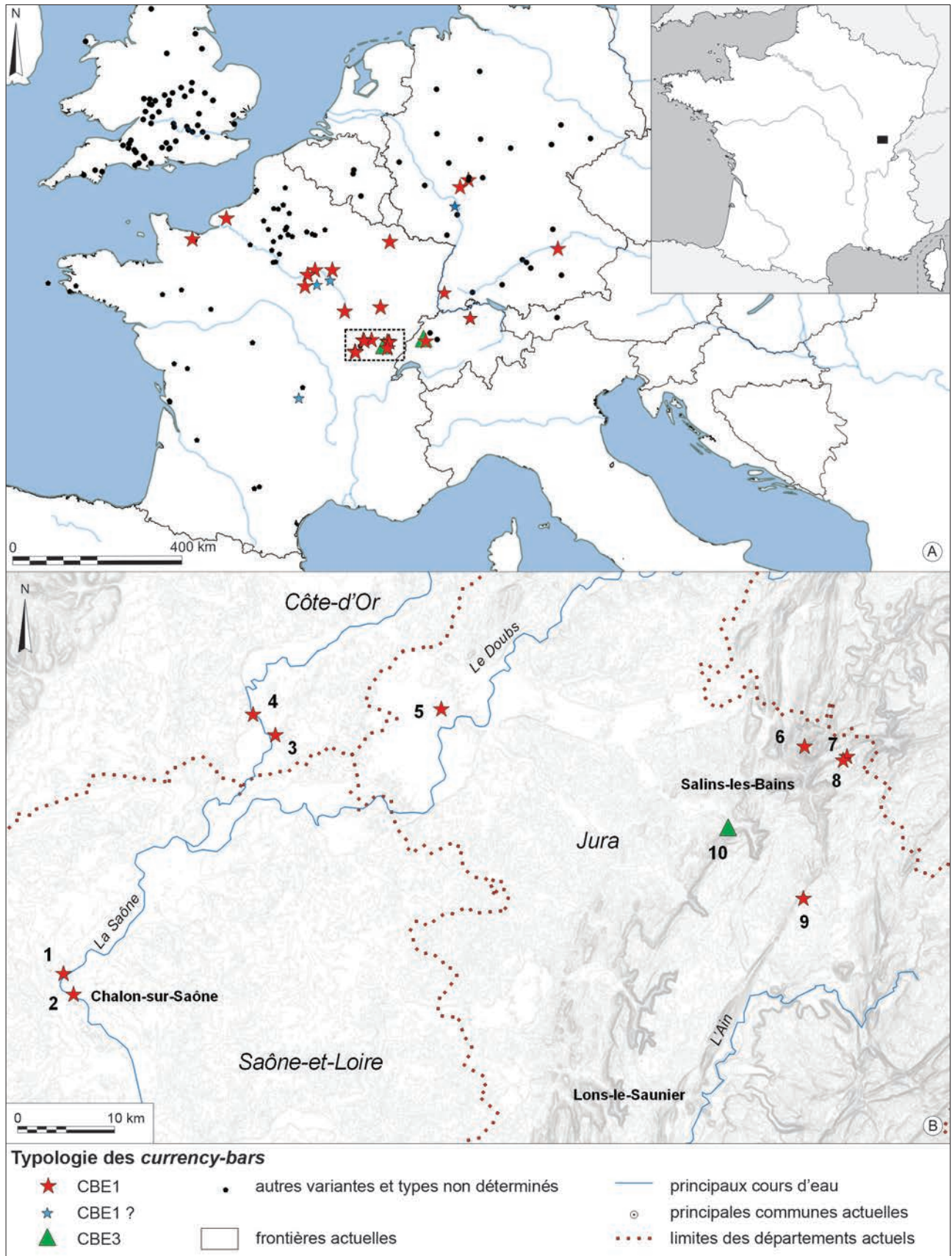


Fig. 1 – A, répartition des demi-produits à extrémité roulée ou currency-bars en Europe. Localisation des variantes CBE1 et CBE3 (voir annexe 1 pour le détail). Position de la zone étudiée dans le rectangle pointillé ; B, localisation des sites étudiés dans les régions du Chalonnais et du Salinois. 1, Gué des Piles, Chalon-sur-Saône ; 2, Port Guillot, Saint-Marcel ; 3, L'Île au Bœuf, Seurre ; 4, Pouilly-sur-Saône ; 5, Le Grand Glairon, Champdivers ; 6, Le Dafoy, Saint-Thiébaud ; 7, Bois Bovard-Les Rappes, Salins-les-Bains ; 8, Bois Bovard-est, Salins-les-Bains ; 9, Bois de Rafour, Vaempoulières ; 10, Pré des Noyers, Arbois (inventaire d'après Berranger 2014, actualisé ; cartographie et données : M. Berranger, LMC-IRAMAT-CNRS. QGIS2.14.10. Fonds de carte : OpenStreetMap).

Tabl. 1 – Inventaire des demi-produits à extrémité roulée ou currency-bars étudiés, provenant de la Saône (Côte-d'Or et Saône-et-Loire), de Champdivers (Jura) et des environs de Salins-les-Bains (Jura). Les objets analysés sont ici mentionnés en italique.

Lieu de découverte	n° inventaire	État de conservation	Masse (g)	L. totale (mm)	l. maxi (mm)	Ép. maxi (mm)	Analyses (métallo., chimie)	¹⁴ C	Type
le Pré des Noyers, Arbois (Jura)	<i>CB01</i>	<i>Complet</i>	<i>894</i>	<i>349</i>	<i>54</i>	<i>16</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	CBE3
	CB02	Complet	842	403	52	16	Non	Non	
Bois Bovard-Les Rappes, Salins-les-Bains (Jura)	WPT094	Complet	613	400	39	6	Non	Non	
Bois Bovard-est, Salins-les-Bains (Jura)	<i>WPT154.1</i>	<i>Frag.</i>	<i>717</i>	<i>518</i>	<i>35</i>	<i>8</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	CBE1
	WPT154.2	Complet	623	468	37	10	Non	Non	
le Dafoy, Saint-Thiébaud (Jura)	SAL.1	Complet	589	445	38	9	Non	Non	
	SAL.2	Fragmentaire	600	455	36	11	Non	Non	
	SAL.3	Arch. complet	633	478	36	10	Non	Non	
	SAL.4	Arch. complet	829	480	40	12	Non	Non	
	SAL.5	<i>Complet</i>	<i>636</i>	<i>484</i>	<i>36</i>	<i>9</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
	SAL.6	<i>Complet</i>	<i>670</i>	<i>489</i>	<i>37</i>	<i>9</i>		Non	
	SAL.7	<i>Complet</i>	<i>655</i>	<i>492</i>	<i>36</i>	<i>9</i>		<i>Oui</i>	
	SAL.8	<i>Arch. complet</i>	<i>550</i>	<i>492</i>	<i>32</i>	<i>9</i>	Non	Non	
	SAL.9	Fragmentaire	574	493	35	9	Non	Non	
	SAL.10	Complet	612	497	36	9	Non	Non	
	SAL.11	<i>Complet</i>	<i>561</i>	<i>496</i>	<i>35</i>	<i>11</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
	SAL.12	Complet	718	495	37	11	Non	Non	
	SAL.13	Arch. complet	635	497	38	10	Non	Non	
	SAL.14	Complet	638	497	37	10	Non	Non	
	SAL.15	Complet	627	497	38	9	Non	Non	
	SAL.16	Complet	593	498	35	9	Non	Non	
	SAL.17	Complet	580	507	38	8	Non	Non	
	SAL.18	Complet	730	507	35	13	Non	Non	
	SAL.19	Complet	668	505	37	11	Non	Non	
	SAL.20	Complet	772	509	35	11	Non	Non	
	SAL.21	Complet	624	509	35	7	Non	Non	
	SAL.22	Complet	665	513	36	9	Non	Non	
	SAL.23	Fragmentaire	689	516	37	10	Non	Non	
	SAL.24	<i>Complet</i>	<i>791</i>	<i>542</i>	<i>38</i>	<i>10</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
SAL.25	<i>Complet</i>	<i>876</i>	<i>547</i>	<i>39</i>	<i>11</i>	Non			
SAL.26	<i>Fragmentaire</i>	<i>700</i>	<i>559</i>	<i>37</i>	<i>9</i>	Non	Non		
le Bois de Rafour, Valempoulières (Jura)	<i>VAL.1</i>	<i>Fragmentaire</i>	<i>706</i>	<i>577</i>	<i>42</i>	<i>8</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
	VAL.2	Fragmentaire	805	550	43	9	Non	Non	
	VAL.3	Fragmentaire	747	60	44	9	Non	Non	
	<i>VAL.4</i>	<i>Fragmentaire</i>	<i>856</i>	<i>585</i>	<i>43</i>	<i>8</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
le Grand Glairon, Champdivers (Jura)	<i>D.99.17.05</i>	<i>Fragmentaire</i>	<i>430</i>	<i>530</i>	<i>35</i>	<i>4</i>	Non	Non	
	D.99.17.06	Arch. complet	?	565	?	?	Non	Non	
	CHAMP.2	Arch. complet	?	400	?	?	Non	Non	
	CHAMP.3	Arch. complet	?	370	?	?	Non	Non	
	CHAMP.4	Fragmentaire	?	420	?	?	Non	Non	
	CHAMP.5	Complet	?	320	?	?	Non	Non	
CHAMP.6	Arch. complet	?	340	?	?	Non	Non		
Gué des Piles, Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire)	SAO.80 01 12	Complet	571	541	36	5	Non	Non	
	<i>SAO.82 07 06A</i>	<i>Complet</i>	<i>520</i>	<i>570</i>	<i>40</i>	<i>6</i>	<i>Oui</i>	<i>Oui</i>	
	<i>SAO.82 07 06B</i>	<i>Fragmentaire</i>	<i>490</i>	<i>573</i>	<i>45</i>	<i>5</i>		Non	
	SAO.82 36 12	Fragmentaire	490	371	45	6	Non	Non	

Pouilly-sur-Saône (Saône-et-Loire)	SAO.81 03 01	Arch. complet	650	598	45	5	Oui	Non	CBE1
Port Guillot, Saint-Marcel (Saône-et-Loire)	SAO.81 01 01	Complet	631	533	31	11	Non		
	SAO.81 01 01B	Arch. complet	639	468	27	7			
	SAO.85 01 01	Arch. complet	645	545	31	11			
	SAO.85 01 01B	Arch. complet	645	498	27	6	Oui		
	SAO.83 38 03 (lot aggloméré)	Complet	3650	535	38	6	Non		
		Arch. complet		540					
		Arch. complet		554					
		Arch. complet		550					
		Complet		538	31	8			
	SAO.83 38 04 (lot aggloméré)	Arch. complet	2180	543	29	8			
Complet		547							
Complet		532		30	7				
l'île au Bœuf, Seurre (Côte-d'Or)	SAO.77 10 07	Fragmentaire	520	302	36	5	Oui		
	SAO.77 10 08	Arch. complet	695	476	30	5	Non		
	SAO.77 10 09	Complet	630	550	30	7			
	SAO.77 10 10	Complet	690	554	30	5			
	SAO.77 10 11	Arch. complet	595	528	31	4			
	SAO.77 10 12	Complet	670	530	33	8			
	SAO.77 10 13	Arch. complet	605	538	30	6			
	SAO.77 10 14	Complet	735	544	31	7			
	SAO.77 10 15	Arch. complet	765	585	31	8			
	SAO.77 10 16	Complet	695	536	31	6			
	SAO.77 10 17	Complet	655	558	28	8			
	SAO.77 10 18	Complet	720	542	31	6			
	SAO.77 10 19	Complet	910	540	33	9			
	SAO.77 10 08	Arch. complet	695	476	30	5			

Le dernier ensemble étudié comprend 5 dépôts distincts en contexte terrestre, rassemblant 35 demi-produits. Il se localise dans la région de Salins-les-Bains. Les demi-produits ont été mis au jour dans des contextes rocheux, sans être associés à d'autres objets. La plupart ont été retrouvés à quelques centimètres de profondeur, dans des lapiaz : 26 *currency-bars* sur le site du Dafoy à Saint-Thiébaud (Jura), 4 au Bois de Rafour à Valempoulières (Jura) et 2 vers le Pré des Noyers, à Arbois (Jura). À Salins-les-Bains, à Bois Bovard-les Rappes et Bois Bovard-est, deux dépôts ont été effectués dans des fentes rocheuses distantes d'environ 500 m, et ont livré respectivement 1 et 2 objets. Ces dépôts ont été identifiés durant des prospections-inventaires effectuées au détecteur à métaux dans le cadre d'un Projet collectif de recherche dirigé par Jean-François Piningre dans le courant des années 2000 et 2010. L'une de ces campagnes de prospection a permis la réalisation d'un sondage (fig. 2) sur l'emplacement d'un dépôt de 2 *currency-bars* à Arbois, en 2015 (Berranger 2015).

Ces recherches ont été motivées par le riche contexte archéologique de la région de Salins-les-Bains, qui correspond à une zone de passage privilégiée entre les plaines de la Saône et les plateaux suisses et où l'exploitation de sources d'eaux salées dès le Néolithique a notamment participé au développement économique et à la multiplication des échanges (Pétrequin *et al.* 2001). De riches nécropoles protohistoriques, semblant dépendre d'un habitat de hauteur occupé depuis l'âge du Bronze jusque durant le premier âge du Fer, sont connues. Cet ensemble

de découvertes d'objets en fer a d'ailleurs été effectué dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres autour de la résidence aristocratique dite du Camp du Château.

MÉTHODOLOGIE

18 barres – 5 provenant de la Saône, 1 de Champdivers et 12 de la région de Salins-les-Bains – ont pu bénéficier d'une caractérisation multiméthode destinée à préciser la nature de l'alliage ferreux, les techniques de fabrication, l'origine des masses de fer brut et leur datation. L'objet de cet article n'est pas de revenir en détail sur les méthodes d'analyses déjà publiées (pour une présentation générale, voir Dillmann *et al.* 2015). Nous n'en rappellerons donc que les principes en renvoyant aux articles de référence.

Les objets analysés ont été étudiés après tronçonnage en fonction de deux axes : de manière complète suivant un axe longitudinal et de manière ponctuelle selon un axe transversal. En effet, les objets en fer obtenus en phase solide sont particulièrement hétérogènes et nécessitent d'être appréhendés sur des surfaces étendues pour obtenir des données représentatives. La première étape de l'analyse est une observation effectuée au microscope métallographique, avant et après attaques chimiques au Nital 4 % et Oberhoffer. L'objectif est de déterminer la qualité des matériaux (homogénéité/hétérogénéité), d'évaluer de manière qualitative la structure (fer/acier/phosphore) et la



Fig. 2 – Les barres du Pré des Noyers à Arbois (Jura), en lapiaz, à l'emplacement de leur découverte (clichés : M. Berranger).

texture du produit métallique travaillé (proportion d'inclusions), ou encore de mettre en évidence des procédés spécifiques (soudures, trempe, déformation à chaud, à froid) permettant de reconnaître les étapes de la chaîne opératoire (Fluzin *et al.* 2012). La proportion d'inclusions et la distribution des différentes plages de l'alliage fer-carbone sont évaluées par analyse d'image, à partir de mosaïques de micro-photographies portant sur l'intégralité des sections étudiées. Ces données, qui reposent sur des décomptes automatiques de pixels, sont exprimées en pourcentage de la surface étudiée (tabl. II).

Les objets sont ensuite soumis à l'analyse chimique des inclusions silicatées piégées en leur sein, avec pour objectif d'établir leur signature chimique afin d'appréhender leur origine et les modalités de constitution des dépôts. Ces questionnements ont été abordés en comparant la seule signature chimique des objets entre eux, sans prendre en compte d'espaces de réduction de référence – en cours de constitution. Ces données feront l'objet d'une étude ultérieure.

L'analyse est réalisée en deux temps. Les composés majeurs sont d'abord déterminés par spectrométrie EDS (Energy Dispersive Spectrometry) couplée à un microscope électronique à balayage (MEB). Il s'agit de distinguer, parmi les quelques milliers d'inclusions détectées en cartographiant la surface du métal, celles qui sont issues de l'étape de réduction (et donc porteuses de l'information de provenance) de celles ajoutées

durant les phases de post-réduction (Dillmann, L'Héritier 2007 ; Disser 2014). L'ensemble des inclusions analysées est pris en compte et la cohérence de composition de chacune d'elles est vérifiée en combinant l'étude des rapports des composés non réduits (NRC – Dillmann, L'Héritier 2007) à partir de représentations bivariées et les traitements statistiques multivariés de type Analyse en Composante Principale (ACP) (Charlton *et al.* 2012 ; Disser 2014).

Dans un deuxième temps, l'analyse par LA-ICP-MS (Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) porte uniquement sur les inclusions de la réduction, précédemment individualisées, et permet de doser leur composition en éléments traces. Seuls les éléments traces suivants ont été retenus pour cette étude : Ce, Eu, Gd, Hf, La, Nb, Nd, Pr, Sm, Ta, Tb, Th, U, Y, Yb après une transformation des données en rapports logarithmiques, suivant une procédure détaillée par ailleurs (Leroy *et al.* 2012). Celle-ci permet de s'affranchir des effets d'enrichissement inhérents à l'étape de réduction (diminution de la part de fer dans la scorie par rapport à la proportion de fer dans le minerai). Une quinzaine d'inclusions est prise en compte pour chaque objet.

Le grand nombre d'observations (15 inclusions par objet pour 20 masses de métal caractérisées – 2 des objets analysés étant constitués de deux masses de métal distinctes) et d'éléments dosés (15 éléments chimiques) nécessite une approche statistique des données visant à comparer la composition chimique des objets (Charlton *et al.* 2012 ; Leroy *et al.* 2014 ; Dillmann *et al.* 2017 ; Disser *et al.* 2017). Une ACP basée sur les coefficients de corrélation de Pearson a ainsi été appliquée (avec le logiciel XLSTAT version 19.5).

10 objets ont également pu être datés par radiochronologie à partir du dosage du ^{14}C piégé dans la matrice métallique elle-même : ce carbone est issu du charbon de bois utilisé durant la réduction des oxydes du minerai de fer en métal. Durant cette opération, il se diffuse dans le métal en formant des zones aciérées de cémentite (carbure de fer : Fe_3C). Ce sont ces dernières, repérées préalablement au microscope métallographique, qui sont prélevées à l'aide d'un foret. Le carbone présent dans le métal est extrait par combustion puis mesuré par spectrométrie de masse par accélérateur au Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (université Paris-Saclay) (une description précise du principe et de la méthodologie est donnée dans Leroy *et al.* 2015a ; 2015b). Deux prélèvements et mesures radiocarbone sont effectués par masse de métal afin de vérifier l'homogénéité des résultats. Les dates sont calibrées au moyen du logiciel Oxcal 4.3. (Bronk Ramsey 2009) qui utilise la courbe de calibration IntCal 13 (Reimer *et al.* 2013).

RÉSULTATS

TYOLOGIE ET MÉTROLOGIE

TYPO-MORPHOLOGIE

Tous les *currency-bars* pris en compte présentent les particularités morphologiques classiques pour ce type d'objet (fig. 3, 4 et 5). Ils sont formés d'un long fer plat constituant les trois quarts de la longueur, s'amincissant et se resserrant progressivement

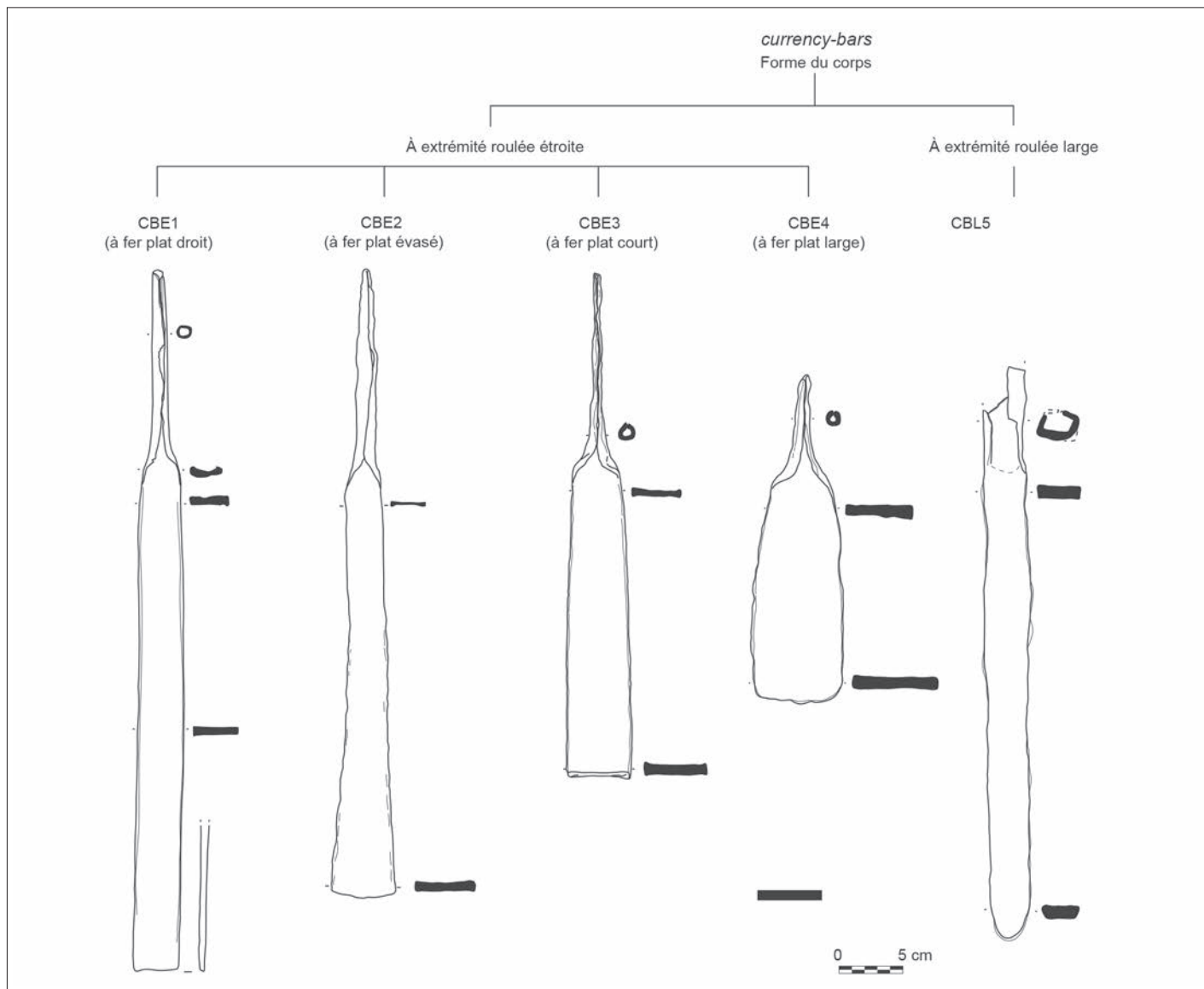


Fig. 3 – Typologie des demi-produits à extrémité roulée ou currency-bars (DAO : M. Berranger).

vers une extrémité bien plus fine et roulée. Les côtés présentent un léger bourrelet latéral indiquant un matage réalisé durant le stade d'élaboration final. Le fer plat possède généralement des bords parallèles et son épaisseur est le plus souvent constante, si ce n'est sur l'extrémité, où le taux d'écrasement est plus important. Le quart restant de l'objet est une extrémité roulée, étroite.

Le lot étudié est particulièrement bien conservé et son état permet d'appréhender les traitements de surface. De manière générale, la mise en forme est soignée et seules de légères irrégularités résultant des coups de marteau sont encore visibles. Un grand nombre d'exemplaires sont complets ou sont seulement légèrement fragmentés à l'extrémité de la partie roulée, soit la zone la plus fine et donc la plus fragile.

67 des 73 barres considérées appartiennent à la variante CBE1, définie dans de précédentes études (Berranger 2014, p. 73-75, fig. 26). Les deux barres d'Arbois, l'exemplaire de Bois Bovard – les Rappes (WPT094-1) et probablement trois des exemplaires de Champdivers (seulement vus sur photographies) se rattachent à la variante CBE3, caractérisée par un fer plat court, s'épaississant vers une extrémité que l'on peut supposer tranchée.

L'ensemble des demi-produits étudiés présente une grande homogénéité morphologique, encore plus notable pour les objets issus d'un même contexte.

Les demi-produits issus de la Saône sont tous de type CBE1. Les seules différences observées concernent la forme de l'achèvement du fer plat qui, presque toujours rectiligne, peut parfois finir en léger arrondi. Ces variations mineures ont été observées sur des objets découverts aux mêmes emplacements, sur le site du Gué des piles à Chalon-sur-Saône et à Saint-Marcel notamment. Dans plusieurs cas, ces objets sont agglomérés en paquets de deux, trois ou cinq et leur disposition – les uns sur les autres, de façon légèrement désaxée – atteste qu'ils sont tombés dans le fleuve simultanément, dans un contenant en matériau périssable.

Pour le groupe de Salins-les-Bains, seules des variations de détail sont constatées. La mise en forme finale de l'extrémité du fer plat associe généralement tranche, puis rupture par flexion suivi d'un léger matage. En revanche, trois des exemplaires de Valempoulières ainsi que deux barres de Saint-Thiébaud s'achèvent par un arrondi.

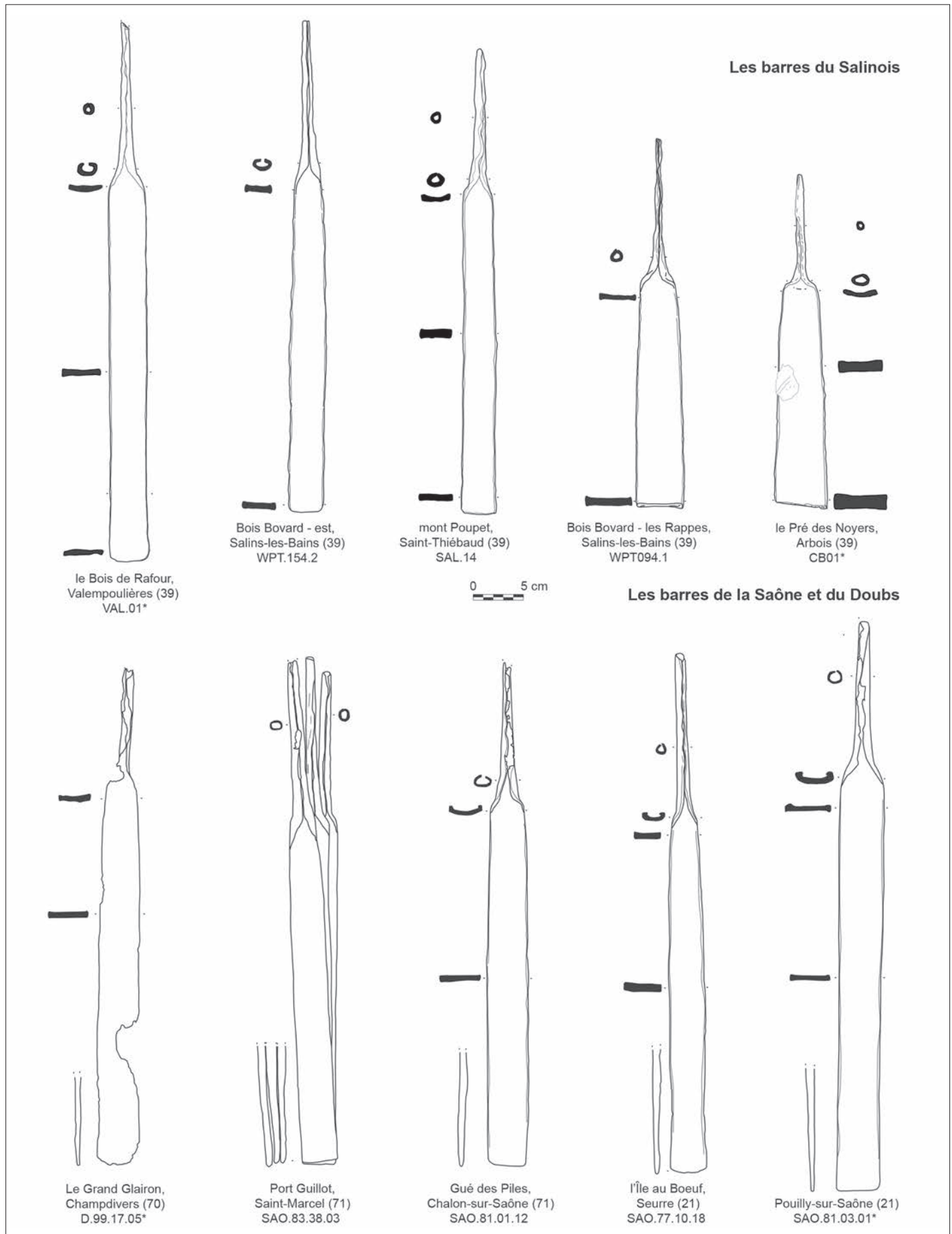


Fig. 4 – Les barres étudiées (sélection) (DAO : M. Berranger).

CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES

Cet effectif, composé d'une soixantaine d'objets, permet de comparer les caractéristiques métrologiques des différents ensembles. Une ACP, basée sur une matrice composée des coefficients de corrélation de Pearson, a été réalisée. Cette approche statistique a été appliquée aux seules barres de type CBE1, les plus nombreuses, en ne retenant que les exemplaires complets ou très peu fragmentés. Quatre critères ont été pris en compte : la longueur totale, la largeur, l'épaisseur du fer plat et la masse. 28 barres ont été retenues pour le Salinois et 14 pour les environs de Chalon-sur-Saône, quand aucune barre de Champdivers n'a été intégrée, faute de données suffisantes ou du fait d'un mauvais état de conservation.

L'observation des axes F1 et F2 de l'ACP (fig. 6), qui expriment plus de 81 % de la variance, met en évidence la forte proximité métrologique des barres provenant de Saint-Thiébaud, Salins-les-Bains (Bois Bovard - est), Seurre et Saint-Marcel. Les barres provenant de Pouilly-sur-Saône, Valempoulières et Chalon-sur-Saône constituent des groupes différenciés, au sein desquels se regroupent les objets provenant du même lieu de découverte. On constate en effet que les barres de Valempoulières sont caractérisées notamment par un fer plat plus large que les autres, une longueur et une masse également plus importantes que la moyenne. Celles de Saint-Marcel se différencient par une masse et une épaisseur plus faibles que le reste de celles du corpus, quand la barre de Pouilly-sur-Saône se distingue essentiellement par sa plus grande longueur et par son épaisseur réduite. On note également que les objets provenant du même lieu de découverte partagent des caractéristiques métrologiques proches.

SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS MÉTALLOGRAPHIQUES

Un échantillonnage représentatif des différents dépôts, groupes morphologiques et métrologiques a été sélectionné pour analyses. Pour le Chalonnais, 5 barres provenant de 4 lieux de découverte ont été étudiées (détail des analyses publié, pour 4 d'entre elles, dans Berranger, Fluzin 2016³). Deux barres tombées dans les eaux simultanément (car collées par la corrosion) ont été sélectionnées pour Chalon-sur-Saône, et une seulement pour Champdivers. Pour le groupe de Salins, 12 barres issues de 4 dépôts ont été prises en compte. Le tableau I précise l'échantillonnage par commune et le tableau II présente les résultats des analyses par objet.

À l'exception d'une barre provenant de Valempoulières (VAL.04), l'intégralité du lot présente une qualité d'épuration excellente (proportion d'impuretés inférieure à 5 % de la surface étudiée) (tabl. II). Cette dernière peut toutefois être inégale au sein d'un même objet, avec la présence ponctuelle d'alignements de grosses inclusions. Cela résulte probablement

3. Trois autres barres avaient fait l'objet d'analyses dans les années 1990 (Dieudonné-Glad *et al.* 2001), mais leur caractère trop ponctuel n'a pas permis d'intégrer ces résultats.



Fig. 5 – Quelques-uns des currency-bars du dépôt du Dafoy, à Saint-Thiébaud. La disposition des barres en contexte n'est pas connue (cliché : M. Berranger).

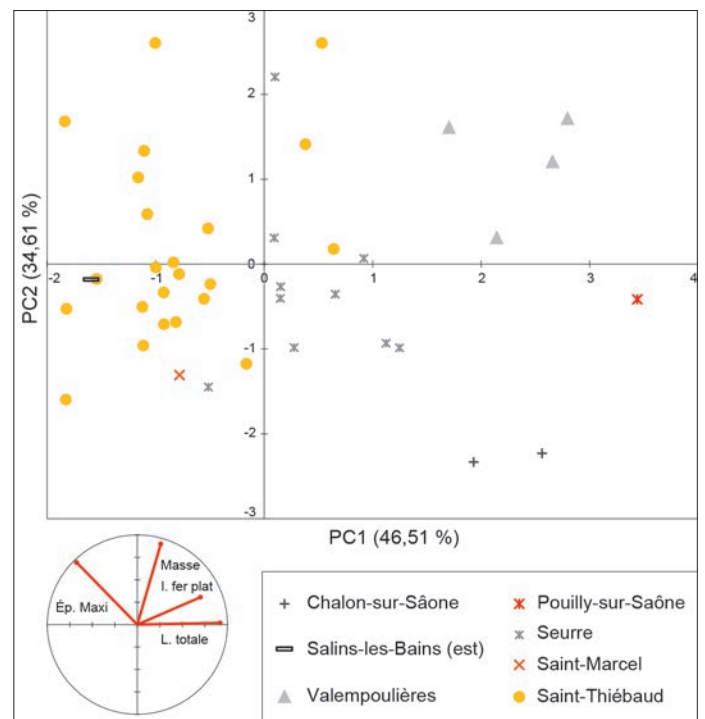


Fig. 6 – Analyse en composante principale menée sur les longueurs, masses, largeurs et épaisseurs des barres CBE1 du corpus (DAO : M. Berranger).

de l'hétérogénéité de répartition des impuretés dans la masse de métal brut initiale. Néanmoins, les inclusions sont fortement écrasées, ce qui confirme le caractère intensif du martelage.

Les inclusions observées sont majoritairement silicatées, multiphasées et constituées de silicates de fer de type fayalite (Fe_2SiO_4), de phases vitreuses et de dendrites de wüstite (FeO), en différentes proportions. Elles peuvent également être totalement amorphes et siliceuses. De rares porosités et replis ont été observés au sein de certains exemplaires.

Tabl. II – Synthèse des résultats des analyses métallographiques.

Commune	numéro d'inventaire	Qualité inclusionnaire					Nature des inclusions			Structure du métal							Technique de mise en forme				
		Très médiocre (sup. à 25 %)	Mauvaise (25 à 15 %)	Moyenne (15 à 10 %)	Bonne (10 à 5 %)	Excellente (de 5 à 0 %)	Porosités/replis	Amorphe / majoritairement siliceuse	Avec fayalite seule	Avec fayalite et dendrites de wustite	Ferrite (< 0,10 % C)	Acier 0,10/0,30 % C	Acier 0,30/0,50 % C	Acier 0,50/0,70 % C	Acier 0,70/0,90 % C	Acier hypereutectoïde (0,90 à 2,10 % C)	Fonte (> 2,10 % C)	Structures fantômes (phosphore)	Déformation simple	Déformation simple et un repli	Corroyage par replis successifs
Groupe du Salinois	Saint-Thiébaud	SAL.05				2 %				4 %	13 %	45 %	28 %	8 %	< 1 %						
		SAL.06				4 %				43 %	1 %		17 %	35 %	< 1 %						
		SAL.07				3 %				17 %	1 %	45 %	19 %	15 %							
		SAL.08				1 %				8 %	13 %	30 %	26 %	22 %	< 1 %						
		SAL.11				4 %				55 %	2 %	27 %	9 %	3 %			loc.				
		SAL.24				4 %				77 %	1 %	1 %	12 %	5 %							
		SAL.25				1 %				91 %	5 %	2 %		1 %							
	SAL.26				3 %				75 %	3 %	11 %	8 %				oui				?	
	Valempoulières	VAL.01				2 %				39 %	21 %	23 %	8 %	7 %	< 1 %		loc.				?
		VAL.04			15 %					68 %	2 %	13 %	1 %	1 %			oui				?
Arbois	CB01				2 %				78 %	5 %	8 %	7 %	1 %								
Salins-les-Bains	WPT-154-1				2 %				17 %	2 %	33 %	33 %	13 %	< 1 %	< 1 %						
Groupe de la Saône	Chalon-sur-Saône	82.07.06A				1 %				15 %	28 %	20 %	32 %	4 %			oui				
		82.07.06B				2 %				52 %	20 %	13 %	9 %	4 %							
	Seurre	77.10.07				2 %				93 %	2 %	1 %	1 %								
	Pouilly-sur-Saône	81.03.01				2 %				75 %	4 %	16 %	3 %								
	Saint-Marcel	85.01.01B				2 %				64 %	6 %	7 %	8 %	13 %							
Champdivers	D.99.17.05				1 %				64 %	19 %	14 %	< 1 %	< 1 %			loc.					

La majorité des objets sont constitués de ferrite (inférieure à 0,02 % C) en association avec une faible proportion d'acier majoritairement inférieur à 0,80 % C.

Pour l'ensemble du corpus, la comparaison de la teneur en carbone et de l'homogénéité de sa distribution au sein des objets repose sur la méthode proposée récemment par Sylvain Bauvais (Leroy *et al.* 2017), qui tient au calcul d'une teneur moyenne surfacique en carbone⁴ et à son écart-type. Le rapport entre ces deux données permet de situer chacun des objets au sein d'une « cloche » où figurent les différents domaines de composition de l'alliage fer/carbone (fig. 7). On constate ainsi une grande variabilité du corpus pour ce qui concerne la distribution du carbone : les objets se répartissent dans toutes les classes allant du produit homogène à très hétérogène – la majorité s'avère

néanmoins hétérogène. La teneur moyenne en carbone est plus uniforme : la plupart en présente une faible quantité, seuls trois exemplaires (SAL.07, SAL.05 et WPT.154-1) ont des valeurs moyennes à fortes.

La technique de fabrication majoritairement observée est la mise en forme par déformation simple d'une unique masse de métal (tabl. II) (fig. 8). Toutes les barres provenant de la Saône, celle de Champdivers ainsi que 4 barres du Salinois sont mises en forme avec cette technique. Seules des soudures de petite étendue, correspondant à l'agglomération de porosités et d'excroissances métalliques superficielles héritées de la masse de métal brute sont alors constatées.

Pour le groupe de Salins-les-Bains, d'autres techniques de fabrication sont également identifiées. Cinq des exemplaires provenant de Saint-Thiébaud et d'Arbois sont mis en forme par déformation simple, avec une soudure d'assemblage – au niveau de la douille pour 3 d'entre eux. Trois barres sont obtenues par replis successifs. Au sein de ces dernières, on observe de multiples soudures superposées horizontalement et discontinues, car parfaitement réalisées.

4. La teneur en carbone est déterminée lors de l'analyse métallographique (teneurs comprises entre 0,02 % C et 0,90 % C pour le présent corpus) et répartie en classes utilisant un intervalle de 0,20 %. La surface occupée par chacune de ces classes est ensuite calculée par analyse d'image et exprimée en pourcentage.

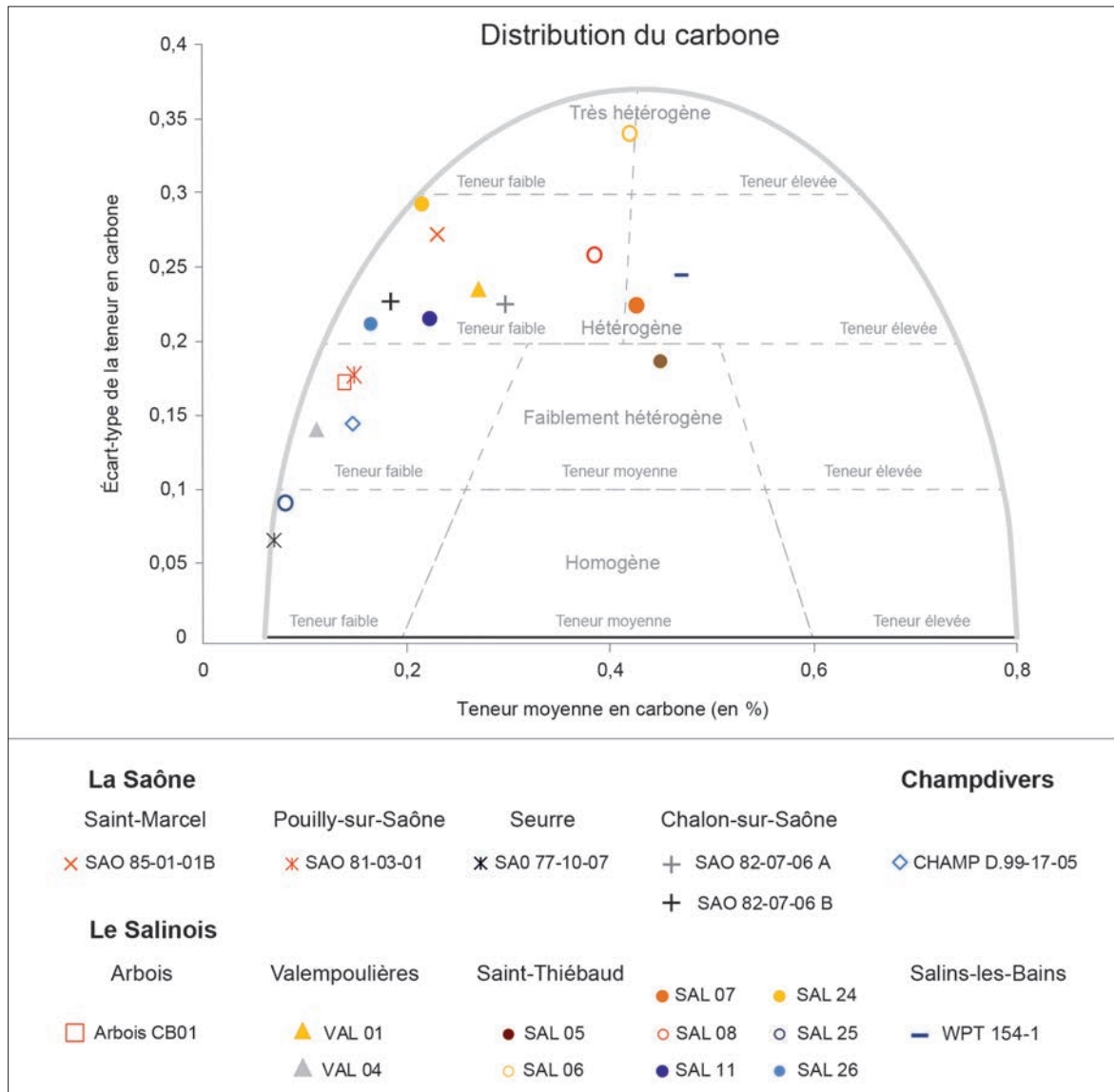


Fig. 7 – Domaine de composition de l’alliage fer/acier pour les barres analysées (DAO : M. Berranger, d’après S. Bauvais, in Leroy et al. 2017).

Plus que la qualité d’épuration ou la composition et l’homogénéité de l’alliage (sa teneur en fer/acier), ce sont ainsi les procédés de fabrication qui diffèrent le plus d’un dépôt à l’autre (tabl. II).

LES ANALYSES CHIMIQUES INCLUSIONNAIRES

Les analyses inclusionnaires sont effectuées par masses de métal individualisées lors de la caractérisation au microscope métallographique. Pour les barres mises en forme par replis successifs, une distinction des inclusions par origine de feuilles est impossible du fait de la finesse de celles-ci.

Au sein du lot étudié, une signature chimique cohérente et donc caractéristique du système de réduction a été identifiée pour chaque objet : elle indiquerait que les barres mises en forme par replis successifs ont bien été formées à partir d’une unique masse de métal.

Lorsqu’un même objet est constitué de deux feuilles de métal assemblées par une soudure, les deux feuilles sont analysées

de manière distincte comme s’il s’agissait de deux produits différenciés. Pour SAL.05, SAL.08 et SAL.25, la soudure se situait au niveau de l’extrémité roulée à un emplacement trop fin pour permettre une analyse inclusionnaire. Seule la feuille constituant le fer plat a pu subir une analyse chimique des inclusions. L’emplacement de la soudure laisse néanmoins penser qu’il s’agit d’une unique feuille de métal repliée sur elle-même.

Les analyses ont été différenciées pour chacune des deux masses de métal constituant d’une part la barre d’Arbois CB01 et d’autre part SAL.24, étant donné que la soudure se situait au milieu du fer plat. Elles sont notées SAL.24 (a) et (b) et Arbois CB01 (a) et (b).

Afin de prendre en compte l’ensemble des rapports entre les éléments chimiques, une ACP a été réalisée sur les données issues de l’analyse des inclusions des barres, après leur transformation en rapports logarithmiques (cf. *supra*, p. 170). L’histogramme des variances montre que la fluctuation est surtout exprimée par l’axe F1 (65 %) et dans une moindre mesure par les axes F2 et F3 (22 % de la variabilité). Seuls les plans représentés par ces trois axes (87 %) sont donc présentés.

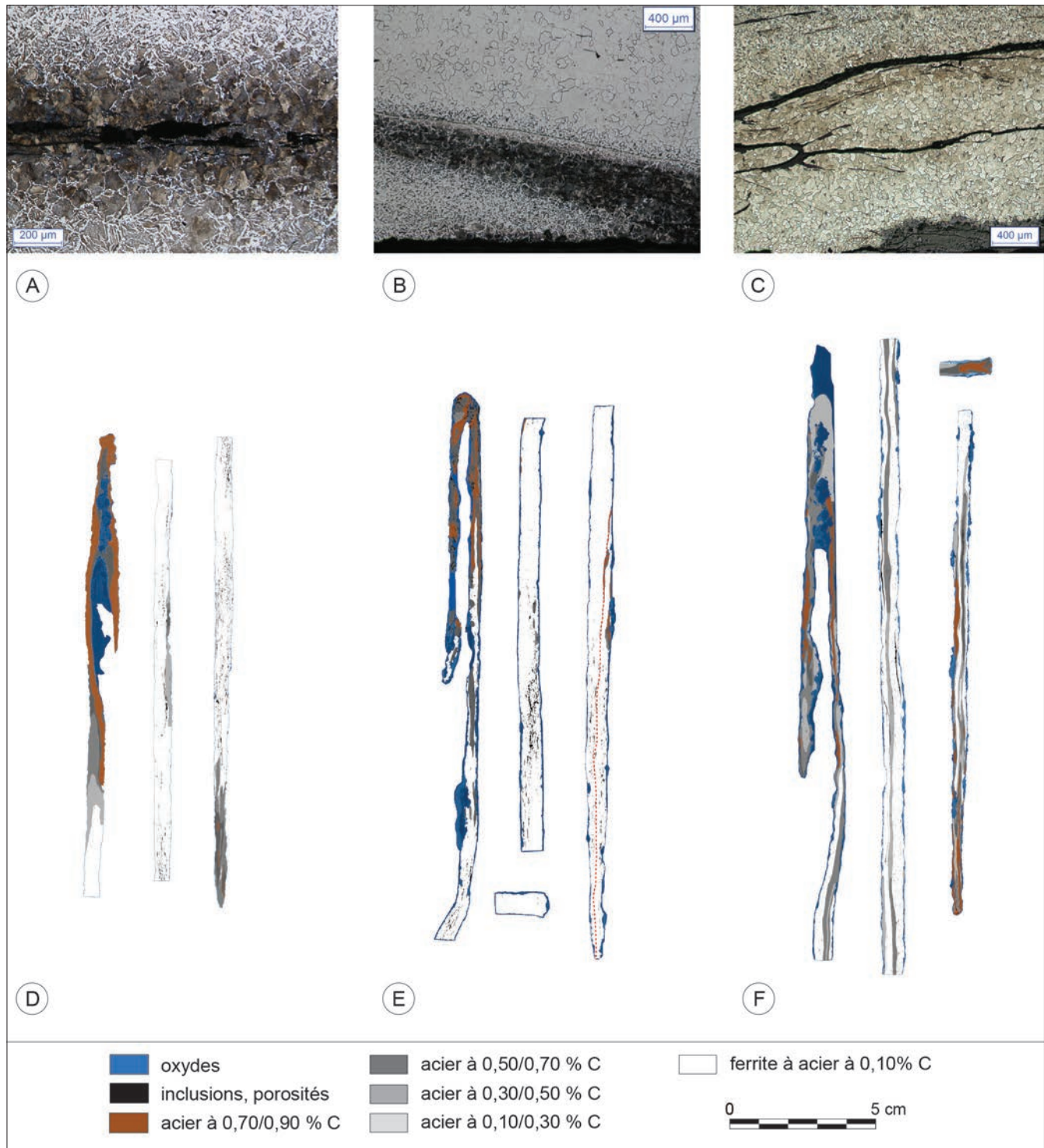


Fig. 8 – Analyses métallographiques : illustrations des principales techniques de fabrication attestées. Vues de sections analysées et microphotographies. **A**, hétérogénéité de structure, sans soudure ; **B**, soudures de deux feuilles de métal de structures distinctes ; **C**, superposition de soudures de feuilles et de replis ; **D**, déformation simple (SAO.85.01.01) ; **E**, déformation simple et un repli (SAL.24) ; **F**, replis successifs (VAL.01) (DAO et clichés : M. Berranger).

À un premier stade d'observation (fig. 9), on remarque que les inclusions d'un même objet et donc issues d'une même opération de réduction sont regroupées, ce qui est un bon indicateur de la fiabilité des analyses inclusionnaires.

Certaines barres se situent largement en périphérie de l'ACP, telles VAL.01, VAL.04, SAL.06, SAL.05 et SAO.85-01-01B sur les plans F1/F2, ou SAO.82-07-06A, D.99-17-05 et SAL.11 sur

les plans F1/F3. Cette répartition suggère des provenances différentes pour chacun de ces objets.

Les objets restants sont plus rapprochés les uns des autres, chacun conservant néanmoins son individualité, ce qui indiquerait l'usage d'un métal issu de réductions différentes pour chaque masse métallique. À ce groupe appartiennent les produits formés par deux masses de métal soudées, SAL.24 (a)

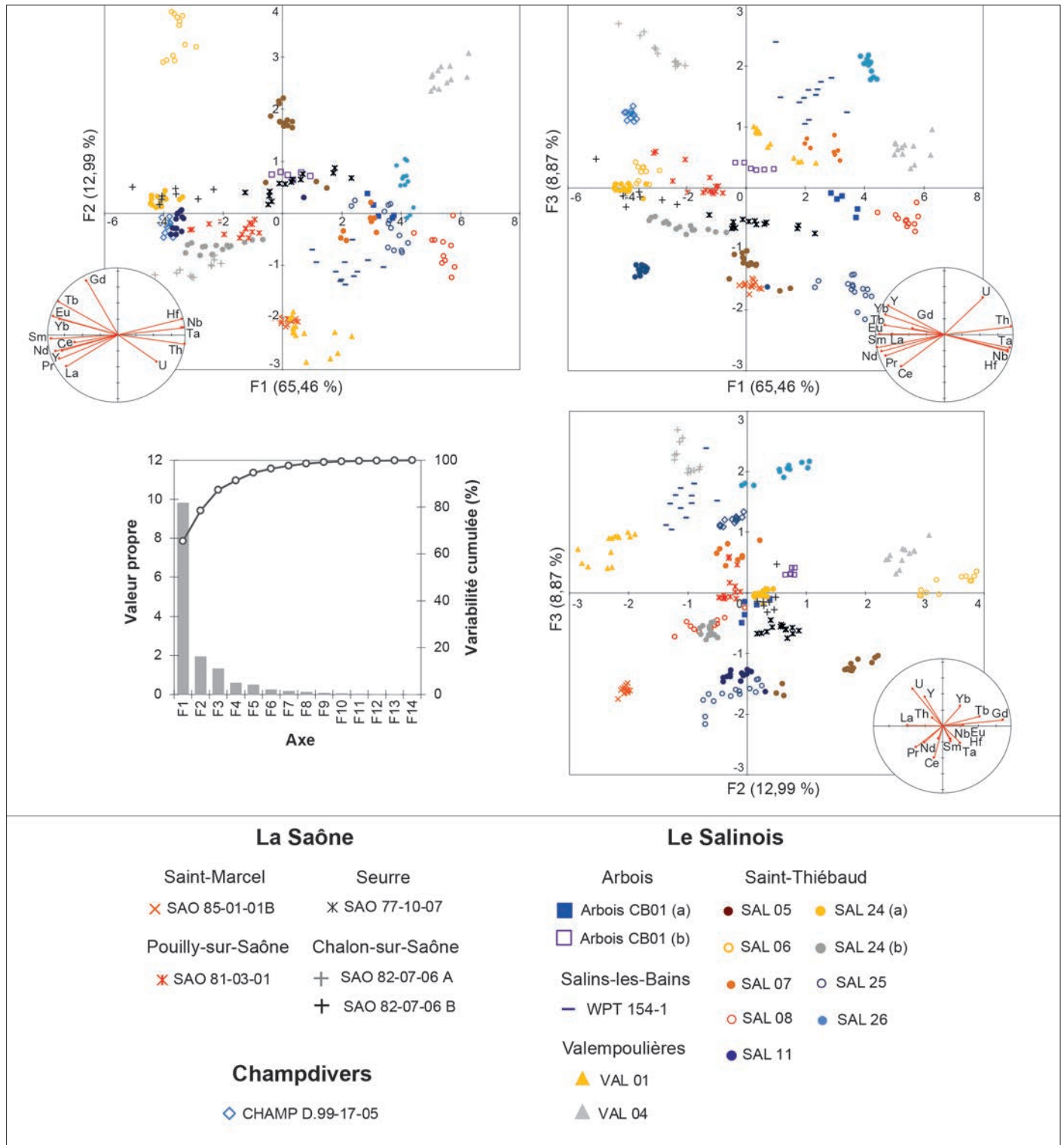


Fig. 9 – Analyse en composante principale sur les xij des demi-produits étudiés. Plans F1, F2 et F3. En bas à gauche, diagramme des valeurs propres et de la variabilité cumulée de chaque axe (DAO : M. Berranger, P. Dillmann, LMC-LAPA-IRAMAT-CNRS).

et (b) et Arbois CB01 (a) et (b), illustrant ainsi la possibilité de divers approvisionnements pour un même objet.

L'interprétation de ce type de distribution reste complexe. Traduit-elle des origines géographiques distinctes ou est-elle simplement le reflet d'une variabilité inhérente à différentes opérations de réduction, effectuées au sein d'un même espace ?

L'analyse des objets permet une première approche des modalités de constitution des dépôts. À Valempoulières, quel

que soit le plan de l'ACP considéré, les deux barres étudiées sont très distantes, ce qui indique que les masses de métal ont pu avoir des origines différentes. Il en est de même au Gué des Piles pour les barres SAO.82.07.06A et SAO.82.07.06B⁵,

5. A et B sont des numéros d'inventaires « réels » (deux objets venant d'un même site), tandis que (a) et (b) ont été ajoutés après analyses pour distinguer les différentes masses de métal soudées au sein d'un même objet.

Tabl. III – Résultats des datations radiocarbone. Calibrations et modélisation en R-Combine avec oxcal v.4.2.4.

Lieu de découverte	Numéro inventaire (numéro prélèvement)	Réf. LMC14	Masse de carbone extraite (mg)	Delta C13	Âge BP	Date calibrée (95,40 %) CalBC
le Pré des Noyers, Arbois (39)	ARBOIS CB01 (1)	SacA51840	0,46	-29	2355±30	-516 -379
	ARBOIS CB01 (2)	SacA51841	0,17	-29,60	2260±60	-415 -166
	Combine ARBOIS CB01					-478 -366
le Grand Glairon, Champdivers (39)	CHAMP D99.17.5 (1)	SacA51836	0,45	-29,50	2425±30	-749 -403
	CHAMP D99.17.5 (2)	SacA51837	0,43	-27,50	2930±30	-1220 -1025
le Dafoy, Saint-Thiébaud (39)	SAL.06 (1)	SacA38700	1,336	-26,60	2410±30	-739 -401
	SAL.06 (2)	SacA38701	1,722	-22,70	2380±30	-727 -393
	Combine SAL.06					-538 -401
	SAL.08 (1)	SacA38702	0,665	-23,80	2410±30	-739 -401
	SAL.08 (2)	SacA38703	0,751	-24,60	2440±35	-754 -407
	Combine SAL.08					-735 -406
	SAL.11 (1)	SacA38704	0,451	-29,30	2325±40	-516 -231
	SAL.11 (2)	SacA38705	0,337	-25,90	2345±30	-510 -371
Combine SAL.11					-475 -369	
Bois Bovard – est, Salins-les-Bains (39)	SALINS wpt154-1 (1)	SacA51838	0,77	-29,80	2410±30	-739 -401
	SALINS wpt154-1 (2)	SacA51839	0,75	-22,10	2435±30	-751 -406
	Combine SALINS wpt154-1					-733 -407
Gué des Piles, Chalon-sur-Saône (21)	SAO.82.7.6A (1)	SacA51834	0,74	-22,30	2435±30	-751 -406
	SAO.82.7.6A (2)	SacA51835	0,73	-27,90	2165±30	-359 -112
Pouilly-sur-Saône (71)	SAO.85.01.01 (1)	SacA51832	0,31	-34,90	2435±30	-751 -406
	SAO.85.01.01 (2)	SacA51833	1,34	-21,20	2315±30	-414 -235
Bois de Rafour, Valempoulières (39)	VAL.01 (1)	SacA38706	0,419	-25,50	2550±35	-804 -546
	VAL.01 (2)	SacA38707	0,641	-25,50	2630±30	-838 -777
	Combine VAL.01					-809 -773
	VAL.04 (1)	SacA46485	0,498	-31,30	2220±30	-375 -203
	VAL.04 (2)	SacA46486	0,363	-35,10	2300±30	-407 -234
Combine VAL.04					-396 -211	

immergées simultanément⁶. Cette diversité d’approvisionnement caractérise également le dépôt de Saint-Thiébaud, qui rassemble 26 barres distinctes. Au moins quatre grands ensembles de provenance peuvent être différenciés à partir des 8 barres étudiées. Les trois premiers sont constitués de barres situées en périphérie de l’ACP : SAL.06, SAL.05 et SAL.11. Le quatrième rassemble le reste des demi-produits, dont la distribution est relativement groupée, mais néanmoins bien différenciée par masse de métal.

Le traitement statistique des données chimiques incluant l’ensemble des barres met ainsi en évidence des provenances diversifiées entre dépôts, au sein d’un même dépôt et à l’échelle de l’objet. Il restera, dans la suite de la recherche, à déterminer l’ampleur de cette variété d’origines. S’agit-il d’ensembles de productions spatialement (et chimiquement) très différents, comme le suggèrent les objets les plus éloignés sur l’ACP ? Ou bien ces

masses de métal sont-elles issues de plusieurs opérations de réductions, proches spatialement, utilisant des minerais à forte variabilité intrinsèque de composition ?

CHRONOLOGIE

L’absence de datations assurées pour les pièces du corpus a conduit à l’utilisation de la méthode de datation radiocarbone des carbures de fer présents dans la matrice métallique. Dix barres provenant de sept sites distincts ont été datées (fig. 10).

Tous les prélèvements réalisés ont fourni une quantité suffisante de carbone (0,20 à 1,70 mg) pour permettre la datation de chaque objet et déterminer un intervalle de temps calibré à 95,40 % de probabilité (tabl. III) (fig. 10). Rappelons que deux dates ont été effectuées pour un même objet, ce qui autorise l’utilisation de l’outil *R-Combine* dans Oxcal afin d’obtenir

6. Voir *supra*, p. 173 : elles étaient collées par la corrosion.

une seule densité d'âge par objet. La moyenne calculée de cette façon est assortie d'une incertitude plus faible qui s'avère intéressante pour affiner la chronologie sur les périodes de fortes fluctuations du ^{14}C comme c'est le cas pour l'âge du Fer (Leroy *et al.* 2015a ; 2015b). Ce calcul a été réalisé sur les objets dont les deux intervalles de datation présentaient une zone de recouvrement suffisante pour valider un test de Chi2. Les barres CHAMP D.99.17.05, SAO.82.07.06A et SAO.85.01.01B ne présentent pas cette dernière condition.

En effet, les deux dates acquises pour la barre de Champdivers (CHAMP D.99.17.05) sont très différentes. La date CHAMP D.99.17.05 (2), située avant l'an -1000 cal. BC, est antérieure à la production du fer en Europe et n'a donc pas été retenue. Elle est certainement entachée d'une erreur que nous n'avons pu identifier pour le moment (pollution au moment du prélèvement ? préparation de l'échantillon au laboratoire ?). En revanche, le résultat de CHAMP D.99.17.05 (1) a été conservé car il est cohérent avec les résultats obtenus à partir des autres barres.

Pour celles en provenance de Chalons-sur-Saône (SAO.82.7.6A) et de Saint-Marcel (SAO.85.01.01B), les deux dates acquises pour le même objet présentent peu – voire ne présentent pas – de période de recouvrement. Pour les deux objets, l'un des prélèvements donne un intervalle s'étalant sur toute la période de Hallstatt, tandis que l'autre s'étend sur la première moitié de la période de La Tène. Ces dates restent toutefois cohérentes avec les résultats obtenus pour les autres barres, mais leur imprécision ne permet pas de trancher quant à leur attribution à une période de l'âge du Fer, précoce ou non. Il est également possible que leur date de production se situe autour de 400 cal. BC, soit une période comprise entre deux plateaux consécutifs dans la courbe de calibration.

La barre de Salins-les-Bains WPT154-1 ainsi que deux exemplaires issus du dépôt de Saint-Thiébaud (SAL.06 et SAL.08) se situent sur le plateau du premier âge du Fer. De ce même secteur de Salins-les-Bains, les barres SAL.11 et Arbois CB01 sont datées plus précisément de l'extrême fin de cette période, entre 475 et 365 cal. BC.

Les deux barres du dépôt de Valempoulières sont attribuées à des périodes distinctes. VAL.04 se situe durant une période récente par rapport au reste du corpus (entre 400 et 200 cal. BC).

En prenant en compte les deux dates, VAL.01 se situe entre 838 et 546 cal. BC et plus précisément autour de 800 cal. BC, à partir du *R-Combine*. L'ancienneté des dates obtenues pour ce dernier objet peut questionner leur validité, surtout pour la plus ancienne VAL.01 (2). Néanmoins, suffisamment de carbone a été prélevé pour chaque analyse et les datations restent en accord avec le reste du corpus de demi-produits analysés. Surtout, les deux dates réalisées individuellement sur cet objet sont cohérentes entre elles, alors que les prélèvements ont été traités séparément.

Les chronologies obtenues permettent d'attribuer la majorité de ces barres à une période ancienne de l'âge du Fer, comprise entre le VIII^e s. av. J.-C. et le I^{er} s. av. J.-C. L'imprécision est due à la courbe de calibration du radiocarbone qui présente deux larges périodes de plateaux durant le Hallstatt et La Tène. Cinq barres peuvent néanmoins être situées assez précisément : VAL.01 figurerait parmi les plus anciennes, autour du VIII^e s. av. J.-C. Arbois CB01, SAL.11 et SAL.06 sont du courant des V^e-IV^e s. av. J.-C. et VAL.04 est attribuée aux IV^e-III^e s.

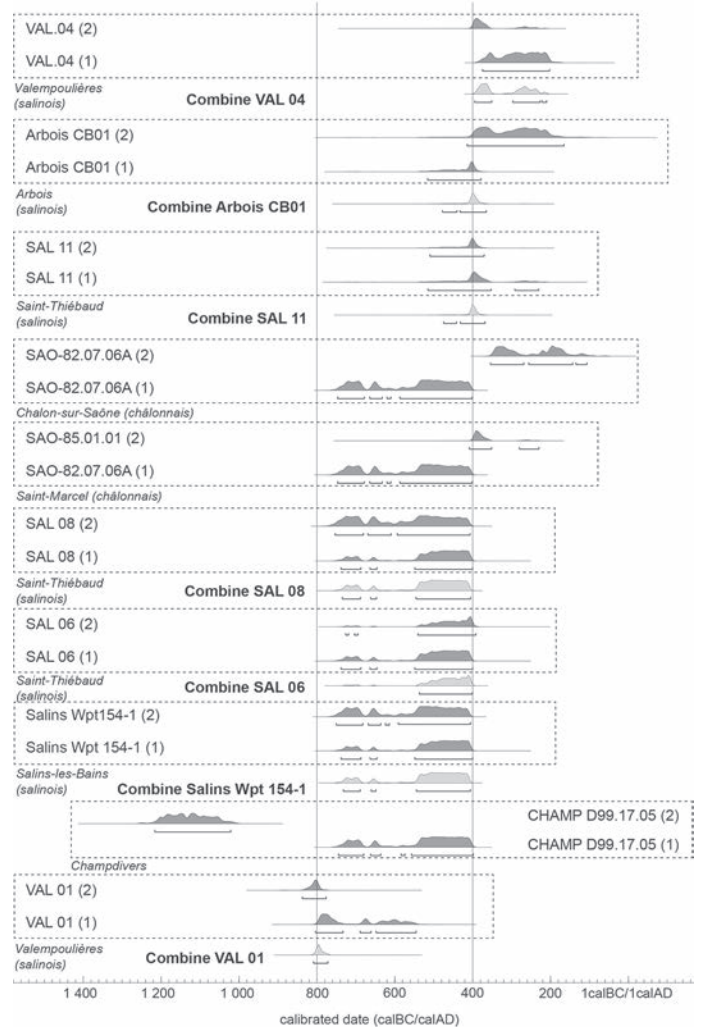


Fig. 10 – Dates radiocarbones calibrées (à 95,40 % de probabilité) et modélisation des dates (*R-Combine*) obtenues sur les objets de type currency-bar CBE1 et CBE3 du corpus. Calibration et modélisation avec *Oxcal v.4.2.4*. (d'après Reimer *et al.* 2013 ; Bronk Ramsey 2017).

SYNTHÈSE

UNE RÉÉVALUATION DE LA CHRONOLOGIE DES DEMI-PRODUITS DES ÂGES DU FER

DE NOUVELLES DONNÉES SUR LA CHRONOLOGIE DES DEMI-PRODUITS DE TYPE FER PLAT À EXTRÉMITÉ ROULÉE OU CURRENCY-BAR

Dans un récent bilan sont recensées les découvertes de fers plats à extrémité roulée en contextes datés (Berranger 2014, p. 120-122, fig. 41). Leur nombre reste faible en comparaison de celui des objets non datés, retrouvés groupés et isolés de toute autre occupation humaine. L'établissement de la datation repose donc sur une cinquantaine de sites (à l'échelle européenne) dont seule une trentaine dispose de données chronologiques resserrées. La quasi-totalité de ces découvertes concerne des contextes compris entre La Tène B2 et La Tène D2b, soit entre la fin du IV^e et la seconde moitié du I^{er} s. av. J.-C. La faible quantité de données ne permet pas d'affiner leur positionnement chronologique en fonction de l'origine géographique ou de la morpho-typologie.

Les datations radiocarbone effectuées sur la matrice métallique des objets étudiés les situent plus tôt que les contextes archéologiques rencontrés jusqu'alors pour ce type d'artefacts. Seule VAL.04 pourrait être datée au plus tôt dans le III^e s. av. J.-C. comme certains contextes archéologiques. C'est également le cas de SAO.82.07.06A et SAO.85.01.01, mais l'imprécision de leurs datations radiocarbone comprises entre 751 et 235/112 cal. BC ne permet pas de les retenir pour affiner la chronologie de ces objets : rappelons qu'il est néanmoins possible que ces barres se situent autour de 400 cal. BC, période comprise entre deux plateaux consécutifs dans la courbe de calibration.

Les datations des autres barres les situent durant des périodes antérieures (fig. 10). Arbois CB01 et SAL.11 sont datées, de manière assez précise, d'une même période comprise entre 475 cal. BC et 365 cal. BC.

SAL.08 et SAL.06, issues du même dépôt de Saint-Thiébaud que SAL.11 et typologiquement identiques, ont vraisemblablement été mises en forme de manière synchrone. Les datations de SAL.08 et SAL.06, très étalées en raison des fortes fluctuations du ¹⁴C à cette période (entre 735 et 406 cal. BC pour SAL.08 et entre 538 et 401 cal. BC pour SAL.06) recouvrent la datation de SAL.11 entre 475 et 400 cal. BC. Cet intervalle correspond probablement à la période durant laquelle ces trois objets ont été fabriqués.

Deux autres barres fournissent des dates situées sur le plateau du premier âge du Fer : WPT154-1 et CHAMP. D.99.17.05, entre 750 et 400 cal. BC. Enfin, les dates obtenues pour une dernière barre, VAL.01 la décalent vers une période ancienne du premier âge du Fer situé autour de 800 cal. BC.

Si l'on résume la chronologie de chaque dépôt, l'ensemble de Valempoulières daté entre le III^e et le II^e s. av. J.-C. d'après VAL.04 serait le plus récent. Les dépôts d'Arbois et de Saint-Thiébaud seraient mis en place durant une même phase autour de 400 cal. BC, quant à ceux de Bois Bovard et de Champdivers, ils interviennent au cours de cette même période, voire un peu plus tôt encore entre le VIII^e et le V^e s. av. J.-C. Enfin, les dépôts de Chalon-sur-Saône et de Saint-Marcel ne peuvent pas être datés plus précisément qu'entre le VIII^e et le II^e s. av. J.-C.

À l'exception de VAL.01, plus ancienne, notons que les densités d'âge de tous les objets se recoupent autour de 400 cal. BC. Il reste donc possible que l'ensemble de ces *currency-bars* ait été produit durant cette même période, même si le niveau de précision des datations radiocarbone ne permet pas d'assurer cette hypothèse.

LE RECYCLAGE D'UN VIEIL OBJET

Le cas de la barre VAL.01, datée autour de 800 cal. BC, mérite d'être discuté plus en détail. Cet objet a été retrouvé aux côtés de trois autres barres identiques, dont VAL.04 attribuée à une période plus récente (396 - 211 cal. BC). Malgré l'ancienneté des dates radiocarbone obtenues pour VAL.01, leurs résultats ont été considérés comme exploitables, étant donné la quantité suffisante de carbone prélevée (tabl. III), la cohérence des résultats avec le reste du corpus et celle des datations effectuées sur ce même objet (voir *supra*, p. 179). La proximité à la fois morphologique et métrologique des barres constituant de lot de Valempoulières indique leur mise en forme en fonction

d'un même standard et donc de façon synchrone, probablement autour des IV^e-III^e s. av. J.-C. d'après la date la plus récente fournie par VAL.04. Une masse de fer brut ancienne, jusqu'alors non transformée, a pu être utilisée pour la fabrication de la barre VAL.01. Néanmoins cette dernière, comme VAL.04, se singularise parmi le lot de *currency-bars* étudiés par une mise en forme spécifique par replis successifs – une technique qui présente l'intérêt d'homogénéiser un produit potentiellement hétérogène, tout en « modelant » sa forme. Cette caractéristique amène à considérer l'hypothèse du recyclage d'un vieil objet en fer, retravaillé en forge. Sachant que VAL.01 est constituée d'une unique masse de métal, il s'agirait d'un objet massif produit autour du VIII^e s. av. J.-C., période durant laquelle la diffusion du fer est loin d'être quantitativement significative et relève exclusivement de la sphère aristocratique (Brun *et al.* 2009, p. 481).

Si la datation de VAL.01 ne peut être retenue comme caractéristique d'une période durant laquelle étaient produits les *currency-bars*, elle nous éclaire peut-être sur la possibilité de leur obtention à partir d'objets massifs anciens, éventuellement connotés d'une valeur symbolique particulière. La réutilisation et la manipulation d'objets anciens sont régulièrement constatées dans les sociétés protohistoriques, bien qu'il reste difficile d'en préciser les motivations et les processus mémoriels en jeu, étant donné le polymorphisme de la mémoire attachée aux objets (Verger 2019, p. 237).

PROPOSITION DE TYPO-CHRONOLOGIE DES DEMI-PRODUITS DES ÂGES DU FER

Un décalage chronologique entre la datation radiocarbone des demi-produits à extrémité roulée et celle provenant des contextes archéologiques est constatée. Il convient cependant de souligner que la première méthode date le combustible utilisé lors de la période de fabrication des masses métalliques elles-mêmes, tandis que les contextes documentent leur période d'abandon. Ajoutons que dans la plupart des cas, les contextes de découverte des demi-produits à extrémité roulée sont symptomatiques de la soustraction de ces objets aux cycles économiques ordinaires : lieux de pratiques cérémonielles, dépôts en milieux humides, sanctuaires, dépôts intentionnels en habitats. L'annexe 1 recense les contextes archéologiques, à l'échelle européenne, livrant des barres de type CBE1 et CBE3⁷. Aucune de ces barres ne provient d'ensemble clos, exception faite de celle du Chêne, dans l'Aube. La plupart des sites livrant des données chronologiques resserrées sont datés de La Tène B2/C1 (le Chêne, Bourguignon-lès-Morey, La Tène en Suisse, Ulversheim en Allemagne, etc.). Dans ces cas précis, la datation des contextes archéologiques est cohérente avec les datations les plus récentes fournies par la méthode radiocarbone. La présence de barres de type CBE1 et CBE3 à des époques plus tardives est moins fréquente. Il s'agit le plus souvent de sites datés avec une faible précision ou connaissant de longues périodes de fréquentation, comme sur le sanctuaire de La Villeneuve-au-Châtelot, ou des dépôts en habitat tels qu'à La Grande Borne, à Clermont-Ferrand. Dans ce type de cas, les données disponibles ne permettent pas de

7. Ces types ont été identifiés lorsqu'une illustration était disponible. Pour l'inventaire de l'ensemble des *currency-bars* se reporter à Berranger 2014, annexes 1 et 2.

trancher entre l'hypothèse de pratiques régionales décalées dans le temps et la possibilité d'une remobilisation d'objets précédemment mis en circulation.

À partir des II^e-I^{er} s. av. J.-C., le nombre de contextes archéologiques bien datés ayant révélé des demi-produits à extrémité roulée se multiplie (Berranger 2014, p. 120-122, fig. 41) et confirme la circulation de ce type d'objet jusqu'à la fin du second âge du Fer. Il s'agit néanmoins dans la plupart des cas de demi-produits non plus de type CBE1 et CBE3, mais bien différents de ceux considérés jusqu'à présent. Leur masse est plus réduite (une centaine de grammes) et la qualité d'exécution particulièrement poussée (mise en forme par replis, cémentation périphérique : Berranger 2014, p. 78-79). Appelées « barres à douille » et essentiellement attribuées au type BAD1, elles se concentrent surtout dans le Bassin parisien. Les données issues des contextes archéologiques permettent également de rattacher d'autres types de *currency-bars* à la fin de cette période, par exemple ceux de type CBL5 caractérisés par une extrémité roulée bien plus large, connus dans la moitié nord-ouest de la Gaule, ainsi qu'une grande partie des exemplaires de l'île de Bretagne (Hingley 1990).

D'autres catégories de demi-produits circulent durant les âges du Fer : des *Hooked Billet* (avec une extrémité en « crochet ») ou des barres bipyramidées, mais aussi des formes en usage sur de très longues périodes comme des barres quadrangulaires et des barres à soie. Leur typologie et leur chronologie, basées sur l'étude des contextes de découverte, ont fait l'objet d'études antérieures (Berranger 2014, p. 114-124, fig. 16 et 42).

Récemment, de nouvelles données ont été fournies par la réalisation de datations absolues⁸ (Berranger 2014, p. 147, annexe 1, note 4 ; Bauvais *et al.* 2015 ; Berranger *et al.* 2017a, fig. 6 ; 2017b, fig. 11). Elles ont permis d'attribuer définitivement les demi-produits bipyramidés au premier âge du Fer et d'écarter ainsi l'hypothèse parfois avancée, sur la base de contextes mal établis, d'une datation romaine (Kleeman 1981). Nous intégrons ici les résultats déjà publiés et ceux disponibles pour les corpus de bipyramidés de la région Bourgogne-Franche-Comté, en précisant que l'ensemble des résultats acquis à l'échelle de la quinzaine de demi-produits datés est cohérent. Toutes les dates couvrent en effet l'ensemble du plateau du premier âge du Fer (fig. 11). L'exemplaire Durrenentzen 1 se situe au tout début de la période autour de 800 cal. BC, mais la plupart des densités d'âge affinées par le *R-Combine* sont comprises entre 800 et 500 cal. BC, soit durant une période plus ancienne que celle reconnue pour les *currency-bars* de type CBE1 et CBE3.

À la lumière des résultats nouvellement acquis, une typo-chronologie des demi-produits peut être proposée en fonction de trois grandes périodes (fig. 12). L'hypothèse d'une plus grande ancienneté des demi-produits bipyramidés par rapport aux fers plats à extrémité roulée a déjà été formulée et reste valable (Berranger 2014, p. 122-123). Il faut cependant vieillir la période d'utilisation de ces deux catégories de demi-

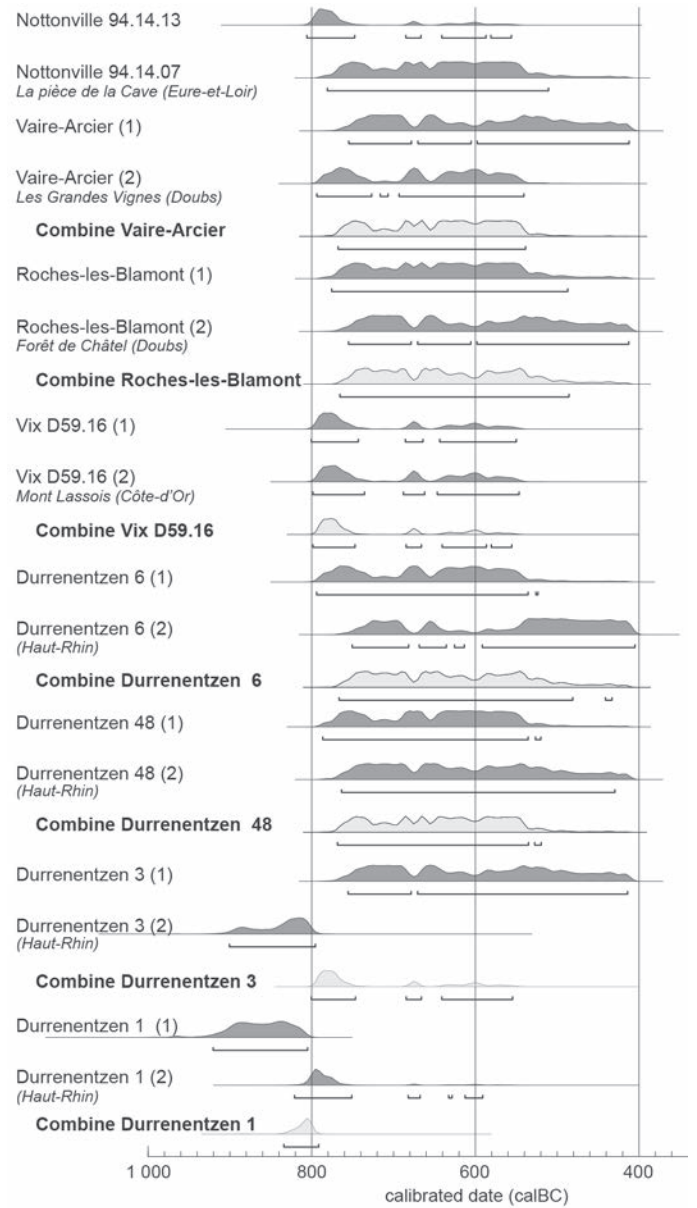


Fig. 11 – Dates radiocarbone calibrées (à 95,40 % de probabilité) et modélisation des dates (R-Combine) obtenues sur des demi-produits bipyramidés (Durrenentzen : d'après Berranger *et al.* 2017b, fig. 11 ; Nottonville : Berranger 2014, annexe 1, Berranger *et al.* 2017a, fig. 6 ; autres barres : Berranger inédit). Calibration et modélisation avec Oxcal v.4.2.4. (Reimer *et al.* 2013 ; Bronk Ramsey 2017).

produits et envisager un possible recouvrement de leurs périodes d'utilisation. Les bipyramidés se rattacheraient probablement à une période ancienne du premier âge du Fer, comprise entre 800 et 500 cal. BC. Parmi les *currency-bars*, les variantes CBE1 et CBE3 seraient apparues bien avant et se rattacheraient à une période principalement comprise entre 550 et 200 cal. BC. Les deux derniers siècles avant J.-C. verraient l'apparition de nouvelles formes de fers plats à extrémité roulée, tels les *currency-bars* de type CBL5 et les barres à douille. Rappelons le caractère régional de ces variantes (Berranger, Fluzin 2013, p. 622-624, fig. 7 et 9). Les *Hooked Billet*, dont seuls un petit nombre d'exemplaires nous est parvenu, connaissent quant à eux une longue période d'utilisation, se poursuivant jusque durant l'époque antique.

8. Datations du carbone piégé dans la matrice métallique réalisées pour 12 exemplaires dans le cadre des programmes de recherches ANR/DFG CIPIA, coordonnés par P. Dillmann et R. Schwab (Bauvais *et al.* 2015) et le PCR *La sidérurgie ancienne en Bourgogne-Franche-Comté* coordonné par M. Berranger. Datation par prélèvement de charbon dans les porosités non métalliques de 2 exemplaires du dépôt de Nottonville, en Eure-et-Loir (Berranger 2014, annexe 1).

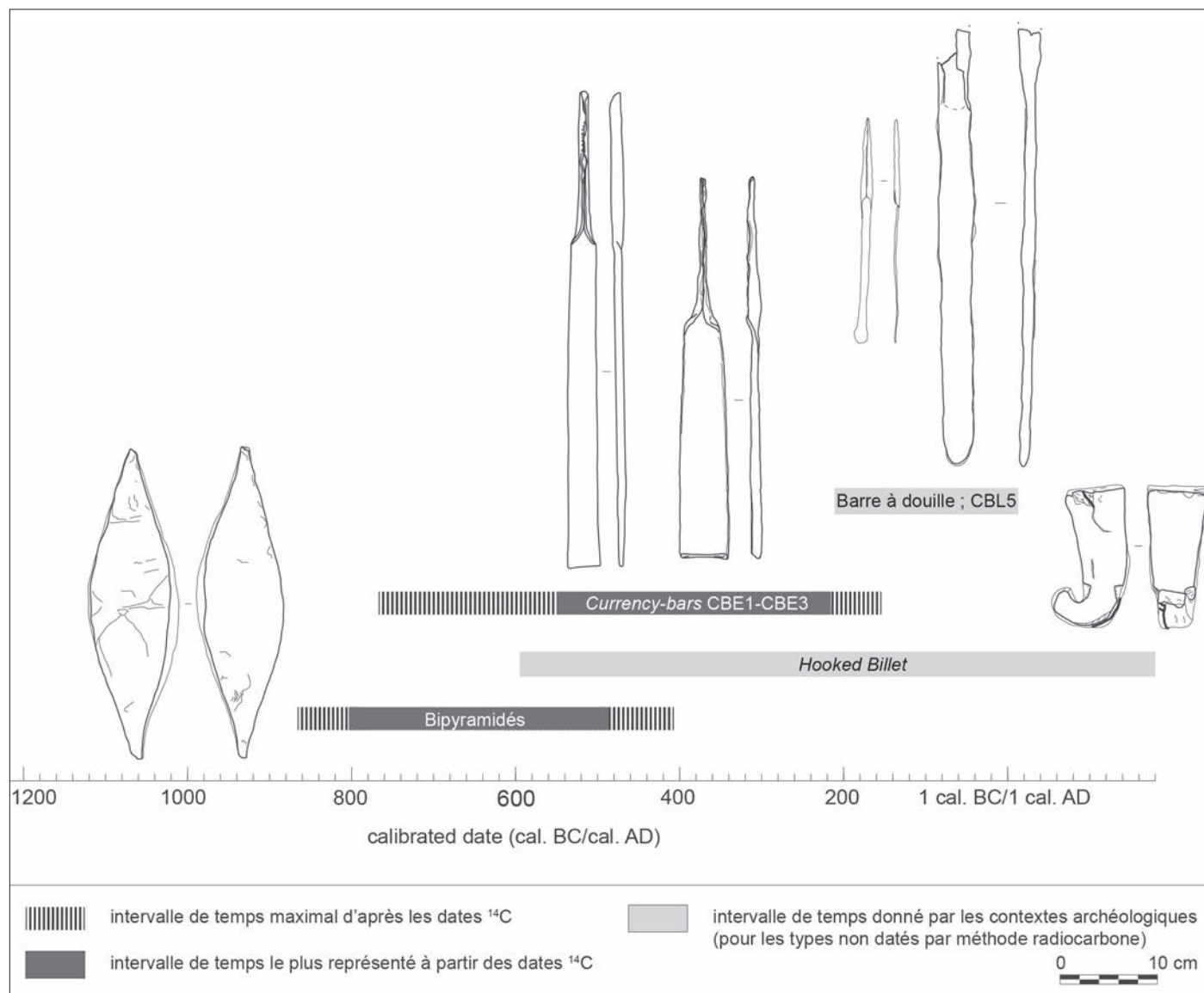


Fig. 12 – Proposition de typo-chronologie des demi-produits datés des âges du Fer (DAO : M. Berranger).

TRAJECTOIRES DE VIE DES DEMI-PRODUITS : DE LEUR PRODUCTION À LEUR DÉPÔT

DE LA MASSE DE MÉTAL BRUT AU DEMI-PRODUIT

L'étude interdisciplinaire menée sur le corpus de demi-produits à extrémité roulée a permis de collecter des informations sur l'approvisionnement en métal et la nature des modifications qu'ils ont subies par la suite en forge. Ce sont autant de données qui fournissent des informations sur leurs conditions d'échanges et de production.

Les résultats des analyses chimiques indiquent des approvisionnements auprès de sources diversifiées, y compris pour les objets constitutifs d'un unique dépôt comme à Saint-Thiébaud, Valempoulières et au Gué des Piles, à Chalon-sur-Saône. Les zones de découverte des *currency-bars* du Chalonnais et du Salinois sont éloignées des grands centres de production connus pour la période (Berranger *et al.* 2017a). Cette multiplicité de provenances pourrait s'expliquer par des approvisionnements à partir de divers grands centres de production éloignés ou par

l'existence d'une production locale, disséminée à petite échelle. On peut également considérer l'hypothèse selon laquelle cette variabilité chimique résulte des modalités de constitution de ces dépôts. Plusieurs acteurs (communautés, individus ?) auraient ainsi pu participer au rassemblement de la matière première nécessaire à la constitution desdits dépôts, avant la mise en forme des barres elles-mêmes.

Cette diversité dans l'approvisionnement en métal est déjà constatée pour des périodes anciennes de l'âge du Fer (Berranger *et al.* 2017b) et s'avère être régulièrement documentée en métallurgie du fer, que ce soit pour la période antique (Pagès *et al.* 2011, p. 1248-1249) ou médiévale (Disser *et al.* 2016). Elle induit une spécialisation des différents acteurs de la chaîne opératoire (étapes de réduction/compactage-épuraison/mise en forme d'objet) et dans certains cas révèle un approvisionnement dont les logiques échappent à la seule proximité géographique des sources de production (Disser *et al.* 2016, p. 158).

Si la matière première utilisée pour la fabrication de ces barres s'avère hétérogène tant par sa qualité que par sa provenance, la fabrication de ces demi-produits est en revanche

soumise à une norme. Cette caractéristique, souvent soulignée (Kleeman 1981 ; Crew 1994 ; Berranger 2014, p. 88 ; Berranger *et al.* 2017b), est encore mise en évidence à partir des ensembles étudiés ici. Les caractéristiques typologiques et métrologiques révèlent en effet une conformation à des standards de fabrication communs. De plus, l'excellente qualité d'épuration est typique de l'ensemble des barres analysées. Bien qu'inhérente à l'obtention d'un produit plat et fin, cette qualité d'épuration s'accompagne d'un grand soin accordé à la mise en forme, propriété qui devait être associée à ces types de demi-produits.

Une plus grande proximité morphologique, métrologique et même de technique de fabrication est cependant constatée pour les objets provenant d'un même dépôt (voir *supra*, p. 173, fig. 6). C'est aussi le cas pour des objets fabriqués à partir de produits métalliques de provenances et de qualités différentes, comme à Valempoulières, Saint-Thiébaud et Chalon-sur-Saône. Les masses de métal utilisées pour la fabrication des demi-produits circulaient donc probablement sous une forme brute ou peu travaillée, éventuellement sur de longues distances, avant d'être transformées en demi-produits dans des ateliers spécialisés. L'homogénéité morphologique entre les exemplaires des différents ensembles étudiés pourrait ici plaider pour une localisation des ateliers de fabrication (les forges) dans le secteur de découverte de ces objets, qui constitue le cœur d'une concentration des demi-produits de types CBE1 et CBE3.

CHRONOLOGIE ET MODES DE CONSTITUTION DES DÉPÔTS

Peu d'informations sont disponibles sur la vie de ces objets après leur mise en forme. Ont-ils été immédiatement déposés après fabrication ? Ont-ils d'abord circulé ? On constate l'absence générale de traces témoignant de leur transformation en forge. Seuls certains exemplaires de Champdivers présentent des torsions, d'un type fréquemment observé sur les objets déposés en sanctuaires et qui ne résultent pas d'une activité artisanale. L'état de surface de ces objets en fer, peu sujets à l'usure, ne fournit pas d'informations supplémentaires.

L'homogénéité morphologique des objets présents au sein d'un même dépôt a été déjà soulignée à plusieurs reprises, que ce soit en contexte terrestre ou aquatique.

Pour les objets de la Saône, aucun indice supplémentaire ne permet d'affiner la datation de la période de leur immersion durant les âges du Fer, avant le II^e s. av. J.-C.⁹ Cette homogénéité en un même lieu plaiderait pour leur dépôt simultané ou au cours d'épisodes très rapprochés. Il n'est cependant pas réellement possible d'appréhender comparativement la chronologie des différents dépôts, étant donné les légères variations constatées entre demi-produits issus de lieux distincts et la présence dans ces lieux d'objets rattachés à différentes périodes.

À Champdivers, la barre datée du premier âge du Fer par radiocarbone fait partie des produits en fer les plus anciens d'un ensemble déposé en milieu humide (Daubigny *et al.* 2007). Deux hypothèses peuvent être considérées : cette barre (ainsi que les bipyramidés retrouvés concomitamment) est arrivée dans cette zone humide autour de 400 av. J.-C., avec d'autres

éléments attribués à La Tène A. La rareté de ces derniers et l'abondance de ceux attribués à La Tène B2/C1 et surtout à La Tène D amènent également à considérer que cet objet *a priori* archaïque a pu être abandonné plus tardivement dans le courant du second âge du Fer. La découverte, dans un dépôt, d'artefacts appartenant à des périodes différentes n'est pas propre au contexte de Champdivers : elle est assez régulièrement rencontrée dans les sanctuaires gaulois (Lejars 2019 ; Nouvel, Thivet 2019). Dans ce type de lieux, il est difficile de trancher entre l'hypothèse de leur récupération lors de la destruction d'un dépôt antérieur, ou celle de leur introduction au même moment que les objets plus tardifs. Dans l'un ou l'autre des cas, leur récupération n'est pas anodine et témoigne d'activités rituelles durables, concernant parfois des objets-symboles ou *sacra* associés au culte de la divinité (Lejars 2019). L'hypothèse d'une fonction mémorielle peut être ici envisagée et n'est pas sans rappeler celle déjà considérée pour l'une des barres du dépôt de Valempoulières (VAL.01), fabriquée à partir d'une masse de métal, éventuellement rattachée à la sphère aristocratique, en circulation au début du premier âge du Fer (voir *supra*, p. 180).

La chronologie obtenue pour les objets de la région de Salins-les-Bains s'échelonne sur les deux âges du Fer du fait de l'imprécision des résultats radiocarbone. Néanmoins, les mêmes datations très resserrées, entre 475 et 365 cal. BC, obtenues à partir d'une barre issue du dépôt de Saint-Thiébaud et d'une autre du dépôt d'Arbois, pourraient correspondre aux périodes de mise en place de ces dépôts. Les dépôts de Valempoulières et de Bois Bovard, à Salins-les-Bains, ont pu être effectués durant cette même période, même si les densités d'âge sont plus étalées. Il s'agit, dans chacun des cas de figure, d'ensembles cohérents comprenant des objets issus d'une même tradition de forge.

Ces découvertes interviennent dans une région possédant un double atout : l'exploitation des ressources salées locales et le contrôle de voies de communication reliant le Jura, le plateau Suisse, l'Italie du Nord, la vallée du Rhône et les plaines de la Saône. L'émergence de lignées aristocratiques manifestant leur pouvoir au sein de sépultures tumulaires accompagnées d'un riche mobilier, voire d'un char, est visible dès l'âge du Bronze (Piningre, Ganard 2004, p. 393-398). Elle s'accompagne par l'occupation discontinue, à Salins-les-Bains, du Camp du Château – en hauteur et fortifié – et par la mise en place de séries de dépôts d'objets métalliques, correspondant à de possibles marqueurs territoriaux pour l'âge du Bronze (Gauthier, Piningre 2016). Pour le Hallstatt D2-D3 et La Tène A, la proximité des nécropoles tumulaires et la découverte d'importations méditerranéennes au sein de cet habitat permettent de l'intégrer au modèle des résidences aristocratiques du premier âge du Fer (Piningre 2016). Il est tentant de rapprocher les derniers temps de l'occupation protohistorique du Camp du Château dans le courant de La Tène A avec la mise en place de ces dépôts de *currency-bars*, dont au moins deux peuvent être datés des environs de 400 av. J.-C. Il pourrait alors s'agir des dernières manifestations ostentatoires contemporaines des profondes modifications économiques et sociales intervenant dans le courant des v^e-iv^e s. av. J.-C. (Brun 2015, p. 52).

9. Datations situées sur les deux plateaux des âges du Fer, voir *supra*, p. 179, fig. 10.

UNE MULTIPLICITÉ DES FORMES DE DÉPÔTS DE MATIÈRES PREMIÈRES MÉTALLIQUES PRÉMONÉTAIRES DURANT LE PREMIER ÂGE DU FER

Qu'ils prennent une forme bipyramidée ou celle d'un fer plat avec une extrémité roulée, les demi-produits de fer du premier âge du Fer ont fait l'objet de manipulations similaires. Ils sont abandonnés en séries d'objets identiques, à l'écart de tout autre occupation humaine avérée, sans autre artefact associé. Ces caractéristiques rappellent également les dépôts mono-spécifiques de haches à douille armoricaines en bronze du premier âge du Fer (Gomez de Soto 2015 ; Milcent 2017).

L'abandon de bipyramidés, puis un peu plus tardivement dans le premier âge du fer de *currency-bars* participerait ainsi du phénomène plus général de reprise de l'enfouissement d'objets en métal en Gaule dans le courant du Hallstatt D. Durant une période où l'usage du fer supplante progressivement celui des alliages à base de cuivre, les dépôts de demi-produits de fer constitueraient un prolongement de pratiques antérieures, même si l'abandon de ces différents types de produits a pu s'effectuer de manière contemporaine, si l'on considère que les haches en bronze ont pu circuler jusque pendant la première moitié du ^v s. av. J.-C. (Gomez de Soto 2015 ; Milcent 2017). Les dépôts de la Pièce de la Cave, à Nottonville, qui rassemblent en un même lieu deux dépôts totalisant une centaine de haches à douille en fer datées du Hallstatt D/La Tène A (Lelong *et al.* 1992) et une vingtaine de demi-produits bipyramidés, datés par méthode radiocarbone sur le plateau du premier âge du Fer (fig. 11), illustrent encore plus clairement la parenté entre ces deux phénomènes.

La péninsule armoricaine concentre les dépôts de haches à douille au point que l'on associe le qualificatif « armoricain » à ces objets. Les bipyramidés, premier type de demi-produits ferreux mis en circulation, sont également bien représentés en Armorique. Néanmoins c'est surtout l'aire nord-alpine, très marginalement touchée par l'abandon de haches à douilles (Warmenbol 2012-2013), qui rassemble les plus grandes quantités de dépôts de bipyramidés. Dans le contexte de l'apparition du nouveau matériau ferreux, ces claires différences géographiques pourraient alors témoigner de choix culturels en lien avec la réorganisation des réseaux d'échanges.

L'absence de possibilité d'utilisation technique des haches à douille armoricaines, trop riches en plomb, aux parois trop fines, mal coulées puis miniaturisées à la fin de la période, est depuis longtemps mise en exergue, à l'appui de leur identification en tant que produit paléomonnaire (Bourhis, Briard 1977 ; Briard 2001). Pierre-Yves Milcent a souligné récemment que, perdant leur valeur d'usage, elles n'auraient conservé qu'une valeur d'échange prémonétaire (Milcent 2017, p. 728-729). Soumis aux mêmes pratiques d'abandon que ces haches, les demi-produits de fer n'ont pas, quant à eux, une morphologie destinée à évoquer d'autre rôle que celui de réserve de valeur. Cette fonction est indubitable pour la période considérée : la masse d'un seul demi-produit, qu'il soit bipyramidé (masse moyenne autour de 4 à 5 kg) ou un fer plat à extrémité roulée (moyenne des exemplaires étudiés : 700 g), dépasse la masse totale des objets en fer retrouvés dans l'habitat de cette période – à l'exception de la Heuneburg qui rassemble 12 kg de fer, les habitats ne conservent généralement pas plus de 1 kg de fer durant le Hallstatt D/La Tène A (Dubreucq 2013, fig. 103).

Formes, masses voire qualités du métal connaissent d'ailleurs une franche standardisation pour ces demi-produits, de quelque type qu'ils soient. En tant que réelles réserves de valeur, surtout pour ces périodes anciennes, ils constituent alors de bons candidats pour remplir une fonction prémonétaire, non pour le paiement des objets du quotidien mais pour des occasions plus spécifiques, telles par exemple la rétribution des amendes, le prix du sang ou celui de la fiancée (Testart dir. 2001 ; Milcent 2017, p. 729-732). Réserves de valeur durant une période où la consommation du fer reste limitée à une élite, témoins de savoir-faire spécialisés, possibles objets-symboles ou mémoriels en raison de leur conservation sur de longues périodes avant leur dépôt ritualisé (possiblement comme à Champdivers), ou leur obtention à partir d'objets aristocratiques, potentiellement comme à Valempoulières : autant d'indices qui témoignent de la place spécifique qui était accordée à ces objets.

Durant la période considérée, une succession dans les modalités de constitution des dépôts de demi-produit est perceptible. Dans un premier temps, ils incluent des masses de métal conséquentes, prenant la forme de bipyramidés de qualité variable – variabilité constatée parfois au sein d'un même dépôt (Berranger *et al.* 2017b). Puis ce sont des produits plus légers mais de qualité supérieure représentés par les *currency-bars* qui sont déposés. Alors que la diffusion du métal touche une plus grande partie de la société, la valeur de ces dépôts ne semble plus tant représentée par la masse de métal sacrifiée que par la qualité du produit, résultant de la maîtrise d'un savoir-faire spécifique. À la fin de l'âge du Fer, le dépôt en sanctuaires de séries de demi-produits de fer de type barre à douille, pesant une centaine de grammes mais de très grande qualité (Berranger, Fluzin 2011), traduirait une nouvelle valorisation de la maîtrise technique des artisans face à l'accroissement de la consommation du fer.

*

* *

L'étude interdisciplinaire menée sur un lot de 73 demi-produits à extrémité roulée, également appelés *currency-bars*, provenant du cours de la Saône, d'un bras mort du Doubs à Champdivers et d'une série de dépôts terrestres effectués dans la région de Salins-les-Bains, a permis de mieux caractériser leurs conditions de fabrication, d'échange et de les dater par méthode radiocarbone.

Ces datations, qui couvrent principalement le premier âge du Fer et s'étendent jusqu'au ⁱⁱⁱ s. av. J.-C., permettent de réévaluer la chronologie de ces objets attribués jusqu'à présent exclusivement au second âge du Fer, sur la seule base des contextes de découverte.

Une nouvelle typo-chronologie en trois phases est proposée. Une période ancienne couvrant le premier âge du Fer, serait caractérisée par la circulation de demi-produits bipyramidés massifs. Une deuxième période, débutant durant une phase tardive du premier âge du Fer et se poursuivant jusqu'au ⁱⁱⁱ s. av. J.-C., correspondrait à la mise en circulation des demi-produits de type *currency-bar* CBE1 et CBE3. Une dernière phase enfin, couvrant les deux derniers siècles av. J.-C., serait témoin d'une circulation de demi-produits plus légers et de plus grande qualité, prenant la forme de « barres à douille » ainsi

que d'autres types de *currency-bars*, à partie roulée plus large (type CBL5).

La singularité des techniques de fabrication et des composés chimiques caractéristiques de leur provenance, a permis de mettre en évidence leur insertion au sein de réseaux d'échanges diversifiés, codifiés et incluant probablement différents intermédiaires. Le métal utilisé pour la fabrication de ces demi-produits est issu de multiples centres de production et circule d'abord sous une forme brute avant d'être transformé au sein d'ateliers de forges dont les productions sont standardisées. La pluralité des provenances constatées au sein d'un unique dépôt pourrait

indirectement témoigner de l'implication de différents acteurs dans le rassemblement de la matière première métallique.

L'abandon volontaire de ces demi-produits dans le contexte chrono-culturel du premier âge du Fer participerait ainsi d'un phénomène plus vaste, concernant des objets en alliages à base de cuivre ou en fer, prenant la forme de haches techniquement inutiles, de produits bipyramidés ou de fer plat à extrémité roulée, destinés au paiement d'obligations sociales. Ces demi-produits en fer, à la fois réserves de métal et de savoir-faire, s'avèrent ainsi être des objets polymorphes, vecteurs aussi bien d'échanges spécialisés que de pratiques symboliques et mémorielles.

ANNEXE 1* : INVENTAIRE DES AUTRES SITES LIVRANT DES FERS PLATS À EXTRÉMITÉ ROULÉE OU *CURRENCY-BARS* DE TYPE CBE1 ET CBE3

FRANCE

Lieu-dit, commune (département) : le Camp Romain, Bourguignon-lès-Moreys (Haute-Saône).

Nature du site : habitat fortifié/trophée.

Chronologie du site : La Tène B2/C1 (III^e s. av. J.-C.).

Typologie : 4 barres à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Berranger 2014 ; Dubreucq, Piningre 2007.

Commune (département) : Bretteville-sur-Odon (Calvados).

Type de contexte : indéterminé (découverte fortuite).

Chronologie du site : néant.

Typologie : environ 70 barres à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Feugère 2000.

Lieu-dit, commune (département) : mont Saint-Germain, Châtel-Saint-Germain (Moselle).

Nature du site : habitat de hauteur.

Chronologie du site : second âge du Fer.

Typologie : 3 barres à extrémité roulée, CBE1.

Bibliographie : Lefevre *et al.* 2001.

Commune (département) : Fontaines-en-Duesmois (Côte-d'Or).

Nature du site : indéterminé.

Chronologie du site : La Tène A, La Tène D.

Typologie : une barre à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Goguy *et al.* 2018, fig. 109.

Lieu-dit, commune (département) : la plaine du Bosc Renault, Hautot-le-Vatois (Seine-Maritime).

Nature du site : habitat enclos.

Chronologie du site : âges du Fer.

Typologie : une barre à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Blancquaert, Adrian 2006.

Lieu-dit, commune (département) : les Grèves, La Villeneuve-au-Châtelot (Aube).

Nature du site : sanctuaire.

Chronologie du site : La Tène B2/D2a (IV^e – milieu I^{er} s. av. J.-C.).

Typologie : 26 barres à extrémité roulée CBE1, CBL5, BAD2, à soie.

Bibliographie : Berranger 2014.

Lieu-dit, commune (département) : le Chemin de l'Huître, Le Chêne (Aube).

Nature du site : funéraire.

Chronologie de l'ensemble clôt : La Tène B2/C1.

Typologie : une barre à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Kaurin, Seguin 2013.

Lieu-dit, commune (département) : rue Fernand Jaffiol, Pont-Sainte-Marie (Aube).

Nature du site : habitat.

Chronologie du site : La Tène B/C.

Typologie : un fragment de barre à extrémité roulée - CBE1 ?

Bibliographie : Millet *et al.* 2011, p. 189-198.

Lieu-dit, commune (département) : Prés de la Chaussée, Saint-Benoist-sur-Vanne (Aube).

Nature du site : indéterminé.

Chronologie du site : néant.

Typologie : un fragment de barre à extrémité roulée CBE1 ?

Bibliographie : Berranger 2014.

Lieu-dit, commune (département) : Le Défendable, Villiers-sur-Seine (Seine-et-Marne).

Nature du site : habitat enclos.

Chronologie du site : La Tène C2.

Typologie : une barre à extrémité roulée CBE1.

Bibliographie : Quenez 2011.

* L'annexe 2, un tableau faisant état de la composition en éléments traces et terres rares des inclusions sélectionnées par analyses chimiques par LA-ICP-MS, est consultable sur la revue *Gallia* en ligne : <https://journals.openedition.org/gallia/4870>

Lieu-dit, commune (Département) : gué de Salcy, Gron (Yonne).
Nature du site : milieu humide.
Chronologie du site : néant.
Typologie : une barre à extrémité roulée CBE1.
Bibliographie : Berranger, inédit.

Lieu-dit, commune (département) : la Grande Borne, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
Nature du site : agglomération ouverte.
Chronologie du site : début III^e s.-fin II^e s. av. J.-C. (LT B2-LT D1).
Typologie : 4 barres à extrémité roulée CBE1 ?
Bibliographie : Périchon dir. 1982, p. 41, fig. 11.

SUISSE

Lieu-dit, commune (canton) : La Tène, Marin-Epagnier (Neuchâtel).
Nature du site : milieu humide – rivière – lac.
Chronologie du site : La Tène C1.
Typologie/NMI : À extrémité roulée dont CBE3 – 23, avec plusieurs milliers d'objets.
Bibliographie : Vouga 1923.

Lieu-dit, commune (canton) : Limmat, Zurich (Zurich).
Nature du site : milieu humide – Limmat.
Chronologie du site : néant.
Typologie/NMI : 20 barres à extrémité roulée CBE1 en paquet.
Bibliographie : Hierli 1901, Abb. 320.

Lieu-dit, commune (canton) : port de Joressant, Haut-Vully (Fribourg).
Nature du site : milieu humide – rivière.
Chronologie du site : La Tène.
Typologie/NMI : une barre à extrémité roulée CBE1.
Bibliographie : Schwab 1989.

ALLEMAGNE

Nom du site, Kreis (Land) : Bad Nauheim « Dankeskirche » Wetterau (Hessen).
Nature du site : inconnu.
Chronologie du site : néant.
Typologie/NMI : 5 barres à extrémité roulée CBE1 – 5.
Bibliographie : Schönberger 1952, p. 100, taf. 31C.

Nom du site, Kreis (Land) : Ulversheim, Mainz (Rheinland – Pfalz).
Nature du site : funéraire.
Chronologie : La Tène C1.
Typologie/NMI : une barre à extrémité roulée CBE1 ? – 1.
Bibliographie : Schaaf 1983.

Nom du site, Kreis (Land) : Manching, Pfaffenhofen an d. Ilm (Bayern).
Nature du site/contexte : *oppidum*.
Chronologie du site : La Tène C2/D1.
Typologie/NMI : 3 barres à extrémité roulée dont CBE1, 3 bipyramidés, 1 quadrangulaire.
Bibliographie : Jacobi 1974.

Nom du site, Kreis (Land) : Unterbränd – Dittishausen, Breisgau-Hochschwarzwald (Baden Wurtemberg).
Nature du site/contexte : indéterminé.
Chronologie du site : néant.
Typologie/NMI : une barre à extrémité roulée CBE1.
Bibliographie : Humpert 1991, p. 26, Abb. 4.

Nom du site, Kreis (Land) : Oberursel Heidetränk, Hochtaunus-Kreis (Hessen).
Nature du site : *oppidum* (prospections).
Chronologie : III-1^{er} s. av. J.-C.
Typologie/NMI : 6 barres à extrémité roulée CBE1.
Bibliographie : Müller-Karpe, Müller-Karpe 1977, Abb. 8.

BIBLIOGRAPHIE

ABRÉVIATIONS

AFEAF	Association française pour l'étude de l'âge du Fer.
BSPF	<i>Bulletin de la Société préhistorique française.</i>
CTHS	Comité des travaux historiques et scientifiques.
CUF	Collection des universités de France.
DRAC	Direction régionale des Affaires culturelles.
JAS	<i>Journal of Archaeological Science.</i>
RAE	<i>Revue archéologique de l'Est.</i>

SOURCES ANCIENNES

- César** : *Guerre des Gaules*, éd. et trad. L.-A. Constans, revue et corrigée par A. Baland, Paris, Les Belles Lettres (coll. CUF, série latine, 32), 2014.
- Strabon** : *Géographie*, IV, éd. et trad. F. Lasserre, Paris, Les Belles Lettres (coll. CUF, série grecque, 172), 1966.

RÉFÉRENCES

- Barral P., Daubigny A., Dunning C., Kaenel G., Roulière-Lambert M.-J. (dir.) 2007** : *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges. Dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer, vol. II, Actes du XXIX^e colloque international de l'AFEAF tenu à Bienne du 5 au 8 mai 2005*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté (Annales Littéraires ; série Environnement, sociétés et archéologie), 2 vol., 892 p.
- Bauvais S., Dillmann P., Disser A., Leroy S., Berranger M., Pagès G., Vega E. 2015** : *Circulation of iron products in the Iron-Age of Eastern France and Southern Germany: multidisciplinary and methodological approaches towards the provenance of ancient iron*, Rapport final de programme ANR-DFG, Laboratoire Métallurgies et Cultures-IRAMAT, Laboratoire Archéomatériaux et Prévention de l'altération, Saclay, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), 161 p.
- Berranger M. 2014** : *Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du VII^e au I^{er} s. av. J.-C. Approches interdisciplinaires*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon (coll. Art, Archéologie et Patrimoine), 382 p.
- Berranger M. 2015** : *Arbois « Le pré des Noyers » (Jura). Mise au jour de deux « currency-bars » protohistoriques*, Rapport de sondage, Besançon, Service régional de l'archéologie de Franche-Comté.
- Berranger M., Fluzin P. 2011** : Du métal brut au demi-produit : propriétés et modes de circulation des matières premières ferreuses, in Reddé M., Barral P., Favory F., Guillaumet J.-P., Joly M., Marc J.-Y., Nouvel P., Nuninger L., Petit C. (dir.), *Aspects de la Romanisation dans l'Est de la Gaule*, Glux-en-Glenne, Bibracte (coll. Bibracte, 21-1), p. 877-886.
- Berranger M., Fluzin P. 2013** : Structuration et contexte des échanges en métallurgie du fer durant la protohistoire. Une approche interdisciplinaire à partir des matières premières métalliques, in Colin A., Verdin F. (dir.), *L'âge du Fer en Aquitaine et ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen de l'âge du Fer, Actes du XXXV^e colloque de l'AFEAF, Bordeaux 2-5 juin 2011*, Bordeaux, Aquitania (coll. Suppl. à Aquitania, 30), p. 609-629.
- Berranger M., Fluzin P. 2016** : Technotypologie des « currency bars » issus de la Saône : prolongements interdisciplinaires, in Vitali D., Goudineau C. (dir.), *Le monde celtique avant et après la conquête romaine. Mélanges en l'honneur de Jean-Paul Guillaumet*, Bologne-Dijon, Musée archéologique Luigi-Fantini, p. 281-292.
- Berranger M., Zaour N., Leroy M., Bauvais S., Cabboi L., Dunikowski C. 2017a** : Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VII^e-I^{er} siècle av. J.-C.) : de la réduction du métal à l'élaboration des demi-produits, in Marion S., Deffresigne S., Kaurin J., Bataille G., *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer, Actes du 39^e colloque de l'AFEAF tenu à Nancy 14-17 mai 2015*, Bordeaux, Ausonius (coll. Mémoires, 47), p. 301-334.
- Berranger M., Bauvais S., Bouzezzoula M., Leroy S., Disser A., Aubert M., Dillmann P., Fluzin P. 2017b** : Analyse technologique, étude de provenance et datation par le radiocarbone du dépôt de demi-produits ferreux de Durrenentzen (Haut-Rhin, France) : une vision renouvelée de l'économie du fer au premier âge du Fer, *ArchéoSciences*, 41-1, p. 45-67 [URL : <http://archeosciences.revues.org/4883>, mis en ligne le 21/06/2019].
- Blancquaert G., Adrian Y.-M. 2006** : Les occupations multiples de la Plaine du Bosc Renault à Hautot-le-Vatois (Seine-Maritime) : la zone de stockage du premier âge du Fer et les vestiges antiques funéraires et domestiques, *Revue archéologique de l'Ouest*, 23, p. 9-44.
- Bourhis J., Briard J. 1977** : Composition chimique des haches à douille armoricaines, *ArchéoSciences, Revue d'archéométrie*, 1, p. 3-14.
- Briard J. 2001** : Les objets paléomonnaies de l'Europe atlantique protohistorique, *Revue de Numismatique*, 6, p. 37-50.
- Bronk Ramsey C. 2009** : Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 51-1, p. 337-360.
- Brun P., Chaume B., Dhennequin L., Quilliec B. 2009** : Le passage de l'âge du Bronze à l'âge du Fer... au fil de l'épée, in *De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (x^e-VII^e siècle av. J.-C.). La moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer, Actes du XXX^e colloque de l'AFEAF, co-organisé avec l'APRAB, Saint-Romain-en-Gal, 26-28 mai 2006*, Dijon, RAE (coll. Suppl. à la RAE, 27), p. 477-485.
- Brun P. 2015** : L'évolution en dents de scie des formes d'expression du pouvoir durant l'âge du Fer en Europe tempérée, in Carne Belarte M., Garcia D., Sanmarti J. (dir.), *Les structures sociales protohistoriques*

- a la Gallia Iberia. Homenatge a Aurora Martin i Enriqueta Pons, Actes de la VII^e reunion d'Archeologie de Calafell, 7-9 mars 2013*, Area d'Arqueologia, Universitat de Barcelona, Institut Catala d'Arqueologia Classica (coll. Arqueo Mediterrania, 14), p. 49-59.
- Charlton M. F., Blakelock E., Martinon-Torres M., Young T. 2012** : Investigating the production provenance of iron artifacts with multivariate methods, *JAS*, 39, p. 2280-2293.
- Crew P. 1994** : Currency Bars in Great Britain, typology and function, in Mangin M. (dir.), *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, Archéologie et archéométrie, Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993*, Paris, Annales littéraires de l'université de Besançon, Les Belles Lettres, p. 175-176.
- Daubigny A., Barral P., Canet S., 2007** : Le dépôt laténien et romain de Champdivers dans la basse vallée du Doubs (Jura), in Barral P., Daubigny A., Dunning C., Kaenel G., Roulière-Lambert M.-J. (dir.) 2007, p. 405-424.
- Dieudonné-Glad N., Parisot N., Parisot J., Dupont E., Ronchail F. 2001** : Metallographic examination of five flat iron bars with socket from the river Saône (France), *Historical Metallurgy*, 35-2, p. 67-73.
- Dillmann P., L'Héritier M. 2007** : Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes, *JAS*, 34-11, p. 1810-1823.
- Dillmann P., Leroy S., Disser A., Bauvais S., Vega E., Fluzin P. 2015** : Dernières avancées des études sur la production, la circulation et la datation des métaux ferreux archéologiques, *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 138, p. 28-34.
- Dillmann P., Schwab R., Bauvais S., Brauns M., Disser A., Leroy S., Gassmann G., Fluzin P. 2017** : Circulation of iron products in the North-Alpine area during the end of the first Iron Age (6th -5th c. BC): A combination of chemical and isotopic approaches, *JAS*, 87, p. 108-124.
- Disser A. 2014** : *Espaces de production du fer en Lorraine et diffusion des produits sidérurgiques lorrains : apports des analyses par dosage d'éléments traces et statistiques*, Thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, 2 vol., 642 p. et 502 p.
- Disser A., Dillmann P., Leroy M., Merluzzo P., Leroy S. 2016** : The bridge of Dieulouard (Meurthe-et-Moselle, France): a fresh perspective on metal supply strategies in Carolingian economy, *ArcheoSciences*, 40-1, p. 149-161.
- Disser A., L'Héritier M., Dillmann P., Arles A. 2017** : Le chantier de la tour de Mutte à Metz : regards sur la production du fer en Lorraine à la fin du Moyen Âge. Fouille de données, analyses prédictives et traitement spatial des données, *Journal de la Société française de Statistique*, 158-2, p. 13-39.
- Dubreucq E. 2013** : *Métal des premiers celtes, productions métalliques sur les habitats des provinces du Hallstatt centre-occidental*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon (coll. Art, Archéologie et Patrimoine), 450 p.
- Dubreucq E., Piningre J.-F. 2007** : Un dépôt d'armes du III^e siècle avant J.-C. à Bourguignon-les-Morey (Haute-Saône), in Barral P., Daubigny A., Dunning C., Kaenel G., Roulière-Lambert M.-J. (dir.) 2007, p. 671-679.
- Dumont A. 2002** : *Les passages à gué de la Grande Saône, approche archéologique et historique d'un espace fluvial (de Verdun sur le Doubs à Lyon)*, Dijon, RAE (coll. Suppl. à la RAE, 17), 275 p.
- Feugère M. 2000** : Un nouveau dépôt de lingots de fer de La Tène finale : Bretteville-sur-Odon (Calvados), *Instrumentum*, 11, p. 15.
- Fluzin P., Berranger M., Bauvais S., Pagès G., Dillmann P. 2012** : An archaeological and archaeometrical approach of ferrous semi-product: typology, quality and circulation, in Cuccini C. (dir.), *Acta Mineraria et Metallurgica – Studi in onore di Marco Tizzoni*, Bergamo, Notizie Archeologiche Bergomensi, p. 195-204.
- Gauthier E., Piningre J.-F. 2016** : Communication visuelle autour du Camp du Château à Salins-les-Bains (Jura, France) : mise en évidence d'un réseau de relations visuelles à l'âge du Bronze, in Mordant C., Buchsenschutz O., Jeunesse C., Vialou D. (dir.), *Signes et communication dans les civilisations de la parole, Actes du 139^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Nîmes, 2014*, Paris, Éditions du CTHS, p. 128-145 [URL : <http://books.openedition.org/cths/1902>].
- Goguet D., Benard J. (dir.), Berranger M., Chevigny E., Fovet É., Giosa A., Granjon L., Guillaumet J.-P., Pautrat Y., Pillot L., Petit C., Popovitch L., Saligny L. 2018** : *Structures en pierre du plateau du Châtillonnais (Côte-d'Or) du Hallstatt à l'Antiquité tardive. L'apport de l'archéologie forestière*, Bruges, Dremil-Lafage, Monique Mergoïl (coll. Archéologie et histoire romaine, 39), 289 p.
- Golosetti R. (dir.) 2019** : *Mémoires de l'âge du Fer. Effacer ou réécrire le passé*, Paris, Hermann (coll. Histoire et Archéologie), 300 p.
- Gomez de Soto J. 2015** : Les haches à douilles de type armoricain : une production strictement de l'âge du Fer. Critique des sources documentaires afférant à leur chronologie, *BSPF*, 112, p. 117-136.
- Hierli J. 1901** : *Urgeschichte der Schweiz*, Zurich, Verlag von Albert Müller, 453 p.
- Hingley R. 1990** : Iron Age "currency bars": the archaeological and social context, *Archaeological journal*, 147, p. 91-117.
- Humpert J. 1991** : Eine römische Strasse durch den südlichen Schwarzwald, *Archäologische nachrichten aus Baden*, 45, p. 19-32.
- Jacobi G. 1974** : *Werkzeug und gerät aus dem oppidum vom Manching*, Stuttgart, Franz Steiner Verlag (coll. Die ausgrabungen in Manching, 5), 368 p.
- Kaurin J., Seguin G. 2013** : *La nécropole celtique du Chêne (Aube). Images de femmes du début du III^e s. av. J.-C.*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon (coll. Arts, archéologie, patrimoine), 140 p.
- Kleeman O. 1981** : Les lingots de fer bipyramidaux courts et épais : les lingots du type Colmar, *RAE*, 32, p. 109-119.
- Lefevre C., Leroy M., Merluzzo P. 2001** : Lingots de fer de type « currency bars » à Chatel-Saint-Germain (F, Moselle), *Instrumentum*, 13, p. 39-40.
- Lejars T. 2019** : Des vestiges anachroniques ou hors-norme provenant de lieux de culte gaulois de la Tène moyenne : continuité des occupations et permanence rituelle ? in Golosetti R. (dir.) 2019, p. 205-223.
- Lelong A., Aufaure C., Conin A. 1992** : *Trésor de fer, la découverte de Nottonville*, Catalogue de l'exposition organisée par le Musée des Beaux-Arts et d'Histoire naturelle de Châteaudun, 10 juillet-20 septembre 1992, 18 p.
- Leroy S., Cohen S. X., Verna C., Gratuze B., Tereygeol F., Fluzin P., Bertrand L., Dillmann P. 2012** : The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses, *JAS*, 39-4, p. 1080-1093.
- Leroy S., Dillmann P., Disser A., L'Héritier M., Bauvais S., Fluzin P. 2014** : Provenance et circulation des alliages ferreux, in Dillmann P., Bellot-Gurlet L. (dir.), *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*, Paris, Éditions des archives contemporaines, p. 73-101.
- Leroy S., L'Héritier M., Delque-Kolic E., Dumoulin J.-P., Moreau C., Dillmann P. 2015a** : Consolidation or initial design? Radiocarbon dating of ancient iron alloys sheds light on the reinforcements of French Gothic Cathedrals, *JAS*, 53, p. 190-201.
- Leroy S., Hendrickson M., Vega E., Delque-Kolic E., Dillmann P. 2015b** : First Direct Dating for the Construction and Modification of the Baphuon Temple Mountain in Angkor, Cambodia. *PLoS ONE* 10 (11): e0141052. [URL : [10.1371/journal.pone.0141052](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141052), mis en ligne le 4/11/2015].

- Leroy S., Hendrickson M., Bauvais S., Vega E., Blanchet T., Dissier A., Delque-Kolic E. 2017** : The ties that bind: archaeometallurgical typology of architectural crampons as a method for reconstructing the iron economy of Angkor, Cambodia (tenth to thirteenth c.), *Archaeological and Anthropological Science*, 10, p. 2137-2157 [URL : 10.1007/s12520-017-0524-3, mis en ligne le 20/11/2017].
- Milcent P.-Y. 2017** : Valeurs d'usage et d'échange. La dimension prémonétaire des dépôts en Gaule atlantique du III^e au V^e s. av. J.-C., *BSPF*, 114, p. 711-737.
- Millet E., Thiol S., Bandelli A., Toulemonde F., Van den Bossche B., Frouin M., Berranger M., Fluzin P. 2011** : *Un site protohistorique à Pont-Sainte-Marie : langgraben, inhumations en silos et occupation domestique des âges du Bronze et du Fer*, Rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, Inrap Grand-Est-Nord, DRAC Grand-Est, 220 p.
- Müller-Karpe A., Müller-Karpe M. 1977** : Neue latènezeitliche Funde aus dem Heidetränk-Oppidum im Taunus, *Germania*, 55, p. 33-63.
- Nouvel P., Thivet M. 2019** : Des dépôts d'antiquités dans le sanctuaire des Champs des fougères à Mandeuire ? in Golosetti R. (dir.) 2019, p. 225-235.
- Pagès G., Dillmann P., Fluzin P., Long L. 2011** : A study of the Roman iron bars of Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône, France). A proposal for a comprehensive metallographic approach, *JAS*, 38, p. 1234-1252.
- Périchon R. (dir.) 1982** : Le site de Clermont-Ferrand-Aulnat, les fouilles de la Grande Borne, in Collis J., Duval A., Périchon R. (dir.), *Le deuxième âge du fer en Auvergne et en Forez et ses relations avec les régions voisines*, Sheffield, Saint-Étienne, Université de Sheffield/Centre d'études Forzeziennes, p. 30-43.
- Pétrequin P., Weller O., Gauthier E., Dufraisse A. 2001** : Salt springs exploitations without pottery during Prehistory. From New Guinea to the French Jura, in Pétrequin P., Beyries S. (dir.), *Ethnoarchaeology and its transfers, Papers from a session helds at the European Association of Archaeologists Fifth annual meeting in Bournemouth 1999*, Oxford, Archaeopress (coll. British Archaeological Reports, International Series, 983), p. 37-65.
- Piningre J.-F., Ganard V. 2004** : *Les nécropoles protohistoriques des Moidons et le site princier du Camp du Château à Salins (Jura)*, Paris, CTHS (Documents préhistoriques, 17), 431 p.
- Piningre J.-F. 2016** : Les enceintes de l'âge du Bronze et du 1^{er} âge du Fer en Franche-Comté. Un bilan des recherches, *Archimède*, 3, p. 102-103 [URL : <https://archimede.unistra.fr/revue-archimede/archimede-3-2016/archimede-3-2016-dossier-les-enceintes-de-lage-du-bronze-et-du-1er-age-du-fer-en/>, mis en ligne le 15/11/2016].
- Quenez J.-P. 2011** : *Occupations protohistoriques à Villiers-sur-Seine (Seine-et-Marne)*, *Le Défendable, Actes des journées Archéologiques d'Île-de-France, 2004, 2005, 2009, 2010, 2011*, Paris, Service régional de l'archéologie d'Île-de-France, 2 vol., 246 p. et 424 p.
- Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Buck C. E., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hafidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., Plicht J. van der 2013** : IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, 55-4, p. 1869-1887.
- Schaaff U. 1983** : Ein schwertförmiger Eisenbarren vom Typ Werimont-La Tène aus Rheinhessen, *Bulletin des musées royaux d'art et d'histoire*, 54, p. 95-102.
- Schönberger H. 1952** : Die spätlätènezeit in der Wetterau, *Saalburg Jahrbuch*, 11, p. 21-130.
- Schwab H. 1989** : *Archéologie de la 2^e correction des eaux du Jura. Vol. 1 - Les Celtes sur la Broye et la Thielle*, Suisse, Éditions universitaires de Fribourg (coll. Archéologie Fribourgeoise, 5), 190 p.
- Testart A. (dir.) 2001** : *Aux origines de la monnaie*, Paris, Errance, 144 p.
- Vergier S. 2019** : Manipulation des objets et reconstitution du passé dans les sociétés de l'âge du Fer, in Golosetti R. (dir.) 2019, p. 237-291.
- Vouga P. 1923** : *La Tène, monographie de la station publiée au nom de la commission des fouilles de La Tène*, Leipzig, Karl W. Hiersman, 91 p.
- Warmenbol E. 2012-2013** : La hache à douille « de Nismes » (Viroinval, province de Namur, Belgique). Quelques réflexions autour des haches armoricaines avec une provenance belge, *Archéo-Situla*, 33-332, p. 3-8.