

Université Michel de Montaigne Bordeaux 3

École Doctorale Montaigne Humanités (ED 480)

THÈSE DE DOCTORAT EN « PHYSIQUE DES ARCHEOMATERIAUX »

**Datation par archéomagnétisme des terres cuites
archéologiques en France au premier millénaire av. J.-C.**

*Etalonnage des variations du champ géomagnétique
en direction et intensité*

Gwenaël Hervé

ANNEXES

SOMMAIRE

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes	5
Annexe 2 : Préparation des échantillons.....	17
Annexe 3 : Etudes des sites français, contexte et analyses.....	21
Annexe 4 : Etudes des sites italiens, contexte et analyses	279

Annexe 1

Acquisition de l'aimantation :
principes

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

La capacité d'une terre cuite (mais aussi d'une roche) à acquérir une aimantation thermo-rémanente (ATR) en présence d'un champ magnétique, et en conséquence à enregistrer la variation séculaire du champ géomagnétique, est due à la présence de minéraux ferromagnétiques dispersés dans une matrice diamagnétique ou paramagnétique. Les minéraux ferromagnétiques les plus courants dans les terres cuites archéologiques sont la (titano)magnétite et la (titano)hématite. Dans cet annexe, sont abordés les mécanismes de l'acquisition de l'ATR et de ses propriétés, qui sont nécessaires pour comprendre les protocoles d'analyse de la direction et de l'intensité du champ magnétique terrestre.

1) Propriétés des minéraux ferromagnétiques

En deçà d'un seuil de température appelée température de Curie et propre au minéral (Tableau 1), les minéraux ferromagnétiques acquièrent une aimantation spontanée M_s . Cette aimantation spontanée est créée par couplage entre les moments magnétiques des atomes des éléments de transition (principalement le fer, mais aussi le cobalt et le nickel), c'est-à-dire entre les spins des électrons non appariés de l'orbitale 3d. Les moments magnétiques de spin s'alignent de manière parallèle (ferromagnétisme *s.s.*) ou anti-parallèle (ferrimagnétisme et antiferromagnétisme) pour minimiser l'énergie de couplage (Figure 1). Au sein d'un grain, cet alignement se réalise dans des directions préférentielles liées à la structure cristalline (anisotropie magnétocristalline) et à la forme du grain (anisotropie de forme). La température a un effet prépondérant sur le couplage entre les moments magnétiques de spin. A la température de Curie, l'agitation thermique fait disparaître l'aimantation spontanée et le grain devient paramagnétique.

Minéral	Formule	M_s (kA/m)	T_{Curie} (°C)
Fer natif	αFe	1715	765
Magnétite*	Fe_3O_4	480	580
Hématite*	αFe_2O_3	≈ 2.5	675
Maghémite*	γFe_2O_3	380	590-675
Goethite	$\alpha FeOOH$	≈ 2	120

* : La substitution du fer par le titane provoque une diminution de la température de Curie.

Tableau 1 : Principaux minéraux ferromagnétiques et leurs caractéristiques : aimantation spontanée et température de Curie (Température de Néel pour les antiferromagnétiques).

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

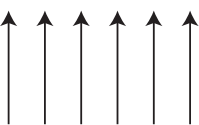
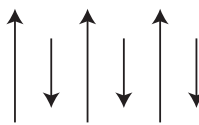
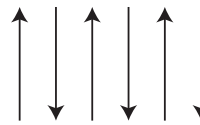
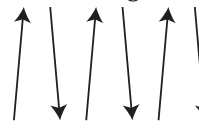
Ferromagnétisme s.s.	Ferrimagnétisme	Antiferromagnétisme	"Spin-canted" antiferromagnétisme
 <p>Aimantation spontanée résultante M_s</p> <p>Fer natif</p> <p>L'alignement parallèle des moments magnétiques atomiques est à l'origine d'une forte aimantation spontanée</p>	 <p>Magnétite</p> <p>Les moments magnétiques atomiques sont alignés de manière anti-parallèle. La différence d'intensité entre les deux sens (liée à des états d'oxydation différents) explique l'aimantation spontanée.</p>	 <p>Les moments magnétiques atomiques sont anti-parallèles et de même intensité : l'aimantation spontanée résultante est nulle. Si l'antiparallélisme n'est pas parfait (cas de l'hématite au dessus de la température de Morin à -15°C), une aimantation spontanée de faible intensité (environ 2,5% de celle de la magnétite) apparaît.</p>	 <p>Hématite</p>

Figure 1 : Représentation schématique des couplages entre moments magnétiques de spin pour les corps ferromagnétiques s.l. (ferromagnétiques s.s., ferrimagnétiques et antiferromagnétiques). D'après Dunlop et Özdemir, 1997.

2) Domaines magnétiques

Seuls les grains ferromagnétiques de petite taille, appelés grains mono-domaines (*single-domain*, SD), ont une aimantation spontanée homogène. Leur aimantation \mathbf{m} suit, V étant le volume du grain, la relation $\mathbf{m} = V\mathbf{M}_s$. Pour les grains de plus grande taille, l'énergie nécessaire au couplage de l'ensemble des moments magnétiques de spin est trop élevée pour former un seul domaine magnétique homogène. Ces grains, appelés poly-domaines ou multi-domaines (MD) sont donc divisés en plusieurs domaines magnétiques, chacun étant caractérisé par un moment magnétique propre. A cause des interactions entre les domaines, leur aimantation rémanente est beaucoup moins élevée et moins stable que celle des grains mono-domaines. Les interactions les rendent aussi inadaptés aux analyses de paléointensité (Cf. section 5). La taille maximum des grains mono-domaines est d'environ 100nm pour la magnétite et d'environ 15 μm pour l'hématite. Les processus physiques évoqués par la suite concernent principalement les grains mono-domaines.

3) Temps de relaxation

Les propriétés d'anisotropie du grain déterminent donc la direction de son moment magnétique. L'aimantation des grains mono-domaines est très stable, car le passage entre deux états de facile aimantation, c'est-à-dire un changement de la direction de son moment magnétique, nécessite de franchir une barrière énergétique importante. La théorie de l'acquisition et de la conservation de l'aimantation des grains mono-domaines a été développée par Louis Néel. En première approche, il propose le modèle simple d'un grain avec un seul axe de facile aimantation (Néel, 1955) : l'aimantation spontanée du grain possède donc deux directions de facile aimantation antiparallèles.

Le champ magnétique, nécessaire pour renverser le moment magnétique entre ces deux états de facile aimantation, est appelé le champ coercitif du grain H_c . Les champs coercitifs des grains ferromagnétiques présents dans les terres cuites archéologiques (ou les roches) ont des intensités bien supérieures (au minimum de l'ordre du mT) au champ magnétique terrestre ambiant. Dans les conditions naturelles, seuls les champs associés aux éclairs atteignent de telles intensités et permettent l'acquisition d'une aimantation rémanente, nommée aimantation rémanente isotherme (ARI).

Cependant, à cause de l'agitation thermique, des renversements spontanés du moment magnétique se produisent, même en l'absence de tout champ magnétique. Pour les grains mono-domaines, sans interaction, le moment suit la loi :

$$M(t) = M_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \quad (1)$$

où t est le temps et τ est appelé le temps de relaxation. Le temps de relaxation est le temps nécessaire pour que l'aimantation décroisse jusqu'à M_0/e . Il est défini par (Néel, 1949) :

$$\tau = \frac{1}{C} \exp\left(\frac{-V\mu_0 M_s(T) H_K}{2kT}\right) \quad (2)$$

Cette formule illustre la compétition entre l'énergie d'anisotropie magnétique et l'agitation thermique. V est le volume du grain. L'aimantation spontanée M_s et sa force coercitive microscopique H_K caractérisent l'énergie d'anisotropie magnétique du grain liée à la nature et à la forme du grain. Le produit de la constante de Boltzmann k et de la température T caractérise l'agitation thermique. μ_0 est la perméabilité du vide (égale à $4\pi 10^{-7}$ SI) et C est une constante de fréquence, qui donne la probabilité que l'énergie thermique dépasse la barrière de l'énergie d'anisotropie magnétique. C est de l'ordre de 10^{10} s^{-1} . Le temps de relaxation dépend donc exponentiellement du volume du grain et de la température (Figure 2).

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

A température ambiante, l'énergie d'anisotropie magnétique des grains mono-domaines est trop élevée par rapport à l'énergie thermique pour que le moment magnétique se renverse. On dit que le moment magnétique est bloqué. Les temps de relaxation sont très élevés à la température ambiante. Cette propriété explique la conservation de la rémanence à l'échelle des temps archéologiques, mais aussi à l'échelle des temps géologiques (Figure 2). Pour les grains de plus petite taille (inférieure à quelques nm), l'agitation thermique dépasse rapidement l'énergie d'anisotropie et lorsque le temps de relaxation est atteint, le moment magnétique est susceptible de se renverser : l'aimantation rémanente est alors perdue. Ce comportement, appelé superparamagnétisme (on parle de grains superparamagnétiques), est responsable de l'apparition des aimantations rémanentes visqueuses (ARV) pouvant affecter les échantillons de terre cuite.

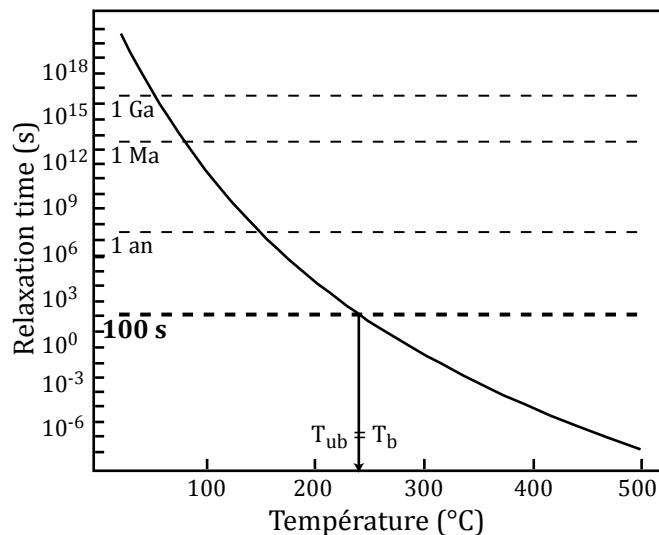


Figure 2 : Variation du temps de relaxation avec la température pour différentes tailles de grains mono-domaines de magnétite de forme ellipsoïdale. Au dessus de la température de déblocage (T_{ub}), le moment magnétique du grain est à l'équilibre avec le champ magnétique ambiant. D'après Tauxe, 2009.

Le temps de relaxation diminue exponentiellement avec la température (Figure 2). La température, à laquelle le temps de relaxation devient petit (100s) est appelé température de déblocage T_{ub} : elle marque le passage entre l'état d'aimantation rémanente et l'état d'aimantation à l'équilibre avec le champ magnétique extérieur, où le grain perd son aimantation rémanente.

Le processus inverse se produit lors du refroidissement. On parle alors de température de blocage T_b , à laquelle le moment magnétique du grain se retrouve bloqué dans le sens du champ magnétique ambiant. La température de blocage est donc la température à laquelle le

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

grain superparamagnétique devient ferromagnétique. Pour les grains mono-domaines, les températures de blocage et de déblocage sont équivalentes. En revanche, pour les grains multi-domaines, à une température de blocage donnée correspond un spectre de température de déblocage (Figure 3).

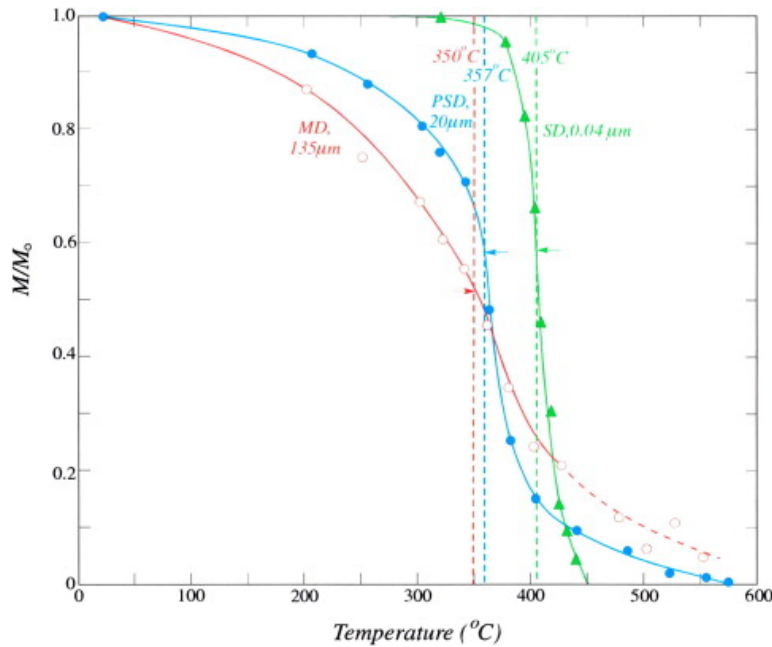


Figure 3. : Désaimantation thermique de l'aimantation rémanente visqueuse acquise par des magnétites de taille variable à une température de blocage donnée. La magnétite mono-domaine (SD) a une gamme de température de déblocage très restreinte autour de sa température de blocage (405°C). Les magnétites de plus grande taille pseudo-mono-domaines (PSD) et poly-domaines (MD) se désaimantent dans une gamme de température large autour de leur température de blocage (405°C pour SD, 357°C pour PSD et 350°C pour MD). Les biais créés, appelés tails de basse et haute température, expliquent l'infaisabilité des protocoles de paléointensité par double-chauffe pour de telles minéralogies. D'après Dunlop, 2011.

4) Acquisition et conservation de l'aimantation thermo-rémanente dans les argiles

L'aimantation rémanente d'une terre cuite, constituée de grains ferromagnétiques (*s.l.*) mono-domaines dispersés dans une matrice paramagnétique ou diamagnétique, est égale à la somme vectorielle des moments magnétiques rémanents de chacun de ces grains. En présence d'un champ, la direction de la somme de ces moments est parallèle à la direction du champ magnétique. Quand la terre cuite est chauffée au delà de 675°C, c'est-à-dire au delà des températures de Curie des oxydes de fer ferromagnétiques, la terre cuite est paramagnétique. Lors du refroidissement, les grains d'hématite d'abord, puis de magnétite, acquièrent une

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

aimantation spontanée au passage de leur température de Néel/Curie. Cette aimantation spontanée s'oriente dans le sens du champ magnétique ambiant lors du refroidissement.

A proximité de la température de Curie, la plupart des grains ont des temps de relaxation très faibles et ne portent pas de rémanence : leur aimantation suit les variations du champ magnétique ambiant. Au fur et à mesure du refroidissement (Figure 4), de plus en plus de grains, ont leur moment magnétique bloqué, car la température de blocage a été franchie. L'aimantation totale de la roche ou de la terre cuite, l'aimantation thermo-rémanente (ATR), augmente donc au cours du refroidissement. La progression de cette augmentation est fonction de l'homogénéité des grains ferromagnétiques, de leur nature, de leur taille et de leur forme. Les températures de déblocage des terres cuites archéologiques sont en général peu homogènes et réparties sur l'ensemble de la gamme de températures entre 100-200°C et les températures de Curie.

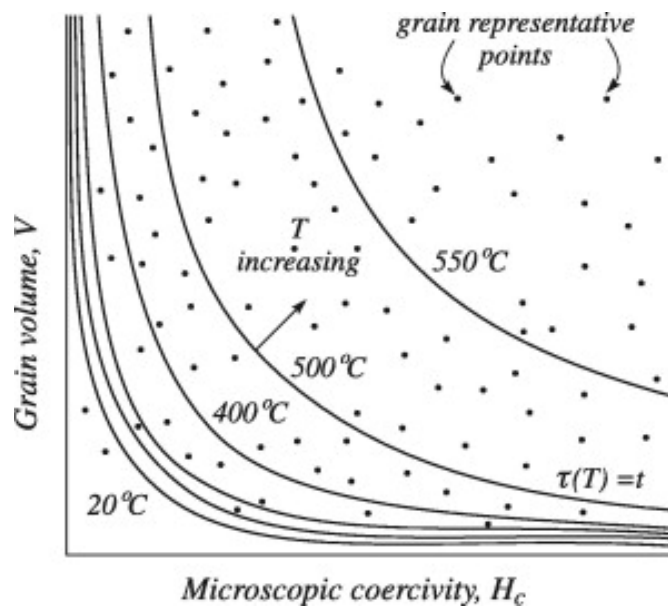


Figure 4 : Diagramme de Néel représentant le volume du grain V en fonction de sa coercivité H_c avec les courbes théoriques de blocage/déblocage à différentes températures. Les grains à gauche de chaque courbe sont superparamagnétiques avec un moment magnétique à l'équilibre avec le champ magnétique extérieur (pour les temps de mesure en laboratoire), alors que les grains à droite de la courbe ont une aimantation rémanente avec un moment magnétique bloqué. D'après Dunlop, 2011.

Cette acquisition d'ATR puis sa conservation sont expliqués par le modèle de Néel (Néel, 1955). L'aimantation d'un ensemble de grains monodomaines sans interactions et en présence d'un champ magnétique se conserve au cours du temps en suivant la loi :

$$M(t) = M(t_0) \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) + M_{\infty} \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)\right) \quad (3)$$

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

En présence d'un champ, le temps de relaxation est égal à :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} \exp \left[-\frac{\mu_0 V M_s H_k}{2kT} \left(1 - \frac{H_0}{H_k} \right)^2 \right] \quad (6)$$

où τ_0 est de l'ordre de 10^{-9} s.

L'aimantation totale atteint M_{eq} l'aimantation à l'équilibre après un temps de l'ordre du temps de relaxation. Cette aimantation à l'équilibre est égale à :

$$M_{eq} = M_{s0} \tanh \left(\frac{\mu_0 V M_s (T_B) H_0}{kT_B} \right) \quad (4)$$

Pour les champs de faible intensité (inférieure à $100\mu\text{T}$), comme le champ magnétique terrestre, la relation se simplifie :

$$M_{eq} = \frac{M_{s0} \mu_0 V M_s (T_B) H_0}{kT_B} \quad (5)$$

Pour des champs de faible intensité, l'aimantation thermo-rémanente M_{eq} est donc parallèle au champ magnétique terrestre ambiant au moment du dernier refroidissement de la terre cuite, mais aussi proportionnelle à son intensité.

5) Additivité des ATR partielles et lois de Thellier

Ce modèle d'acquisition des aimantations thermo-rémanentes explique les observations expérimentales d'Emile Thellier (1941) sur l'existence des ATR partielles. Après l'acquisition d'une ATR primaire, si la terre cuite est portée à une température T inférieure à la température de Curie, elle acquiert une aimantation rémanente partielle ATRp (pTRM) portée par les grains dont les températures de déblocage sont comprises entre la température ambiante et la température T . Cette ATRp, appelée composante secondaire d'aimantation, est parallèle et proportionnelle au champ magnétique terrestre ambiant lors de ce second refroidissement.

Emile Thellier énonce trois principes, qui doivent être respectés pour obtenir des résultats valables en paléointensité.

- La température de blocage est égale à la température de déblocage. Cette loi de réciprocité est valable uniquement pour les grains mono-domaines (Figure 3).

Annexe 1 : Acquisition de l'aimantation, principes

- La loi d'indépendance, qui découle de la loi de réciprocité, stipule que deux ou plus ATRp sont indépendantes les unes par rapport aux autres, si elles ont des gammes de températures de blocage/déblocage différentes (Figure 5).
- Enfin, l'ATR totale est égale à la somme des ATRp indépendantes. Cette propriété d'additivité, illustrée par la Figure 5, est expliquée par la théorie de Néel (équation 5).

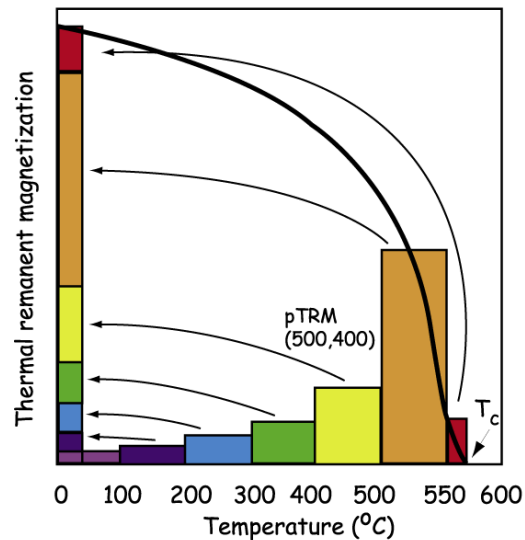


Figure 5. : Illustration des lois d'indépendance et d'additivité de Thellier. T_c est la température de Curie. D'après Yu *et al.*, 2004.

Ces lois sont fondamentales pour les protocoles de paléointensité, comme celui de Thellier-Thellier (1959). Ils reposent sur la proportionnalité de l'intensité d'aimantation avec l'intensité du champ magnétique en remplaçant l'aimantation rémanente naturelle par une aimantation thermorémanente acquise au laboratoire dans un champ d'intensité connu. Cette propriété se visualise par un comportement linéaire sur des diagrammes ARN-ATR (aussi appelés diagrammes d'Arai, Nagata *et al.*, 1963).

Comme les grains multi-domaines ne respectent pas les lois de Thellier, les résultats de paléointensité se manifestent par un comportement convexe des diagrammes ARN-ATR (Levi, 1977), qui reste difficile à exploiter (Biggin *et al.*, 2007 ; Dunlop *et al.*, 2005 ; Chauvin *et al.*, 2005 ; Fabian, 2001) pour reconstituer la variation séculaire de l'intensité du champ géomagnétique. Les évolutions de la minéralogie magnétique au cours des chauffés successives en laboratoire ont des conséquences similaires sur les résultats d'archéointensité. Le chapitre 6 de la thèse montre qu'il est parfois difficile de distinguer ces deux problèmes.

Bibliographie de l'annexe 1

- Biggin, A.J., Perrin, M., Shaw, J., 2007. A comparison of a quasi-perpendicular method of absolute palaeointensity determination with other thermal and microwave techniques, *Earth planet. Sci. Lett.*, 257, 564-581
- Chauvin, A., Roperch, P. & Levi, S., 2005. Reliability of geomagnetic palaeointensity data : the effects of the NRM fraction and concave-up behaviour on palaeointensity determinations by the Thellier method, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 150, 265-286
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö, 1997. *Rock magnetism, fundamentals and frontiers*, Cambridge studies in magnetism, Cambridge, 573 p.
- Dunlop, D.J., Zhang, B. & Özdemir, Ö., 2005. Linear and nonlinear Thellier palaeointensity behaviour of natural minerals, *J. Geophys. Res.*, 110(B01103): doi:10.1029/2004JB003095.
- Dunlop, D., 2011. Physical basis of the Thellier-Thellier and related paleointensity methods, *Phys. Earth Planet. Inter.*, doi:10.1016/j.pepi.2011.03.006, 187(3-4), 118-138
- Fabian, K., 2001. A theoretical treatment of paleointensity determination experiments on rocks containing pseudo-single or multi domain magnetic particles, *Earth planet. Sci. Lett.*, 188, 45-58
- Levi, S., 1977. The effect of magnetite particle size on palaeointensity determinations of the geomagnetic field, *Phys. Earth planet. Int.*, 13, 245-259
- Nagata, T., Arai, Y., Momose, K., 1963. Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years, *J. Geophys. Res.*, 68, 5277-5281
- Néel, L., 1949. Théorie du traînage magnétique des ferromagnétiques en grains fins avec application aux terres cuites, *Ann. Geophys.*, 5, 99-136
- Néel, L., 1955. Some theoretical aspects of of rock magnetism, *Adv. Phys.*, 4, 191-253
- Tauxe, L., 2009. *Essentials of paleomagnetism*, Web edition, from magician.ucsd.edu/ltauxe/
- Thellier, E., 1941. Sur la vérification d'une méthode permettant de déterminer l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé, *C. R. Acad. Sci.*, 212, 281-283
- Thellier, E. & Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique, *Ann. Geophys.*, 15, 285-376
- Yu, Y. Tauxe, L., Genevey, A., 2004. Toward an optimal geomagnetic field intensity determination technique, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 5, Q02H07, doi :10.1029/2003GL000630

Annexe 2

Préparation des échantillons

Annexe 2 : Préparation des échantillons

La friabilité de la majorité des prélèvements (sauf les prélèvements du four 13055K de la rue Leca à Marseille) nécessite une induration préalable au silicate de sodium (*waterglass*). Les prélèvements ont été immergés sous vide pendant une dizaine d'heures dans une solution à 75% avant d'être découpés en cubes de 1,8 cm de côté à la scie diamantée. Des indurations supplémentaires se sont généralement avérées nécessaires entre chaque étape de la préparation. Les échantillons sont découpés dans des tranches (nommées A, B, C...) définies en fonction du repère au soleil ou au Nord magnétique.

Pour chaque prélèvement, les échantillons ont été numérotés en fonction de leur position par rapport au gradient de cuisson observé dans la terre cuite (Figure 1). Plus exactement, le système suivant a été suivi :

Code de la structure - N° du prélèvement - Identifiant de tranche (A, B, C...) - N° de l'échantillon

Par exemple, pour un échantillon du prélèvement 1 du four 1009 du site de la ZAC-de-la-Domitienne à Béziers, cela donne 34032A-1A11. Le code de la structure correspond au numéro INSEE de la commune.

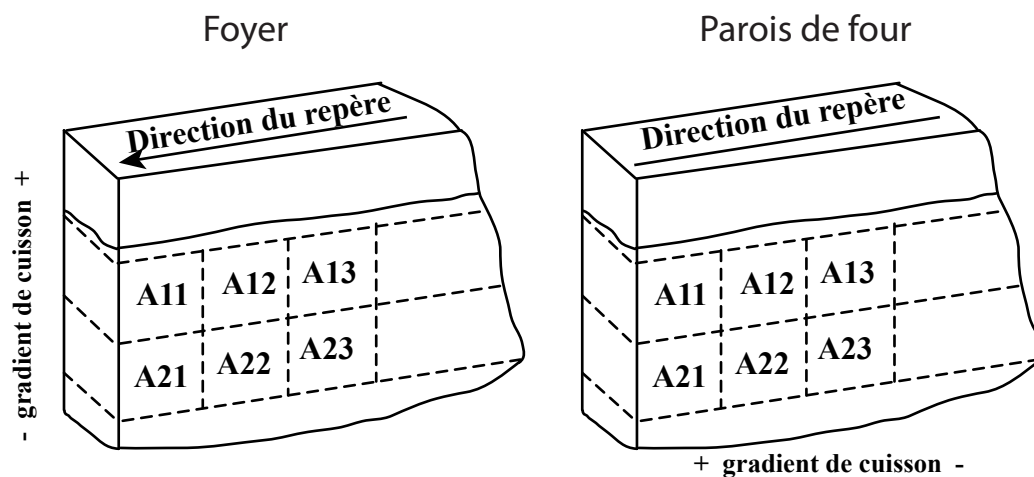


Figure 1 : Numérotation des spécimens en fonction du gradient de cuisson pour les foyers et les fours.

Une numérotation différente a été mise en place pour les premières structures préparées (Agde, Saint-Michel, four 2 ; Chateameillant, le Paradis, four 172 ; Marseille, rue Leca, four 1 ; Perpignan, Ruscino, foyer 5106 ; Valence, Angle-rue-d'Arménie-rue-Bouffier, four 40) : le suffixe A11/A21/A12 est remplacé par P1/P2/P3 avec P pour « structure en place » et 1 pour le numéro de l'échantillon.

Annexe 3

Etude des sites français

Contexte et analyses

NB : Le site de Moyenvic et les analyses archéomagnétiques des trois fourneaux à sel sont présentés dans le chapitre 5.

Sommaire de l'annexe 3

<i>Agde, Saint-Michel</i>	page 25
<i>Béziers, ZAC-de-la-Domitienne</i>	page 33
<i>Bouriège, devant-la-ville</i>	page 41
<i>Chartres, Beaulieu</i>	page 59
<i>Chateaumeillant, le Paradis, zone B</i>	page 65
<i>Glux-en-Glenne, le Mont-Beuvray</i>	page 73
<i>Gouy-Saint-André, le Rossignol</i>	page 103
<i>Lattes, Saint-Sauveur</i>	page 131
<i>Le Cendre, Gondole</i>	page 145
<i>Lunel, Mas-de-Fourques</i>	page 155
<i>Lyon, 4-6 rue du Mont-d'Or</i>	page 163
<i>Marlenheim, Maison-Apprederis</i>	page 171
<i>Marseille, 9 rue Jean-François Leca</i>	page 177
<i>Marseille, place Villeneuv- Bargemon</i>	page 185
<i>Montmorillon, Rocade-est, zone 2</i>	page 193
<i>Mouliets-et-Villemartin, Lacoste</i>	page 199
<i>Perpignan, Ruscino</i>	page 203
<i>Pont-Rémy, Fond-de-Baraquin</i>	page 213
<i>Saint-Martin-de-Fressengeas, grotte des Fraux</i>	page 219
<i>Sorris, la Bruyère et la Pâturage-à-Vaches</i>	page 225
<i>Valence, Angle-rue-d'Arménie-rue-Bouffier</i>	page 247
<i>Villeneuve-sur-Lot, la Dardenne-Haut</i>	page 255
<i>Vix, sondage Mont-Lassois-Est, 2009</i>	page 267
Bibliographie	page 275

Agde, Saint-Michel

Code archéomagnétique: 34003A

Contexte archéologique (d'après Gomez, 2002)

Agde, *Agathé*, a été fondée à la fin du VI^{ème} siècle av. J.-C. par des Grecs de Marseille, pour assurer le contrôle du commerce en Languedoc occidental, entre Marseille et l'Espagne. Cette agglomération est interprétée comme un comptoir commercial entre Marseille et l'Espagne. En périphérie de l'agglomération grecque, le site d'Agde Saint-Michel (Latitude 43°16'N ; Longitude 3°30'E) a fait l'objet de quatre sondages urgents en mars 1999, dirigés par Elian Gomez (aujourd'hui au Service Archéologique de la ville de Béziers). Les sondages ont révélé des structures, mal conservées, en lien avec une production agricole et viticole, comme des bassins de décantation du moût et des fours destinés à la production d'amphores. Aucun lien stratigraphique strict n'a pu être déterminé entre les sondages.

L'étude archéomagnétique s'est portée sur le four le mieux conservé, le four 2, situé dans le sondage II. Ce four est construit à l'emplacement d'un four plus ancien très peu documenté, le four 1. La chambre de chauffe (Figure 1), qui a un diamètre interne de 4,40 m, est construite dans une fosse. Au centre et sur le pourtour des parois, des rangées de pilettes en adobe servaient probablement à soutenir la sole. Ces pilettes délimitent deux couloirs, auxquels correspond peut-être un double alandier, qui n'a pu être identifié lors de la fouille à cause de l'arasement du secteur).

La monumentalité du four et l'énorme proportion d'amphores présente sur le site (77% des fragments et 54% des individus) permettent de supposer que le four était destiné à la production d'amphores de type gréco-italique tardif (LWe, classification de Lyding Will), puis Dressel 1A. Elles auraient été produites pour le stockage et le transport de la production viticole du domaine. Le site de Saint-Michel à Agde représenterait donc une des plus anciennes structures de production vinicole en Gaule et de la seule production d'amphores italiennes Dressel 1A mise au jour en dehors du monde italique (Gomez, 2002).

Datation du fonctionnement du four (d'après Gomez, 2002)

Les techniques de construction semblables entre les quatre sondages, notamment pour les sols de préparation, permettent à l'archéologue d'établir un phasage du site de Saint-Michel et d'attribuer la construction et le fonctionnement du four 2 à la phase 1.

La datation de cette phase repose sur le mobilier céramique, plus particulièrement les céramiques campaniennes et les amphores. Le mobilier est abondant avec 1450 tessons d'amphores pour 136 individus et 1847 tessons de céramiques pour 331 individus. La phase 1 et donc le fonctionnement du four 2 est daté dans l'intervalle [-140 ; -90].

Le *TPQ* est établi avec la céramique campanienne A (102 fragments pour 32 individus), notamment le bol Lamboglia 6/F1440 et la patère Lamboglia 5/7. Ce *Terminus* est confirmé par la présence des amphores gréco-italiques Lyding-Will E et des amphores Dressel 1A. Le *TAQ* est défini *a silentio* en 90 av. J.-C. par l'absence des céramiques campaniennes B et des amphores Dressel 1B.

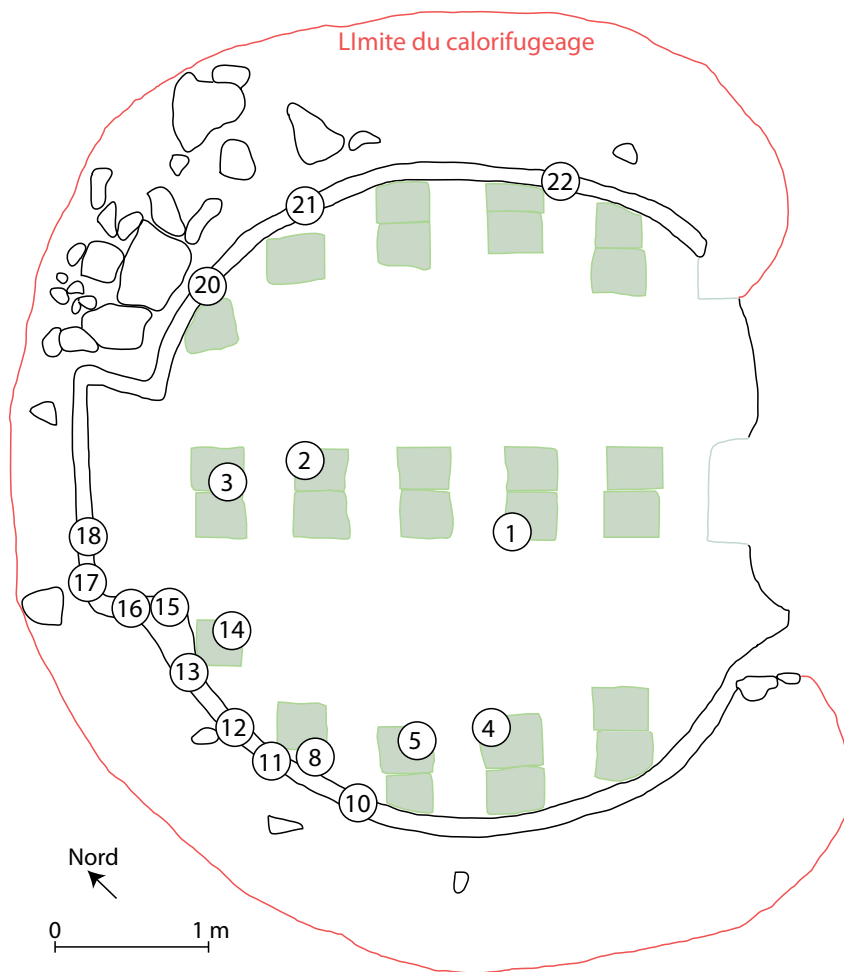


Figure 1 : Plan du four 2 du site de Saint-Michel à Agde et localisation des prélèvements archéomagnétiques. (d'après Gomez, 2002)

Prélèvement archéomagnétique

Dix-huit prélèvements ont été réalisés par Olivier Ginouvez (AFAN, puis INRAP Méditerranée) le 6 mars 1999. Ils sont situés, sur le pourtour des parois ou sur les pilettes d'adobe au sud ou au centre de la chambre de chauffe (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole.

Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés par Philippe Dufresne en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1P1 avec d'abord le numéro du prélèvement suivi de P pour « en place » et enfin le numéro du spécimen.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Sept fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de

la chauffe jusqu'à 610 ou 630°C puis lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Les désaimantations thermique et par champ alternatif ont respectivement été appliquées sur neuf et huit échantillons. Les chauffes de 100 à 560°C ont été effectuées sur le four MMTD et les désaimantations par champ alternatif au magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour l'ensemble de ces échantillons à 400°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à 18 échantillons (soit un spécimen par prélèvement) dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe Y des spécimens (soit quasi perpendiculairement à l'ARN). Douze chauffes ont été réalisées entre 100 et 570°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 420 ou 470°C. L'effet de la vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480 ou 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,3°C/min (soit un refroidissement sur environ 24 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

L'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.1 et 11 A/m et de la susceptibilité en champ faible entre 45 et 1200 10⁻⁵SI. Ceci correspond à des rapports de Koenigsberger Q assez homogènes entre 3 et 21 (Figure 2a). Ces fortes valeurs suggèrent une minéralogie magnétique stable grâce à une chauffe importante de l'argile. Aucune relation n'apparaît entre la position des prélèvements et leur intensité d'aimantation.

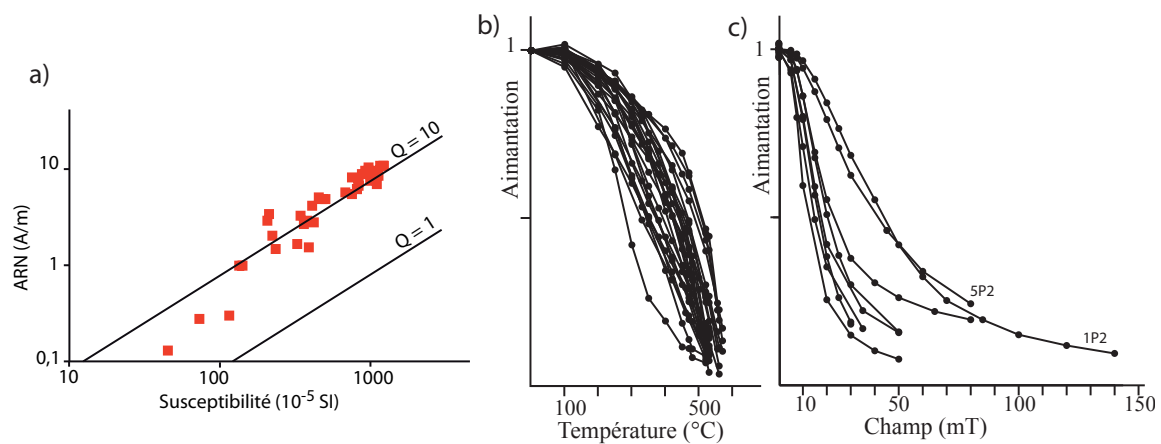


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four d'Agde Saint-Michel. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

Les caractéristiques minéralogiques montrent la relative homogénéité des prélèvements, comme l'illustrent les températures de déblocage (Figure 2b), les courbes thermomagnétiques (Figure 3) et les acquisitions d'ARI (Figure 4). Les courbes d'ARI montrent que l'aimantation est portée très majoritairement par une phase de faible coercivité, mais qu'une phase de forte coercivité est également présente. Les points de Curie entre 550 et 580°C indiquent que la phase de faible coercivité principale est une titanomagnétite très pauvre en titane. La phase de forte

Annexe 3 : Etude des sites français, Agde Saint-Michel

coercivité ne peut être identifiée comme elle n'est pas visible sur les courbes thermomagnétiques en raison de sa faible susceptibilité par rapport à la titanomagnétite.

On peut cependant remarquer une certaine variabilité des coercivités : certains prélèvements comme les numéros 1 et 5 ont des Median Demagnetizing Field (MDF, Figure 2c) plus élevés. Ceci indique peut-être des grains de titanomagnétite de taille différente.

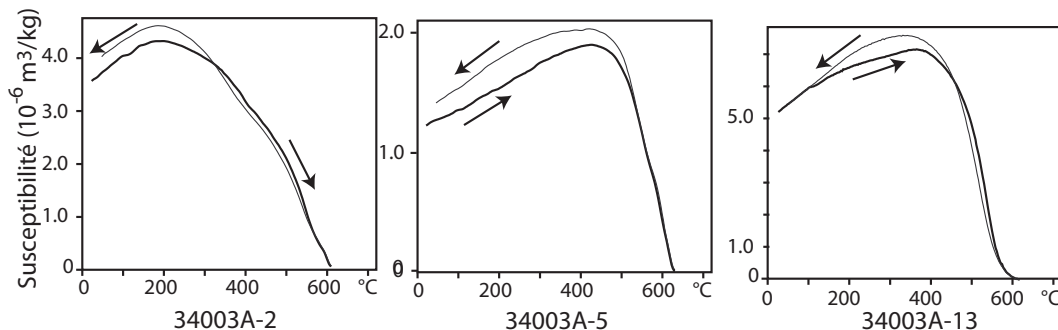


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe grise au cours du refroidissement.

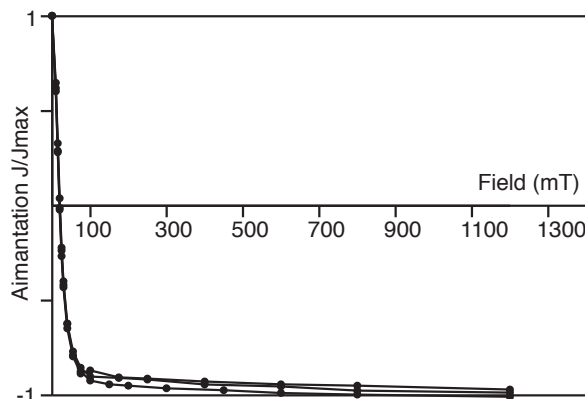


Figure 4 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes « backfield » pour trois échantillons du four d'Agde Saint-Michel (10P3, 20P3 et 22P2). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 20.5, 19.7 et 19.9 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 33, 46 et 83 A/m.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Tous les échantillons désaimantés présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Les ChRM déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1. Aucune variation de la direction d'aimantation en fonction de la position dans le four ne semble observée.

Protocole de Thellier-Thellier

Les dix-huit spécimens donnent d'excellents résultats (Tableau 1 et Figure 6) et respectent les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $M_{ad} < 5^\circ$; $D_{ang} < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Pour des raisons mal connues, l'échantillon 5P1 donne une archéointensité plus faible que les autres échantillons.

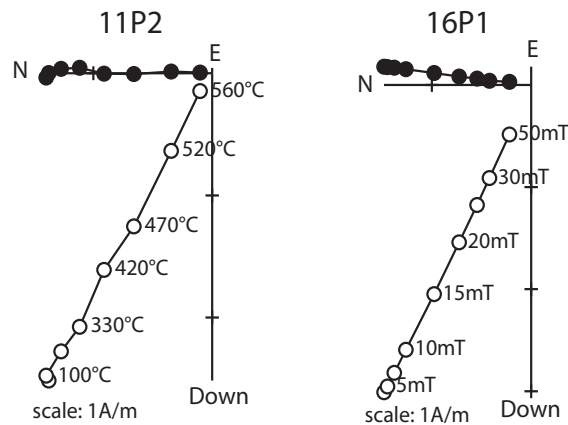


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs d'un spécimen désaimanté thermiquement (à gauche) et par champ alternatif (à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

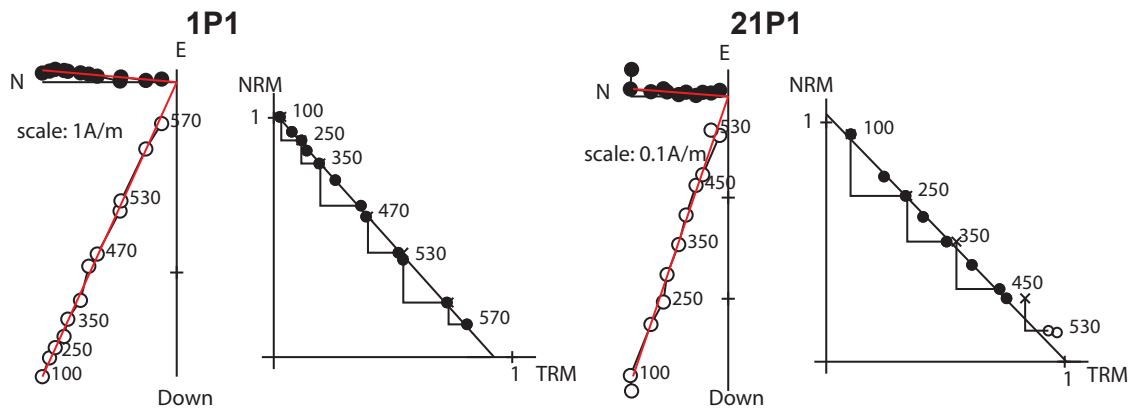


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

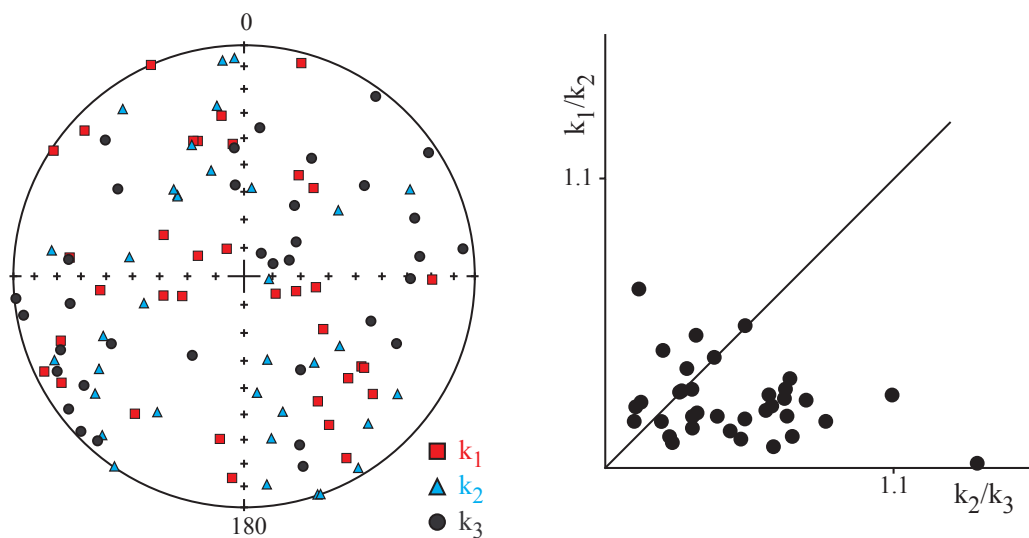


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une faible anisotropie avec des pourcentages d'anisotropie en général entre 5 et 10% (Tableau 1). Aucune tendance de fabrique ne se dessine à l'échelle de la structure (Figure 7), même si l'anisotropie tend à être dominée par une foliation. Toutes les directions d'aimantation et les archéointensités ont été corrigées de l'effet d'anisotropie.

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est faible avec des valeurs entre -5 et 7.5%. Pour la majorité des échantillons, l'effet de correction n'est pas supérieur à l'effet d'altération et la correction de vitesse de refroidissement est appliquée pour 5 échantillons uniquement (Tableau 1).

	ARN		Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	n	D(°)	I (°)	F ± std (μT)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie						Vitesse de refroidissement				
	(A/m)	χ (SI)												Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a ± std (μT)	%corr	%evol	F _{a+c} ± std (μT)	
1P1	1,7E+00	3,3E-03	Th-Th	100 - 570	12	5.1	65.3	66.5 ± 0.7	1.7	0.3	0.85	0.87	68.0	0.011	3.7	1.066	1.007	1.058	3.9	64.6	70.0 ± 0.8	3.6	-3.9	
1P2	1,6E+00	3,8E-03	AF	5 - 140	15	359.9	66.8		0.3					3.6	1.076	1.020	1.056	0.4	66.4					
2P1	5,0E+00	4,7E-03	Th	100 - 520	6	357.6	65.9		1.0					1.2	1.074	1.062	1.012	358.4	67.6					
2P2	7,9E+00	8,2E-03	Th-Th	100 - 520	10	358.4	66.5	67.4 ± 1.4	1.9	0.7	0.89	0.86	37.9	0.020	1.4	1.046	1.014	1.030	359.9	67.2	66.8 ± 1.3	0.3	-1.1	
3P1	5,1E+00	5,0E-03	AF	5 - 50	7	359.5	64.6		0.3					0.6	1.088	1.024	1.062	359.6	66.8					
3P2	5,1E+00	4,5E-03	Th-Th	100 - 480	9	358.4	65.0	60.5 ± 0.9	1.3	0.4	0.90	0.82	48.8	0.015	0.5	1.085	1.049	1.049	0.0	66.8	60.3 ± 0.9	-1.8	-0.9	61.4 ± 1.0
4P1	1,0E+00	1,4E-03	Th	100 - 560	7	359.4	66.0		1.4					2.1	1.077	1.011	1.065	359.0	65.8					
4P2	3,0E+00	3,7E-03	Th-Th	100 - 530	10	0.2	66.6	62.8 ± 0.7	1.2	0.4	0.81	0.87	62.6	0.011	2.0	1.036	1.016	1.019	359.4	67.0	64.4 ± 0.7	-0.3	-3.4	
5P1	2,1E+00	2,2E-03	Th-Th	100 - 570	12	2.3	65.8	48.0 ± 0.8	1.9	0.4	0.88	0.89	45.9	0.017	2.0	1.052	1.019	1.032	1.4	66.8	49.2 ± 0.8	-5.0	3.4	51.7 ± 0.8
5P2	1,0E+00	1,3E-03	AF	5 - 80	10	1.8	64.8		0.2					2.4	1.061	1.041	1.020	3.4	65.8					
8P1	1,1E+01	1,2E-02	Th	100 - 520	6	2.5	64.9		0.2					2.2	1.094	1.016	1.076	4.4	64.5					
8P2	1,1E+01	1,1E-02	Th-Th	100 - 530	11	4.7	66.3	63.3 ± 0.9	1.7	0.7	0.91	0.88	56.6	0.014	2.7	1.052	1.038	1.038	4.3	65.8	62.5 ± 0.9	0.9	-2.5	
10P1	7,0E+00	8,3E-03	Th-Th	100 - 530	11	13.4	63.4	60.7 ± 1.6	2.4	1.7	0.81	0.89	27.8	0.026	1.6	1.048	1.027	1.027	10.5	63.6	60.6 ± 1.6	1.9	-4.0	
10P3	2,7E+00	3,6E-03	AF	5 - 30	6	12.2	64.4		0.3					1.2	1.058	1.027	1.030	10.8	64.7					
11P1	5,7E+00	7,5E-03	Th-Th	100 - 530	10	7.5	62.1	63.4 ± 1.0	2.7	1.3	0.81	0.84	42.3	0.016	2.5	1.052	1.018	1.030	8.0	62.7	63.2 ± 1.0	4.1	-4.2	
11P2	2,9E+00	4,2E-03	Th	100 - 560	7	0.5	61.0		1.0					2.1	1.097	1.031	1.064	0.3	61.7					
12P	2,8E-01	7,3E-04	Th-Th	100 - 555	11	9.3	62.9	59.0 ± 0.9	2.8	0.4	0.84	0.87	48.8	0.015	0.6	1.064	1.034	1.028	8.8	64.3	60.2 ± 0.9	7.5	-4.5	55.7 ± 0.8
13P1	7,7E+00	9,7E-03	Th	100 - 560	7	9.1	63.7		1.5					1.8	1.054	1.013	1.043	7.9	63.5					
13P2	8,7E+00	1,1E-02	Th-Th	100 - 530	10	9.9	65.9	61.8 ± 0.9	1.3	0.6	0.89	0.88	54.1	0.015	0.4	1.086	1.025	1.057	12.4	66.2	61.5 ± 0.9	0.1	-2.2	
14P1	2,9E+00	2,1E-03	Th	100 - 560	7	353.4	65.1		1.9					2.3	1.092	1.027	1.063	352.6	64.5					
14P2	3,5E+00	2,1E-03	Th-Th	100 - 570	12	5.6	66.0	67.6 ± 1.2	3.0	0.5	0.80	0.85	40.2	0.017	6.5	1.081	1.021	1.058	1.2	65.1	66.8 ± 1.1	-1.0	-5.1	
15P1	7,1E+00	1,1E-02	Th	100 - 520	6	5.7	64.6		0.7					0.5	1.083	1.046	1.032	5.8	65.4					
15P2	9,7E+00	1,1E-02	Th-Th	100 - 500	10	2.6	66.4	62.3 ± 1.1	1.9	1.1	0.82	0.87	38.8	0.018	1.1	1.048	1.018	1.039	2.6	65.6	64.6 ± 1.2	1.9	-1.1	63.4 ± 1.2
16P1	3,4E+00	3,4E-03	AF	5 - 50	8	6.9	64.0		0.4					1.2	1.127	1.025	1.099	1.9	66.5					
16P2	6,4E+00	8,1E-03	Th-Th	100 - 530	10	6.9	65.5	62.0 ± 0.6	1.4	1.2	0.83	0.85	71.3	0.010	1.8	1.090	1.017	1.048	3.6	65.9	63.9 ± 0.6	2.0	-3.0	
17P1	4,3E+00	4,0E-03	Th	100 - 520	6	4.0	65.7		1.0					1.8	1.032	1.021	1.011	3.2	65.2					
17P2	1,1E+01	9,6E-03	Th-Th	100 - 530	11	4.7	65.9	60.5 ± 0.6	1.8	0.3	0.94	0.88	87.8	0.009	3.8	1.060	1.009	1.023	3.4	66.9	63.2 ± 0.6	-2.4	-5.3	
18P1	9,2E+00	8,7E-03	Th-Th	100 - 530	11	13.7	70.7	62.3 ± 0.6	1.5	0.4	0.89	0.89	87.7	0.009	1.2	1.070	1.010	1.047	17.8	71.2	63.2 ± 0.6	1.3	-1.2	
18P2	8,3E+00	7,4E-03	AF	5 - 35	5	15.5	69.9		0.4					5.2	1.166	1.002	1.129	17.3	71.7					
20P1	1,5E+00	2,3E-03	Th	100 - 560	7	6.4	67.8		1.2					1.7	1.082	1.018	1.063	2.0	67.4					
20P2	5,8E+00	6,8E-03	Th-Th	100 - 530	10	359.6	68.6	65.3 ± 1.4	3.0	1.4	0.83	0.85	32.1	0.022	0.9	1.061	1.023	1.012	358.4	69.8	66.6 ± 1.4	5.3	-3.2	63.5 ± 1.4
21P1	3,1E-01	1,1E-03	Th-Th	100 - 470	8	4.5	71.1	61.6 ± 1.4	2.2	0.2	0.66	0.84	23.7	0.023	-2.1	1.033	1.016	1.010	2.7	71.3	60.8 ± 1.4	3.5	-4.0	
21P2	1,3E-01	4,5E-04	AF	5 - 80	10	7.4	70.5		0.1					0.2	1.026	1.026	1.026	7.3	70.2					
22P2	6,5E+00	7,9E-03	AF	5 - 50	6	350.9	65.5		0.8					0.1	1.088	1.023	1.070	354.8	66.2					
22P3	9,7E+00	9,1E-03	Th-Th	100 - 530	11	356.9	65.0	61.6 ± 0.8	1.6	0.6	0.87	0.88	62.2	0.012	1.3	1.042	1.011	1.022	357.1	65.8	62.7 ± 0.8	2.0	-3.7	

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ou protocole de Thellier-Thellier (Th-Th) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

Tous les échantillons sont pris en compte pour le calcul de la direction moyenne et de l'archéointensité moyenne (Tableau 2). La direction moyenne par prélèvement est d'abord calculée (Direction déterminée par le protocole de Thellier-Thellier et direction déterminée par désaimantation thermique ou par champ alternatif), puis la direction moyenne des prélèvements. La Figure 8 montre le très bon regroupement des directions d'aimantation. La dispersion entre les archéointensités est également faible (6% de la valeur moyenne).

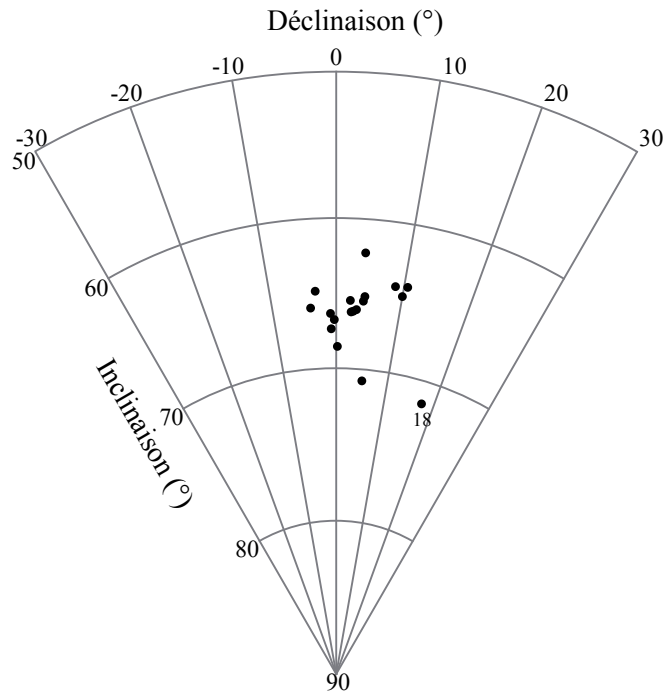


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement

Moyennes sans correction

$$D = 3.93^\circ \quad I = 65.78^\circ \quad N=18, n=35 \quad k=743 \quad \alpha_{95} = 1.27^\circ$$

$$F = 62.0 \pm 4.3 \mu\text{T} \quad N=18, n=18$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = 3.62^\circ \quad I = 66.35^\circ \quad N=18, n=35 \quad k=705 \quad \alpha_{95} = 1.30^\circ$$

$$F = 63.0 \pm 4.3 \mu\text{T} \quad N=18, n=18$$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$$F = 62.8 \pm 4.0 \mu\text{T} \quad N=18, n=18$$

A Paris (VGP et VDM)

$$D_p = 4.29 \pm 3.85^\circ \quad I_p = 70.24 \pm 1.3^\circ \quad F_p = 66.0 \pm 4.0 \mu\text{T}$$

$$\text{VDM} = 9.8 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2 \quad \text{VADM} = 10.5 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$$

Tableau 2 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four 2 d'Agde, Saint-Michel

Bibliographie

Gomez, E., 2002. Aspects de la colonisation d'Agde et de l'exploitation de son territoire : le site de Saint-Michel du Bagnas. Mémoire de DEA, Université d'Aix en Provence, France

Béziers, ZAC-de-la-Domitienne

Code archéomagnétique: 34032A

Contexte archéologique

A l'Age du Fer, Béziers présente un statut particulier dans le Languedoc (Ugolini, 2010), notamment matérialisé par la présence de plusieurs ateliers de production céramique de qualité (Céramique tournée grise monochrome à pâte claire à la place de la Madeleine) ou de tradition grecque (*Pithoi* à la ZAC-de-la-Domitienne). Le site de la ZAC-de-la-Domitienne (Lat : 43.33°N ; Long : 3.25°E) est situé à la périphérie nord-est de Béziers à 3 km environ de l'agglomération protohistorique et en bordure de la voie reliant Béziers au site de la Monédière à Bessan. Le diagnostic en 2000, puis la fouille en 2001 sur 250 m² ont révélé des indices d'une occupation néolithique, un établissement rural du Haut-Empire et quelques rares vestiges de l'âge du Fer comme le four 1009.

Si le four et sa fosse d'alimentation sont conservés juste en-dessous de la sole sur une profondeur de 80 cm, les niveaux de circulation contemporains n'ont pas été retrouvés. Trois trous de poteaux autour du four (Figure 1) permettent de supposer que le four était protégé par un bâtiment construit en matériaux périssables. La fosse d'alimentation (creusée dans le substrat avec des dimensions de 2,75 m sur 1,65 m) communique avec la chambre de chauffe par un alandier (1,0 m de longueur pour 50 cm de large), dont les parois sont construites en gros blocs de calcaire.

La chambre de chauffe (Figure 1), présentant un diamètre de 2,85 m, est creusée dans le substrat argileux local. La sole était supportée par des structures construites en adobes : un muret central (1,52 m sur 0,43m) et deux piliers latéraux (de 0,45 m de côté). Toutes les parois ont été recouvertes d'un enduit d'argile sur une épaisseur d'environ 10 cm pour les parois et d'environ 3 cm pour le muret central et les piliers latéraux. La rubéfaction des parois est très importante. La chambre de chauffe était comblée par des niveaux cendreaux, puis par des fragments d'argile cuite provenant de la sole et des superstructures du four, ainsi que par quelques tessons.

Le four était destiné à la production de *pithoi* comme l'atteste la présence de tessons présentant des traces de surcuisson retrouvés dans le comblement de la chambre de chauffe et de l'alandier. Ce type de récipient, de grande dimension et dévolu au stockage de liquides (vin, huile, eau...) ou de céréales, est introduit en Gaule sous l'influence des Grecs et nécessite un grand savoir-faire pour sa fabrication. La présence d'un tel atelier de production assure à Béziers (dans l'état de la documentation archéologique actuel) un statut particulier dans le sud de la Gaule à l'âge du Fer (Olive *et al.*, 2010).

Datation du fonctionnement du four

Les rares tessons (environ 20) céramiques retrouvés dans le comblement de la chambre de chauffe et de la fosse d'alimentation sont principalement des productions biterroises. Les onze tessons de céramique à pâte claire de Béziers sont chronologiquement peu significatifs. Le TPQ, fixé à 525 av. J.-C. est donné par la présence de céramiques de cuisine tournée à gros dégraissant, qui a été produite massivement par les ateliers biterrois entre la fin du VI^{ème} et la fin du IV^{ème} siècle av. J.-C. L'intervalle de date proposé pour le fonctionnement du four est donc

assez large, [-525 ; -350]. Cet intervalle est confirmé par la présence d'amphores massaliètes (deux tessons). Les fragments de *pithoi* découverts dans le four, présentent une pâte particulière (de couleur brun-rougeâtre avec une texture sableuse et dense), que l'on retrouve à Béziers dans les niveaux archéologiques datés de la fin du VI^{ème} siècle av. J.-C. jusqu'à 350 av. J.-C. (Olive *et al.*, 2010).

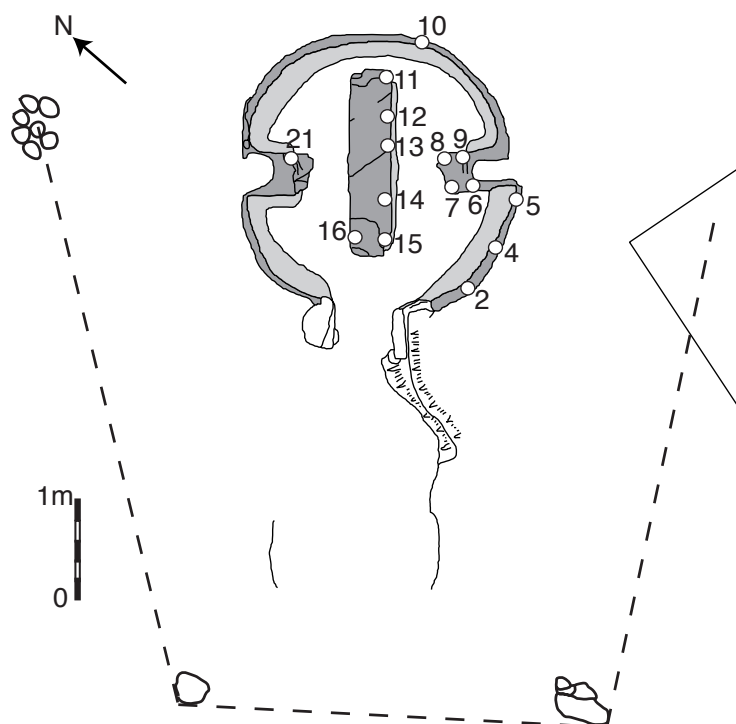


Figure 1 : Plan du four 1009 de la ZAC-de-la-Domitienne à Béziers et localisation des prélèvements archéomagnétiques. (d'après Olive *et al.*, 2010)

Prélèvement archéomagnétique

Quinze prélèvements ont été réalisés par Céline Jandot (INRAP) le 6 mars 2001. Ils sont situés, sur le pourtour des parois, sur le muret central et sur les deux piliers latéraux (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté, après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 1).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Neuf fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour quatre échantillons.

Les désaimantations thermique et par champ alternatif ont respectivement été appliquées sur 15 et 17 échantillons. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD et les désaimantations par champ alternatif au magnétomètre cryogénique. Le tenseur

d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour l'ensemble de ces échantillons à 450°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à 14 échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60 ou 70 μT appliqué selon l'axe Y des spécimens (soit quasi perpendiculairement à l'ARN). 11 chauffes ont été réalisées entre 100 et 560°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 470 ou 480°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 570°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,3°C/min (soit un refroidissement sur environ 24 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.2 et 34 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 50 et 1900 10^{-5}SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 5 et 24 (Figure 2a). Ces forts rapports présupposent une minéralogie magnétique stable plutôt portée par des grains mono-domaines. Cette variabilité illustre la variabilité de la chauffe : les échantillons les moins aimantés sont situés en périphérie du foyer (2, 3, 4, 9, 15, 19 et 21).

Les températures de déblocage de l'ensemble des échantillons sont assez homogènes (Figure 2b) avec des Median Demagnetizing Temperatures (MDT) entre 400 et 500°C. Pour la majorité des échantillons (Figure 2c), les Median Demagnetizing Field (MDF) compris entre 15 et 23 mT marquent la prédominance d'une phase de faible coercivité. Les courbes thermomagnétiques et les acquisitions d'ARI (Figure 3) indiquent que cette phase ferromagnétique est une magnétite pauvre en titane : les points de Curie principaux sont compris entre 540 et 570°C, et les champs coercitifs rémanents H_{cr} entre 21 et 26 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} entre 4 et 200 A/m. Les courbes thermomagnétiques illustrent aussi la variabilité de la minéralogie magnétique, comme certains échantillons présentent également des points de Curie faibles de l'ordre de 150°C ou 400°C.

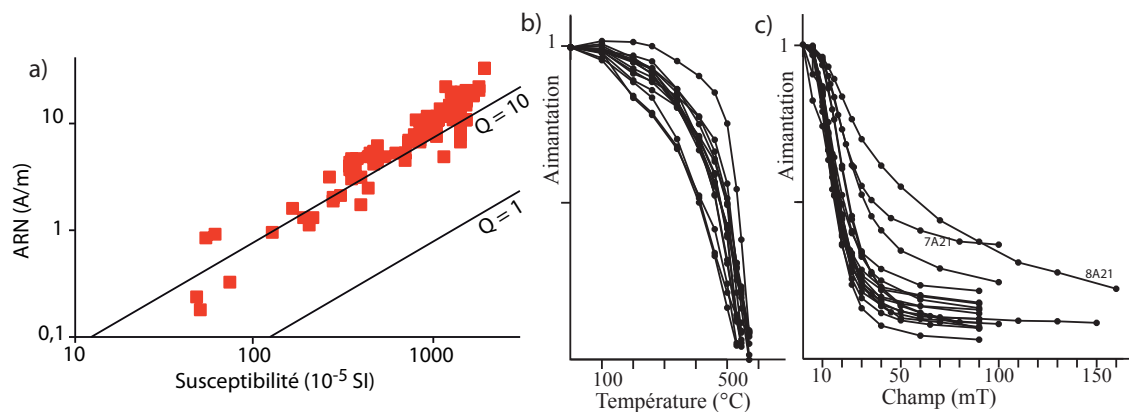


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de la ZAC-de-la-Domitienne à Béziers. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

Annexe 3 : Etude des sites français, Béziers ZAC-de-la-Domitienne

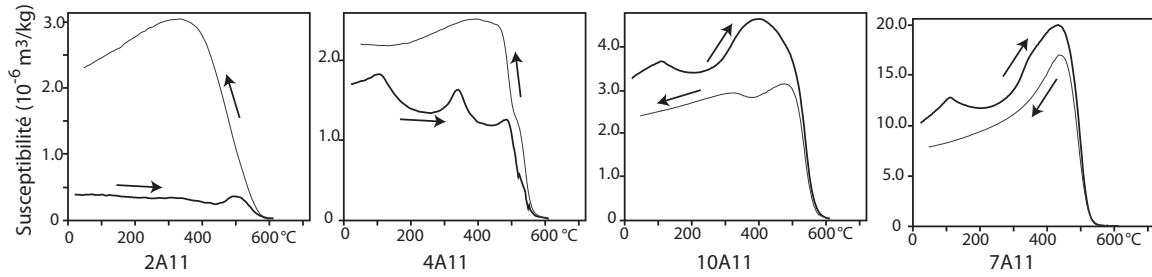


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

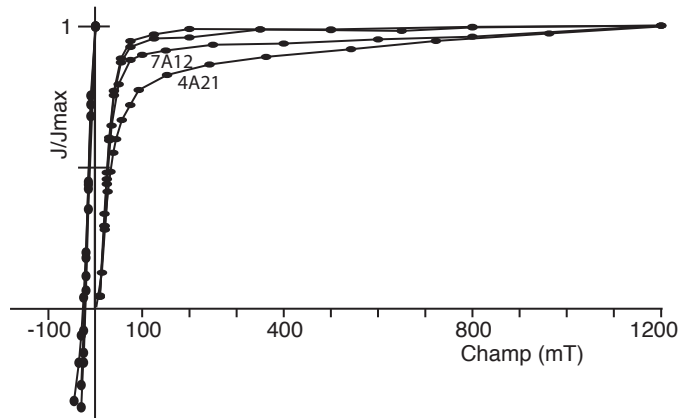


Figure 4 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 4 échantillons du four de Béziers (4A21, 7A12, 8A24, 16A22).

Certains échantillons, notamment le prélèvement 7, portent aussi une phase de plus forte coercivité (Figure 2c et Figure 4), peut-être de la titanohématite. Mais, comme sa présence ne peut en général pas être détectée par les courbes thermomagnétiques, cette hypothèse reste à confirmer. Il faut aussi également remarquer que la variabilité au sein du prélèvement peut être élevée : par exemple le spécimen 8A21 a un MDF égal à 59mT et son spécimen-frère 8A14 égal à 19mT. Cet exemple montre la difficulté d'identifier les phases ferromagnétiques, (sauf la magnétite facilement identifiable car très aimantée) à cause de l'hétérogénéité du matériau.

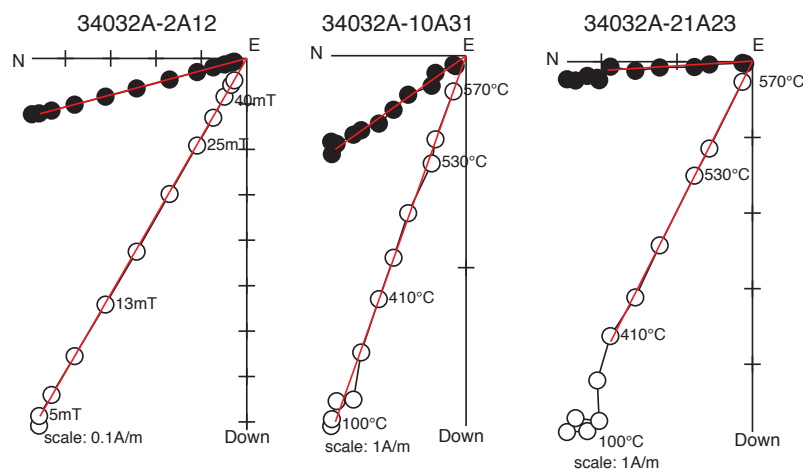


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs d'un spécimen désaimanté par champ alternatif (à gauche) et thermiquement (au centre et à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

La présence de magnétite, les fortes intensités d'ARN, les forts rapports de Koenigsberger et les températures de déblocage assez élevées supposent que le four de la ZAC-de-la-Domitienne est une structure très propice pour l'archéointensité. Cependant, des évolutions minéralogiques sont prévisibles d'après l'irréversibilité de certaines courbes thermomagnétiques.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Tous les échantillons désaimantés présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Les ChRM déterminées sont récapitulées dans le tableau 1. Les prélèvements provenant des parois (2, 4, 5 et 10) tendant à avoir des déclinaisons plus occidentales que les prélèvements provenant du muret central et des piliers latéraux.

Protocole de Thellier-Thellier

Les quatorze spécimens donnent d'excellents résultats (Tableau 1 et Figure 6) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Ils respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Même si certaines courbes thermomagnétiques sont irréversibles, les échantillons-frères donnent d'excellents résultats : ceci illustre la prudence à utiliser les courbes thermomagnétiques pour la sélection des échantillons en archéointensité.

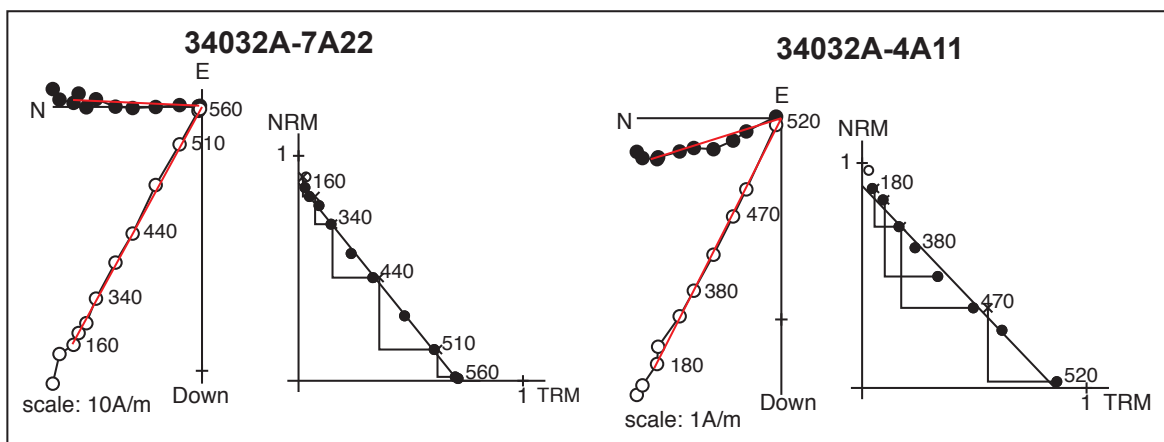


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 2 et 17% (Tableau 1). Il ne semble pas y avoir de différence entre les prélèvements des parois et les autres prélèvements. La direction de l'axe maximal k_1 du tenseur tend à se confondre avec la verticale (Figure 7). Cette configuration pourrait indiquer que l'enduit d'argile recouvrant les structures du four a majoritairement été appliqué verticalement. L'application de la correction d'anisotropie améliore considérablement le regroupement des archéodirections et des archéointensités (Tableau 2).

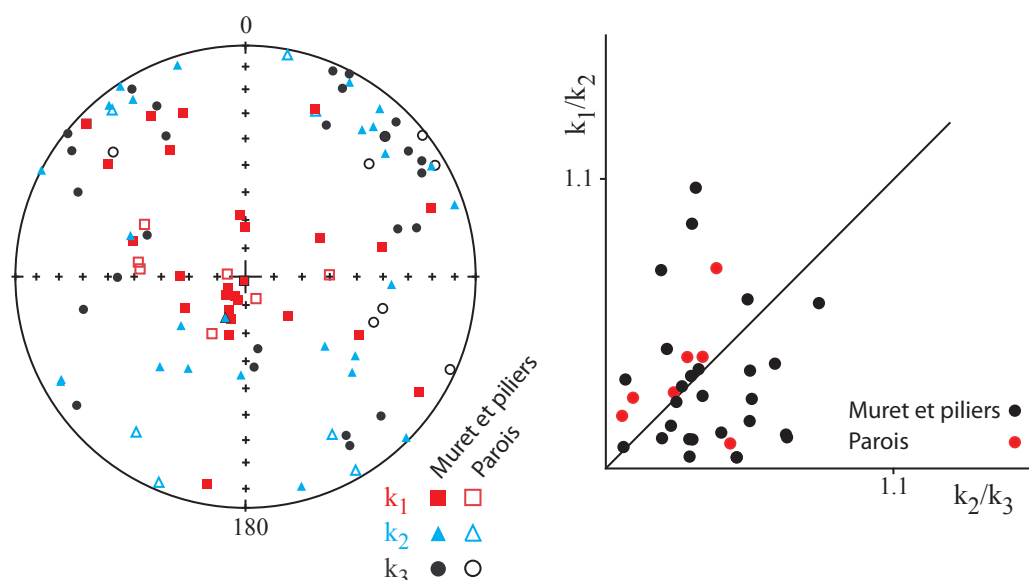


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les échantillons qui proviennent des parois du four sont distingués des échantillons provenant du muret central et des piliers latéraux.

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est comprise entre 5 et 15% (Tableau 1). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à l'ensemble des échantillons et regroupe significativement les archéointensités (Tableau 2).

Annexe 3 : Etude des sites français, Béziers ZAC-de-la-Domitienne

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie						Vitesse de refroidissement				
														Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a \pm std (μ T)	%corr	%evol	F _{a+c} \pm std (μ T)	
34032A-2A31	3,2E+00	3,6E-03	Th-Th	100 - 520	9	344,5	60,0	82,4 \pm 1,9	3,2	2,1	0,81	0,83	28,5	0,023	-4,6	1,042	1,036	1,005	342,5	60,5	83,2 \pm 1,9	15,5	-0,3	70,3 \pm 1,6
34032A-2A12	9,4E-01	1,3E-03	AF	5 - 90	11	346,1	59,1		0,2					2,6	1,085	1,048	1,035	345,1	58,7					
34032A-2A32	1,1E+00	2,0E-03	Th	100 - 570	10	347,8	57,4		1,2					-3,0	1,138	1,087	1,048	342,6	56,5					
34032A-4A11	1,6E+00	1,6E-03	Th-Th	180 - 520	8	341,0	61,4	73,2 \pm 3,4	2,6	0,6	0,96	0,83	17,1	0,046	-8,2	1,074	1,048	1,025	341,3	62,1	77,1 \pm 3,6	11,9	2,2	67,9 \pm 3,1
34032A-4A12	3,2E-01	7,4E-04	Th	100 - 570	10	349,3	60,0		0,9					-3,1	1,065	1,011	1,054	348,7	59,9					
34032A-4A22	2,1E+00	3,0E-03	AF	5 - 90	10	347,2	61,4		0,3					1,3	1,042	1,031	1,011	348,5	60,8					
34032A-5A12	1,3E+00	2,1E-03	Th	100 - 570	10	341,2	60,8		1,5					-2,2	1,030	1,023	1,007	341	60,2					
34032A-6A11	1,5E+01	1,5E-02	Th	200 - 530	7	359,8	66,6		1,1					-7,1	1,164	1,121	1,039	359,6	64,8					
34032A-6A21	1,8E+01	1,6E-02	Th-Th	180 - 520	8	354,1	65,9	77,1 \pm 2,7	1,9	0,9	0,86	0,84	20,7	0,035	-3,7	1,086	1,041	1,044	355,4	65,2	77,9 \pm 2,7	5,3	1,7	73,8 \pm 2,6
34032A-6A12	5,2E+00	6,1E-03	AF	5 - 90	10	359,6	66,0		0,3					-2,8	1,121	1,045	1,073	0,3	64,6					
34032A-7A21	1,2E+01	1,0E-02	AF	5 - 100	12	3	62,3		0,9					-2,1	1,046	1,018	1,028	5,6	62,0					
34032A-7A22	1,2E+01	9,1E-03	Th-Th	160 - 540	9	2,3	61,3	74,2 \pm 1,0	2,3	0,5	0,96	0,85	64,7	0,013	-5,4	1,116	1,043	1,071	5,0	62,9	79,0 \pm 1,0	16,0	1,6	66,4 \pm 0,9
34032A-7A13	8,8E+00	8,4E-03	Th	100 - 545	9	4,8	61,4		1,6					-6,7	1,107	1,042	1,062	5,9	60,9					
34032A-8A21	1,7E+00	3,9E-03	AF	5 - 160	14	6,2	66,0		0,2					-1,1	1,041	1,005	1,036	5,9	65,9					
34032A-8A22	1,1E+01	7,9E-03	Th-Th	100 - 520	9	2,4	64,3	79,1 \pm 3,2	2,2	1,5	0,85	0,83	17,8	0,04	-3,3	1,086	1,026	1,058	4,6	64,9	84,7 \pm 3,4	13,1	0,6	73,6 \pm 2,9
34032A-8A13	1,6E+01	1,5E-02	Th	340 - 570	7	4,1	64,5		1,3					-4,6	1,065	1,015	1,050	5,5	65,1					
34032A-8A24	9,6E+00	9,0E-03	AF	5 - 90	10	4,9	63,3		0,5					-5,9	1,078	1,040	1,036	7,5	61,8					
34032A-9A11	2,0E+01	1,2E-02	Th	100 - 545	9	0,5	68,0		1,0					-5,2	1,146	1,105	1,037	0,7	65,3					
34032A-2A01	2,0E+01	1,3E-02	Th-Th	160 - 540	9	0,6	67,5	74,1 \pm 3,2	1,4	0,2	0,99	0,77	18,1	0,043	-6,4	1,111	1,051	1,058	356,6	66,7	75,6 \pm 3,2	8,5	0,6	69,2 \pm 3,0
34032A-9A32	2,1E+01	1,8E-02	AF	5 - 90	12	7,9	68,5		0,5					-2,6	1,092	1,013	1,078	6,6	67,6					
34032A-10A11	4,6E+00	4,9E-03	Th-Th	100 - 565	11	341,3	66,6	78,7 \pm 3,2	2,1	0,8	0,93	0,85	19,4	0,041	-6,8	1,065	1,039	1,026	342,8	66,0	82,5 \pm 3,4	11,4	-0,9	73,1 \pm 3,0
34032A-10A21	3,2E+00	3,9E-03	AF	5 - 90	10	341,4	68,1		0,2					-4,1	1,063	1,033	1,029	342,1	67,6					
34032A-10A31	1,9E+00	2,8E-03	Th	100 - 570	10	345,5	66,3		1,2					-1,9	1,092	1,048	1,042	340,2	65,3					
34032A-11A31	1,1E+01	1,4E-02	Th-Th	160 - 540	9	354,4	66,9	70,9 \pm 1,7	1,5	0,5	0,97	0,84	34,1	0,024	-5,0	1,087	1,049	1,035	356,5	67,1	75,6 \pm 1,8	9,6	0,0	68,3 \pm 1,6
34032A-11A12	6,6E+00	8,3E-03	Th	100 - 545	9	357,7	63,7		1,1					-3,9	1,050	1,012	1,037	358,3	62,8					
34032A-11A23	4,9E+00	4,3E-03	AF	5 - 90	9	353,8	65,0		0,6					-9,5	1,037	1,012	1,024	354,1	64,6					
34032A-12A11	9,4E+00	1,4E-02	Th-Th	180 - 520	8	352,2	64,2	76,2 \pm 2,8	2,0	0,6	0,88	0,82	20,4	0,036	-1,0	1,091	1,050	1,039	353,8	65,2	79,2 \pm 2,9	14,7	1,3	67,6 \pm 2,4
34032A-12A21	8,2E+00	1,4E-02	Th	260 - 530	6	358,6	65,0		1,5					-3,3	1,046	1,038	1,008	356,6	64,5					
34032A-12A12	4,9E+00	1,1E-02	AF	5 - 90	11	353,5	64,6		0,3					-4,8	1,016	1,009	1,007	353,8	64,6					
34032A-13A21	1,7E+01	1,5E-02	AF	5 - 100	12	3,9	67,4		0,7					0,4	1,069	1,035	1,032	1,3	66,2					
34032A-13A22	1,2E+01	1,2E-02	Th	100 - 545	9	1,2	66,2		1,1					-5,1	1,170	1,071	1,092	356	63,4					
34032A-13A13	7,6E+00	1,0E-02	AF	5 - 90	10	355,5	67,4		0,9					-5,5	1,074	1,031	1,042	355,9	66,1					
34032A-13A23	8,0E+00	9,5E-03	Th-Th	100 - 540	10	3,4	65,4	71,8 \pm 2,0	1,9	0,1	0,96	0,86	29,6	0,028	-5,2	1,126	1,082	1,040	356,7	66,5	75,6 \pm 2,1	11,2	-0,8	67,1 \pm 1,9
34032A-14A11	1,5E+01	1,3E-02	Th	280 - 545	7	358,6	63,5		0,9					-5,5	1,111	1,085	1,023	359,3	63					
34032A-14A21	1,5E+01	1,2E-02	Th-Th	180 - 566	10	353,7	61,2	78,9 \pm 1,4	1,3	0,6	0,96	0,85	46,3	0,018	-5,8	1,103	1,016	1,086	355,8	63,7	82,6 \pm 1,5	10,3	0,4	74,1 \pm 1,3
34032A-14A13	3,1E+00	2,6E-03	AF	5 - 90	10	352,4	59,7		0,7					-9,9	1,094	1,029	1,064	355,6	61,5					
34032A-15A11	1,0E+01	9,5E-03	AF	5 - 90	10	356,8	65,9		0,8					-3,9	1,061	1,005	1,056	357,2	65,5					
34032A-15A12	3,7E+00	3,4E-03	Th-Th	100 - 540	10	355,5	67,1	70,9 \pm 1,8	2,8	2,4	0,73	0,81	24,0	0,025	-4,7	1,081	1,014	1,066	358,0	67,2	74,8 \pm 1,9	8,4	0,5	68,5 \pm 1,7
34032A-15A13	8,4E-01	5,4E-04	Th	100 - 570	10	0,8	64,4		1,5					-3,5	1,084	1,043	1,040	358	64,1					
34032A-16A11	1,4E+01	1,9E-02	Th	100 - 570	10	359,5	66,6		1,1					-9	1,138	1,073	1,061	359	65,5					
34032A-16A12	1,9E+01	1,6E-02	Th-Th	160 - 560	9	354,5	64,5	71,6 \pm 1,6	1,8	0,1	0,98	0,83	37,1	0,022	-9,8	1,126	1,044	1,079	356,3	65,4	79,4 \pm 1,8	8,2	0,3	72,9 \pm 1,6
34032A-16A13	1,1E+01	1,1E-02	AF	5 - 90	9	352,7	64,2		0,9					-3,6	1,083	1,020	1,062	356,6	64,4					
34032A-21A21	2,1E+01	1,5E-02	AF	20 - 100	8	352,3	67,3		1,0					-1,0	1,059	1,028	1,030	351,2	67,6					
34032A-21A13	6,1E+00	4,9E-03	Th-Th	100 - 560	11	352,3	61,8	71,7 \pm 1,9	2,4	1,0	0,89	0,84	29,7	0,026	-8,2	1,153	1,117	1,033	354,3	62,8	79,5 \pm 2,1	10,4	0,0	71,2 \pm 1,9
34032A-21A23	5,5E+00	4,6E-03	Th	410 - 570	6	356,2	63,0		0,7					-6,5	1,048	1,012	1,036	355,2	63,1					
34032A-21A33	5,2E+00	4,4E-03	AF	10 - 150	12	348,6	64,2		0,4					-9,4	1,078	1,051	1,026	346,3	63,9					

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ou protocole de Thellier-Thellier (Th-Th) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne par prélèvement est d'abord calculée (Direction déterminée par le protocole de Thellier-Thellier et direction déterminée par désaimantation thermique ou par champ alternatif), puis la direction moyenne des prélèvements. La Figure 8 montre la répartition des directions d'aimantation. Les prélèvements 2, 4, 5 et 10 provenant des parois du four présentent une direction différente des autres prélèvements. Cette différence est probablement due à des mouvements post-cuisson des parois du four, moins stables que le muret central ou les piliers latéraux. Ces échantillons ne sont pas pris en compte pour le calcul de la direction moyenne et de l'archéointensité moyenne (Tableau 2).

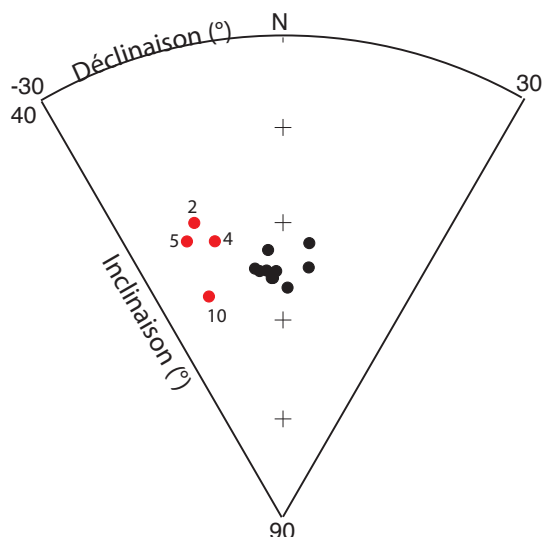


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement. Les prélèvements 2, 4, 5 et 10 provenant des parois du four ont une direction d'aimantation hors-tendance

Moyennes sans correction

$D = -1.7^\circ$ $I = 64.9^\circ$ $N=11, n=35$ $k=981$ $\alpha_{95} = 1.5^\circ$
 $F = 75.0 \pm 3.7 \mu T$ $N=14, n=14$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -1.3^\circ$ $I = 64.7^\circ$ $N=11, n=35$ $k=1386$ $\alpha_{95} = 1.2^\circ$
 $F = 79.2 \pm 3.2 \mu T$ $N=14, n=14$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$F = 70.1 \pm 2.8 \mu T$ $N=14, n=14$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -1.4 \pm 3.3^\circ$ $I_p = 68.7 \pm 1.2^\circ$ $F_p = 73.9 \pm 2.8 \mu T$
 $VDM = 11.3 \cdot 10^{22} A.m^2$ $VADM = 11.7 \cdot 10^{22} A.m^2$

Tableau 2 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four 1009 de la ZAC-de-la-Domitienne à Béziers.

Bibliographie

Olive, C., Ugolini, D., Ratsimba, A., Jandot, C. & Wiégant, J.P., 2010. Un four de potier de l'Age du Fer pour la cuisson de *pithoi* à Béziers (Herault), production, diffusion et fonction du *pithos* dans le Midi (VI^e-IV^e s. av. J.-C.), *Gallia*, 66, 2, 29-57

Ugolini, D., 2010. De la vaisselle au matériau de construction : techniques et emplois de la terre cuite en tant que traceur culturel (VI-IV^{ème} siècles av. J.-C.), in *Greco et indigènes de la Catalogne à la mer Noire*, Errance, Paris, 433-454

Bouriège, « devant-la-ville »

Code archéomagnétique: 11045A, 11045B et 11045C

Contexte archéologique (D'après Séjalon, 1998)

A 10 km au sud de Limoux, la commune de Bouriège (Lat : 42.98°N ; Long : 2.17°E) présente plusieurs vestiges d'une occupation des âges du Fer, qui reste encore mal connue. Les vestiges se concentrent particulièrement sur les parcelles « Devant-la-ville » situées au pied de l'éperon du Carla. La localisation de ce site, situé à environ 100km du littoral et à proximité de l'axe de circulation Aude-Garonne, offre la possibilité d'étudier une communauté à l'interface entre les zones d'influences méditerranéennes et « celtiques ».

Des fouilles de sauvetage urgent, en préalable à des travaux agricoles, ont été menées du 1^{er} au 15 octobre 1997 sous la direction de Pierre Séjalon (UMR 5140 à Lattes) sur une parcelle de 400 m². La fouille s'est concentrée sur les huit zones les plus riches en vestiges. Sur les zones 1, 2, 4 et 5, huit fours de potiers, dans un état de conservation variable, ont été mis au jour. Ces fours, creusés dans le substrat, sont constitués par une chambre de chauffe et une aire de chauffe, reliées par un alandier. Différents dispositifs de soutènement de la sole ont été mis en évidence avec un ou plusieurs piliers centraux de taille variable. La sole était constituée de barreaux d'argile disposés de manière rayonnante (four 6), mais aussi d'amphores italiennes comme pour le four 4 (non prélevé pour l'archéomagnétisme).

La production de cet important atelier de potiers de la fin du second âge du Fer reste probablement locale et spécialisée avec des vases tournés ou non tournés à cuisson réductrice (Séjalon, 1998). Le répertoire des formes produites se rapproche des céramiques dites « celtiques », mais certaines formes s'inspirent aussi des modèles méditerranéens contemporains (comme la céramique campanienne). Par sa production, cet atelier peut être rapproché du site de la Lagaste également situé dans l'Aude (Rancoule, 1970).

En l'absence de céramiques d'importation méditerranéenne, la datation repose principalement sur les amphores italiennes (notamment des Dressel 1A, bord 2) et les imitations locales de céramiques campaniennes (formes 31, 33 et 36 de la classification de Lamboglia, 1952). Cet assemblage permet de dater le fonctionnement de l'atelier et donc des trois fours prélevés par archéomagnétisme (1, 5 et 6) dans l'intervalle [-150 ; -50] (Séjalon, 1998).

Les fours 1, 5 et 6 ont été prélevés le 13 octobre 1997 par Céline Jandot (AFAN, puis INRAP Méditerranée). Les prélèvements ont été orientés à la boussole seulement (absence de soleil). Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 11045A-1A11 (Cf. Annexe 2).

A) Etude du four 1 (11045A)

Description et datation du four

Le four 1 est situé sur la zone 2 du site, qui comprend un apprentis (probable local lié à la production d'un atelier) et trois fours disposés en étoile autour d'une fosse (Figure 1). Les fours 2 et 3 n'ont pas été conservés et seule la rubéfaction du sédiment atteste de leur présence. La

stratigraphie de la fosse a permis de retrouver la chronologie relative des trois fours : les fours ont fonctionné dans l'ordre suivant, four 1, puis 2, puis 3.

La chambre de chauffe du four 1 a un diamètre d'1,4 m et est conservée sur une élévation de 30 cm. Les parois sont enduites d'argile. Le dispositif de soutènement de la sole est un pilier central. L'alandier, conservé sur toute sa longueur, est protégé par une grande dalle. Sur les quinze prélèvements initiaux, huit ont finalement pu être utilisés en raison de la grande friabilité du matériel (Figure 1).

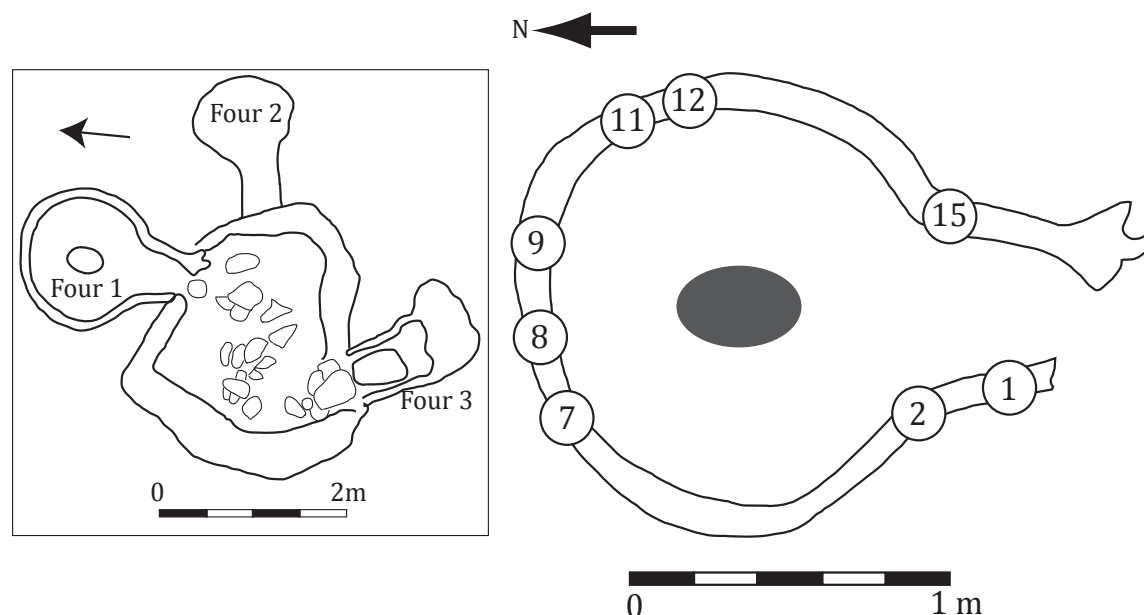


Figure 1 : l'atelier de la zone 2 du site de « devant-la-ville » avec les trois fours et plan détaillé du four 1 avec localisation des prélèvements. (D'après Séjalon, 1998).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 250°C, puis 400 ou 450°C et enfin 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Treize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 575°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 420°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à huit échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60 μ T appliqué selon l'axe Y des spécimens. Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 575°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 545°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 575°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements du four 1 ont des fortes intensités d'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.6 et 19 A/m) et des fortes susceptibilités en champ faible (entre 123 et 2900 10^{-5} SI). Les rapports de Koenigsberger Q correspondants sont compris entre 1 et 11 (Figure 2a). Ces fortes valeurs indiquent *a priori* une bonne stabilité de la minéralogie magnétique. Le nombre de prélèvements n'est pas suffisant pour tenter d'expliquer la variabilité en fonction de la position des prélèvements. Les échantillons ont des températures de débloccage similaires, sauf le prélèvement 15 (Figure 2b).

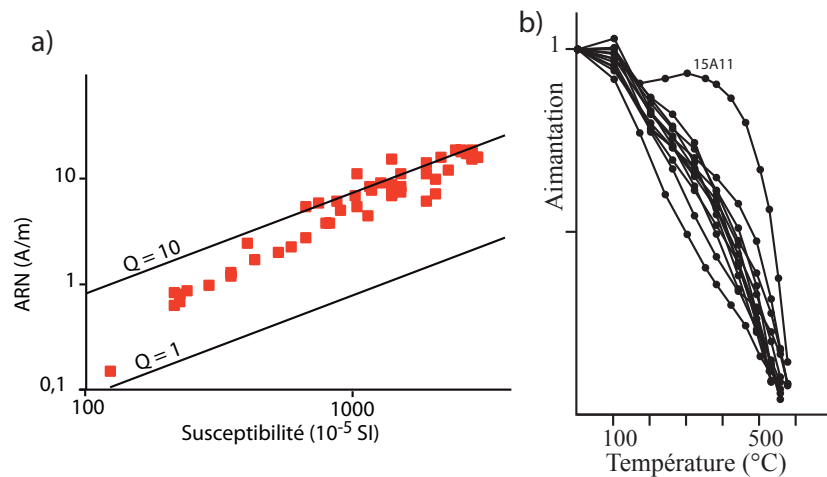


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four 1. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

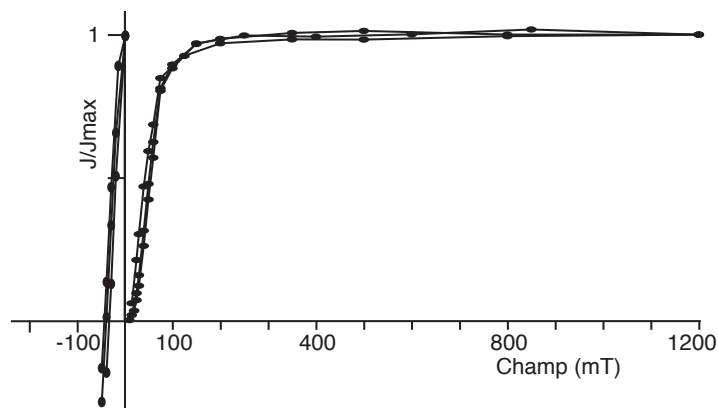


Figure 3 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 3 échantillons du four 1 (2A22, 7A12 et 15A12). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 45, 40 et 34 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 163, 398 et 32 A/m.

Les acquisitions d'ARI (Figure 3) montrent que l'aimantation est portée uniquement par des phases ferromagnétiques de faible coercivité. La phase prépondérante, qui est parfois la seule phase présente d'après les effets Hopkinson (par exemple pour 7A22, Figure 4) est une titanomagnétite pauvre en titane avec des points de Curie entre 550 et 570°C. Le prélèvement 15 se distingue par une seconde phase (probablement aussi une titanomagnétite) avec un point de Curie à 450°C. L'irréversibilité des courbes thermomagnétiques rend *a priori* le prélèvement 15 moins propice à la paléointensité.

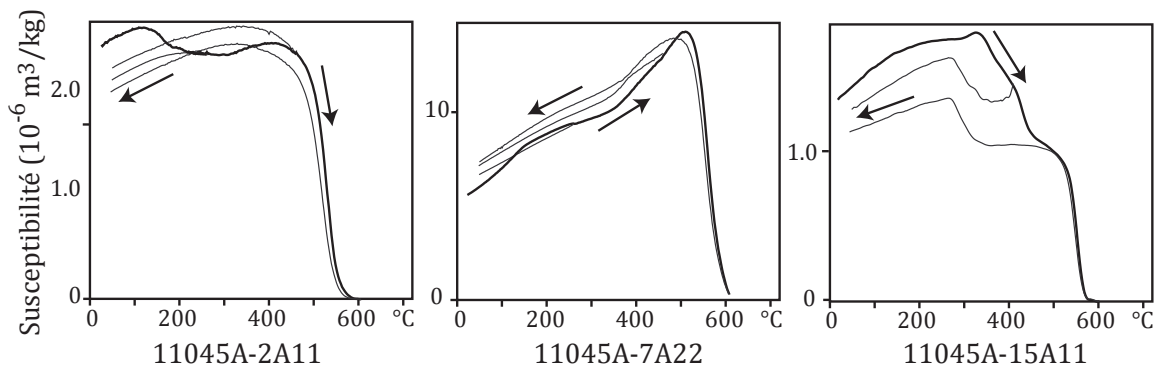


Figure 4 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

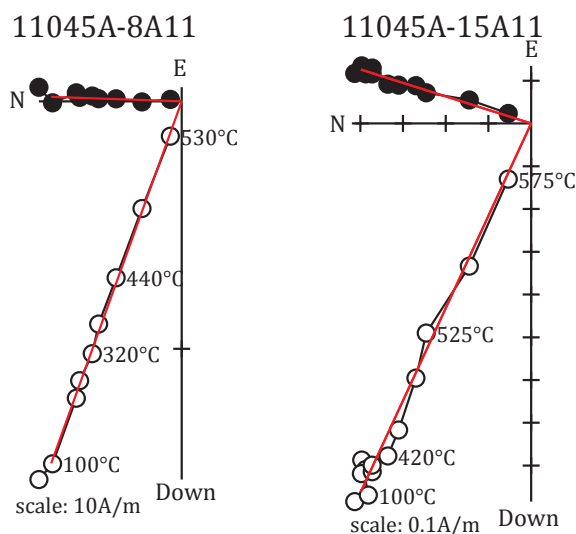


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du four 1. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 6 et 12% (Tableau 1). A l'échelle de la structure, l'axe maximal d'anisotropie est proche de la verticale. Cette fabrique d'anisotropie serait acquise lors de la mise en place de l'enduit d'argile sur les parois. La correction d'anisotropie améliore le regroupement des archéodirections (Tableau 3).

Annexe 3 : Etude des sites français, Bouriège « devant-la-ville »

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
11045A-1A23	1,7E+00	4,3E+02	100 - 575	10	356.1	66.4	1.4	-3.3	1.061	1.005	1.056	357.8	66.2
11045A-2A12	3,8E+00	8,1E+02	100 - 555	9	356.6	66.2	1.4	-2.5	1.071	1.020	1.049	357.1	66.4
11045A-2B11	7,1E+00	2,0E+03	100 - 555	9	355.0	65.5	1.4	-2.9	1.086	1.069	1.015	357.4	64.6
11045A-7A11	1,4E+01	1,9E+03	200 - 530	7	2.5	74.0	1.6	-6.0	1.082	1.049	1.031	3.6	72.7
11045A-7B11	1,6E+01	2,1E+03	200 - 555	8	9.4	72.1	0.8	-7.5	1.126	1.071	1.052	7.7	70.1
11045A-8A11	1,6E+01	2,9E+03	100 - 530	8	2.0	70.1	0.8	-4.9	1.081	1.020	1.059	3.1	69.7
11045A-8A13	1,5E-01	1,2E+02	100 - 525	10	1.7	61.0	1.2	-3.4	1.042	1.029	1.013	0.8	60.0
11045A-9A11	1,5E+01	2,8E+03	100 - 530	8	349.9	71.1	1.2	-5.7	1.088	1.057	1.029	348.0	70.2
11045A-9B11	1,0E+01	2,0E+03	100 - 555	9	348.4	69.8	0.7	-6.0	1.080	1.046	1.033	349.4	67.7
11045A-11A21	7,2E+00	1,4E+03	200 - 575	9	354.5	67.8	0.8	-3.7	1.063	1.019	1.043	355.6	66.4
11045A-12A11	5,3E+00	1,0E+03	100 - 575	10	14.6	64.4	1.1	-2.6	1.074	1.040	1.032	14.7	63.7
11045A-12B11	1,6E+01	2,9E+03	200 - 555	8	17.5	66.5	1.5	-1.4	1.093	1.060	1.031	18.7	64.7
11045A-15A11	9,8E-01	2,9E+02	100 - 575	12	17.6	64.1	1.4	-4.5	1.078	1.028	1.049	18.4	62.5

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le four 1

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

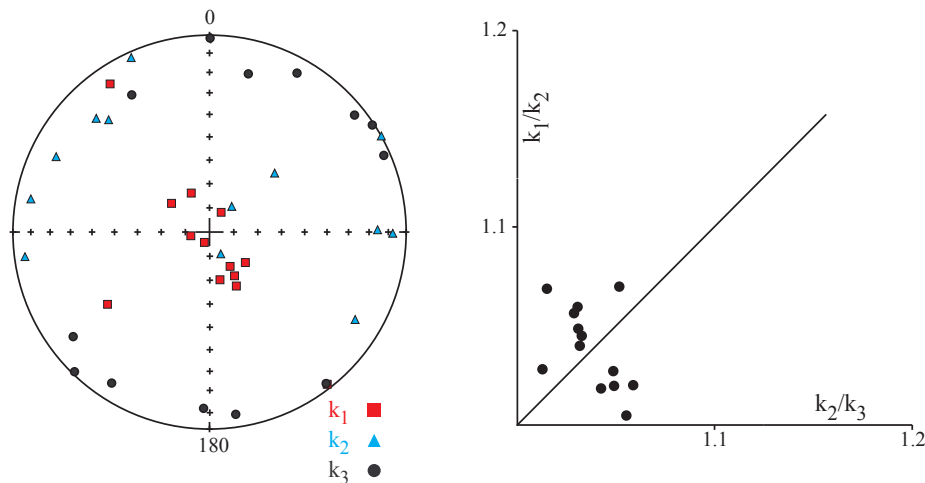


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K₁, K₂ et K₃ des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le four 1.

Protocole de Thellier-Thellier

Les fortes intensités d'aimantation et la réversibilité correcte de la majorité des courbes thermomagnétiques laissent supposer une bonne stabilité au cours des chauffes successives. Cependant, dès les premiers paliers de température (inférieurs à 200°C), la direction de l'ARN est déviée dans la direction du champ du laboratoire, ce qui indique des évolutions minéralogiques (Figure 7 au milieu et à droite). Ces évolutions se caractérisent souvent aussi par une convexité plus ou moins prononcée du diagramme ARN-ATR. Un seul échantillon (Figure 7 à gauche, Tableau 2) a un diagramme ARN-ATR linéaire sans déviation de la direction d'ARN et respecte les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; f>0.4 ; Mad<5° ; Dang<5° ; β<0.05). Cet échantillon 15A11 semblait pourtant le moins propice pour l'archéointensité. Aucune archéointensité moyenne n'est donc obtenue pour le four 1 de Bouriège.

Résultats

Les directions d'aimantation des prélèvements 12 et 15 semblent hors-tendance par rapport aux autres prélèvements (Figure 8). Ces deux prélèvements ne sont pas pris en compte dans le calcul de la statistique de Fisher (Tableau 3).

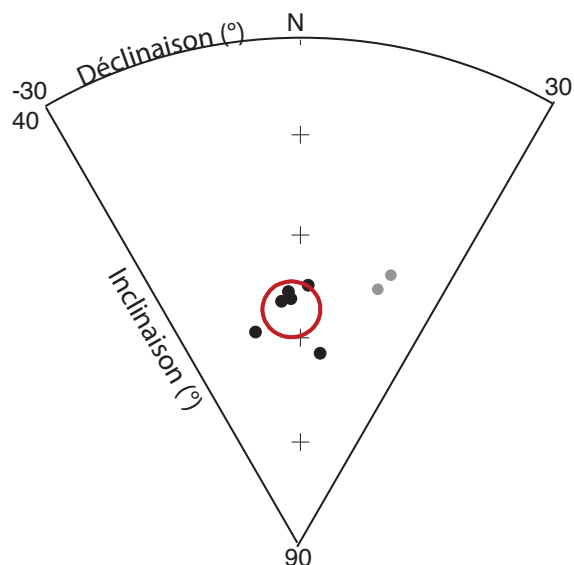


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le four 1. Les prélèvements 12 et 15 (points gris) sont considérés comme hors-tendance.

Moyennes sans correction

$$D = -2.9^\circ \quad I = 68.3^\circ \quad N=6, n=10 \quad k=497 \quad \alpha_{95} = 3.0^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = -2.3^\circ \quad I = 67.3^\circ \quad N=6, n=10 \quad k=602 \quad \alpha_{95} = 2.7^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -2.7 \pm 8.4^\circ \quad I_p = 71.3 \pm 2.7^\circ$$

Tableau 3 : Archéodirection moyenne du four 1 (11045A)

B) Etude du four 6 (11045B)

Description et datation du four

Le four 6 est situé sur la zone 4 du site, très arasée par les travaux agricoles. Le four est conservé sur une élévation de 10cm. Sa forme plus allongée (la longueur est 2,3 m pour un élargement de 1,4m) se distingue des autres fours du site. La sole, probablement constituée des barreaux d'argile retrouvés dans le comblement du four, était soutenue par deux piliers centraux allongés (Figure 9). Les 12 prélèvements se situent sur les parois du four (8) ou sur les piliers centraux (5).

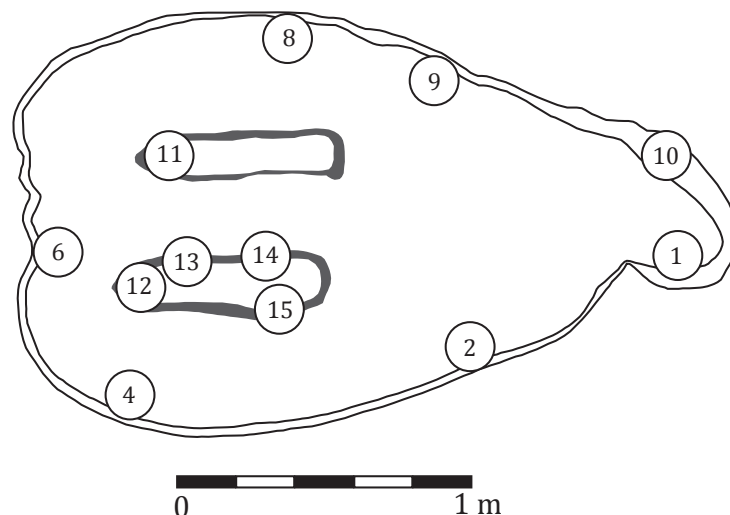


Figure 9: Four 6 du site de « devant-la-ville », avec localisation des prélèvements archéomagnétiques. (D'après Séjalon, 1998)

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400°C, puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Quinze échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 575°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 420°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à onze échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60 μ T appliqué selon l'axe Y des spécimens. Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 575°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 545°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 575°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

La minéralogie ferromagnétique du four 6 est proche de celle du four 1. Les intensités d'ARN sont comprises entre 1 et 12 A/m et les fortes susceptibilités en champ faible entre 340 et 3400 10^{-5} SI, ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 3 et 7 (Figure 10a). Aucune différence significative n'est observée entre les prélèvements des piliers et des parois. Les échantillons ont des températures de déblocage similaires (Figure 10b).

Les pics Hopkinson des courbes thermomagnétiques (Figure 12) montrent que l'aimantation est portée par une seule phase de faible coercivité (Figure 11). D'après les points de Curie autour de 560°C, cette phase est identifiée comme une titanomagnétite pauvre en titane.

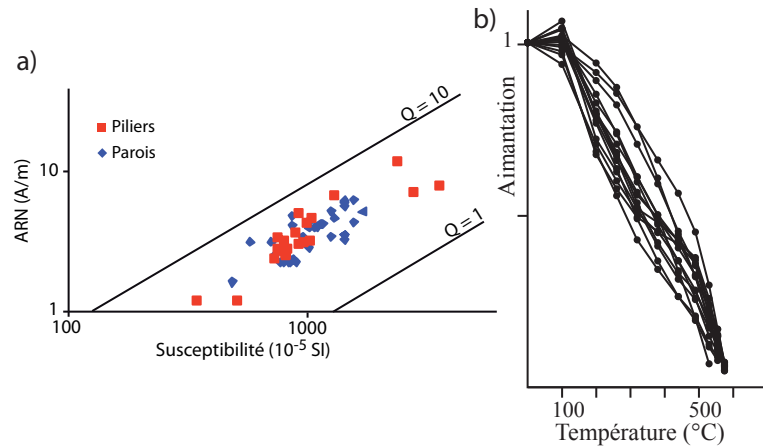


Figure 10 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four 6. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

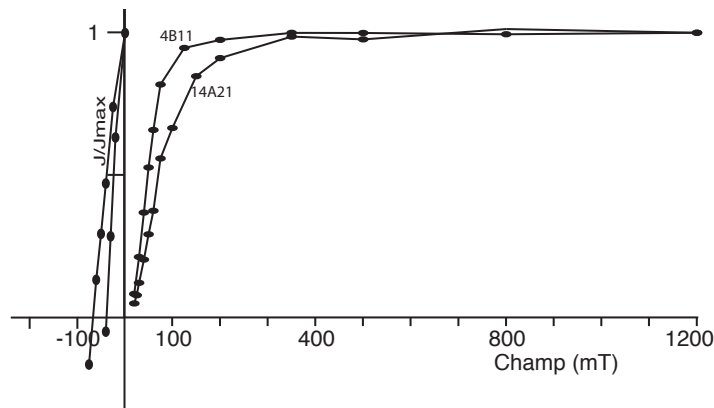


Figure 11 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour deux échantillons du four 6 (4B11 et 14A21). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 39 et 67 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 143 et 321 A/m.

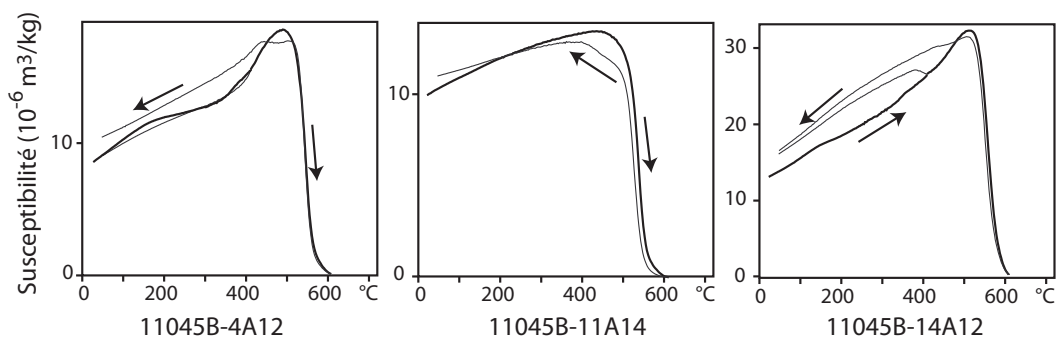


Figure 12 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise

Annexe 3 : Etude des sites français, Bouriège « devant-la-ville »

au moment de la dernière chauffe du four (Figure 13). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 4.

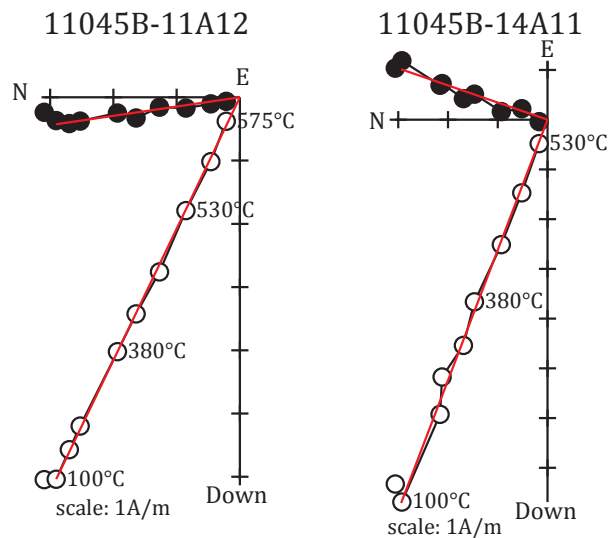


Figure 13 : Diagrammes de Zijdeveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du four 1. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
11045B-1A13	2,2E+00	8,3E+02	100 - 575	10	5.4	66.3	2.0	-5.6	1.037	1.008	1.029	7.4	66.9
11045B-1B11	2,2E+00	8,8E+02	100 - 575	10	356.9	65.3	2.0	-3.6	1.024	1.014	1.010	356.9	65.3
11045B-2A11	3,5E+00	1,4E+03	100 - 555	9	354.1	66.1	2.3	-3.1	1.032	1.009	1.022	355.7	65.7
11045B-4A11	3,1E+00	5,6E+02	100 - 575	10	2.0	66.7	1.1	-4.7	1.061	1.031	1.029	4.0	65.6
11045B-6A11	2,8E+00	9,9E+02	100 - 575	10	7.6	63.1	2.0	-3.3	1.103	1.054	1.046	10.9	63.1
11045B-8A21	4,0E+00	1,1E+03	100 - 575	10	357.5	64.5	2.1	-12.3					
11045B-9B11	5,2E+00	1,2E+03	100 - 575	10	357.0	59.5	1.0	-3.3	1.043	1.022	1.021	356.1	60.2
11045B-10A11	4,3E+00	9,9E+02	100 - 555	9	354.1	63.9	2.0	-1.5	1.068	1.066	1.002	353.0	62.9
11045B-10B11	3,9E+00	1,0E+03	100 - 555	9	359.8	66.5	2.1	-2.0	1.023	1.011	1.012	358.9	66.1
11045B-11A11	3,2E+00	7,8E+02	100 - 575	10	353.5	63.4	1.5	-2.6	1.047	1.014	1.032	352.5	63.4
11045B-11A12	6,8E+00	1,2E+03	100 - 575	9	351.7	64.1	0.7	-3.8	1.022	1.012	1.010	352.7	63.7
11045B-12A12	2,8E+00	8,0E+02	100 - 575	10	358.9	63.7	1.8	-6.5	1.101	1.040	1.059	2.3	61.8
11045B-13A14	4,7E+00	1,0E+03	100 - 575	10	356.9	64.3	1.0	-3.5	1.023	1.011	1.012	356.7	64.0
11045B-14A11	8,0E+00	3,4E+03	100 - 530	8	19.0	68.0	1.6	-5.2	1.074	1.052	1.021	22.6	67.5
11045B-15B11	3,0E+00	8,9E+02	100 - 575	10	356.5	61.2	1.8	-2.7	1.090	1.036	1.052	353.7	60.0

Tableau 4 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le four 6

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie plutôt faible avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 2 et 10% (Tableau 4). Aucune fabrique ne se dessine à l'échelle

de la structure (Figure 14). Comme la correction d'anisotropie disperse significativement les directions d'aimantation, elle n'est pas appliquée (Tableau 5).

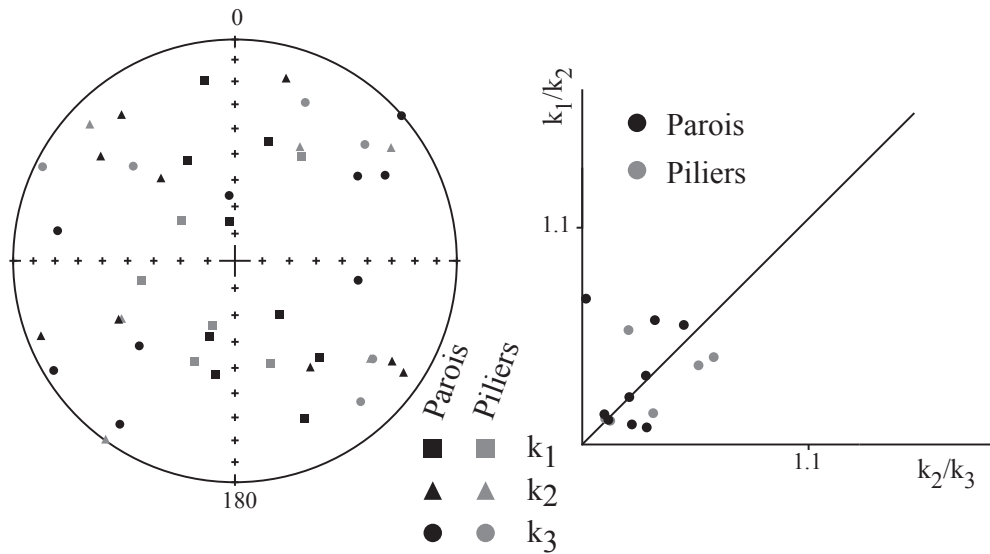


Figure 14 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le four 6.

Protocole de Thellier-Thellier

Comme pour le four 1, les résultats d'archéointensité se caractérisent par des fortes évolutions minéralogiques, caractérisées par de très fortes déviations de la direction de l'ARN et par une convexité du diagramme ARN-ATR (Figure 15). Aucune archéointensité n'a pu être estimée pour les onze échantillons analysés.

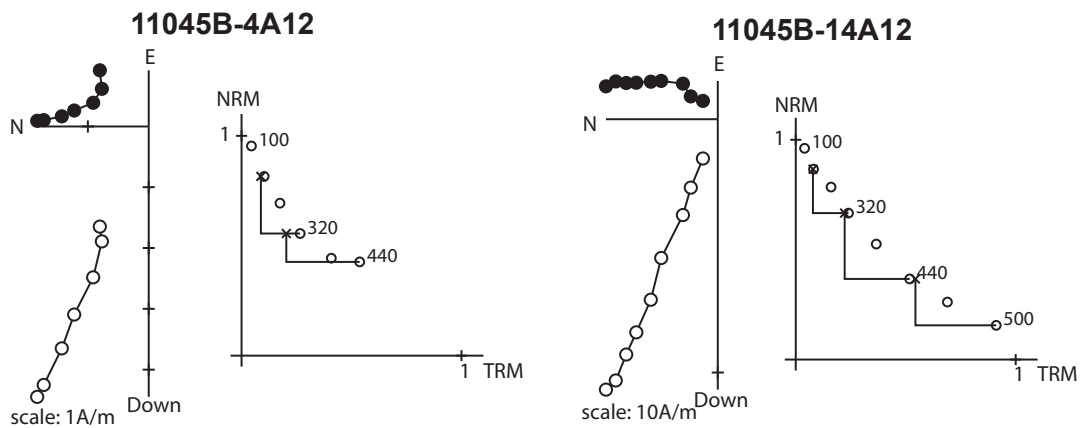


Figure 15 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Tous les spécimens sont rejetés, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe et car la direction d'ARN varie fortement dans la direction du champ magnétique appliqué au laboratoire (axe Y des échantillons, c'est-à-dire axe E-W). Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ, presque équivalent aux coordonnées échantillon pour ce four. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Résultats

La direction d'aimantation du prélèvement 14 semble hors-tendance par rapport aux autres prélèvements (Figure 16). Ce prélèvement n'est pas pris en compte dans le calcul de la statistique de Fisher (Tableau 5).

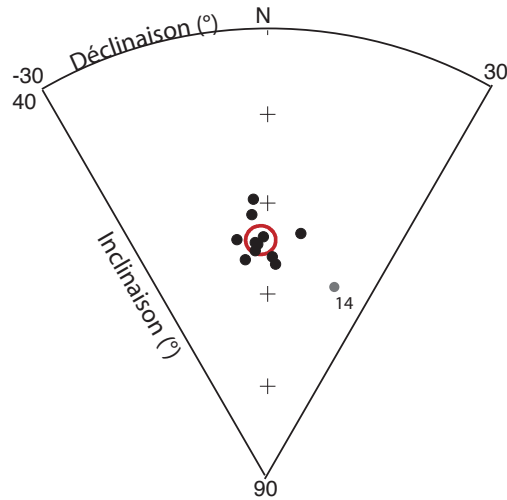


Figure 16 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour le four 6. La direction du prélèvement 14 est considérée hors-tendance.

Moyennes sans correction

$$D = -1.8^\circ \quad I = 64.1^\circ \quad N=11, n=14 \quad k=837 \quad \alpha_{95} = 1.6^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)

$$D = -1.1^\circ \quad I = 63.6^\circ \quad N=10, n=13 \quad k=578 \quad \alpha_{95} = 2.0^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -1.2 \pm 4.3^\circ \quad I_p = 68.0 \pm 1.6^\circ$$

Tableau 5 : Archéodirection moyenne du four 6 (11045B)

C) Etude du four 7 (11045C)

Description et datation du four

Le four 7 est situé sur la zone 4 du site est conservé sur une élévation de 30cm. La chambre de chauffe a une longueur de 2m et une largeur de 1,4m (Figure 17). Le dispositif de soutènement de la sole est un pilier de 0,7m de long sur 0,4m de large. De multiples rechapages de la paroi ont été observés. Les 11 prélèvements se situent sur les parois du four (9) ou sur les piliers centraux (2).

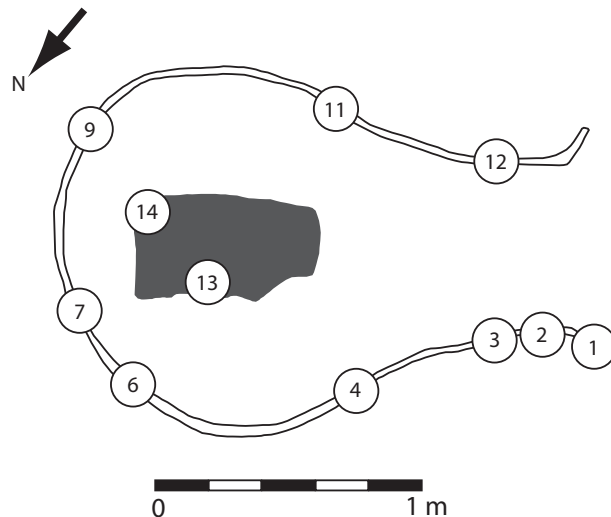


Figure 17 : Four 7 du site de « devant-la-ville », avec localisation des prélèvements archéomagnétiques. (D'après Séjalon, 1998)

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Neuf fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 ou 450°C, puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Treize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 580°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 470°C.

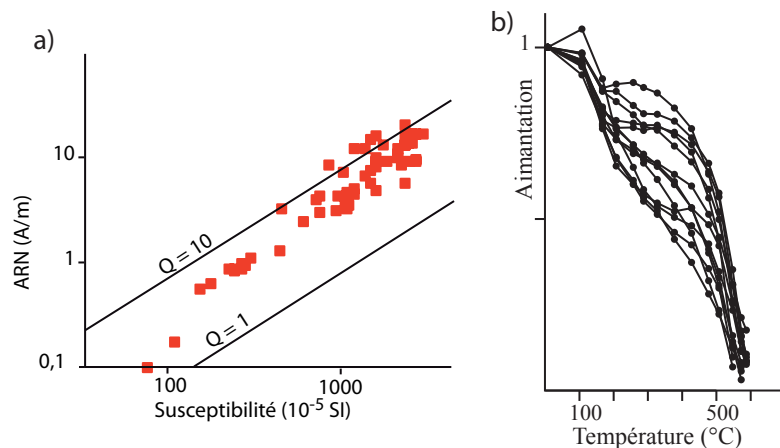


Figure 18 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four 7. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à neuf échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de $60\mu\text{T}$ appliqué selon l'axe Y des spécimens. Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 575°C . L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 545°C . L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 575°C . Le taux de refroidissement lent a été choisi à $0,6^\circ\text{C}/\text{min}$ (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

La minéralogie du four 7 ne se distingue pas de celle des fours 1 et 6. L'aimantation est portée par une phase de faible coercivité avec des points de Curie entre 555 et 565°C (Figure 18 et Figure 19), interprétée comme une titanomagnétite. Les intensités d'ARN sont comprises entre 0.01 et 21 A/m et les fortes susceptibilités en champ faible entre 74 et $3000 \cdot 10^{-5}\text{SI}$, ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 1.5 et 12.5 (Figure 20a).

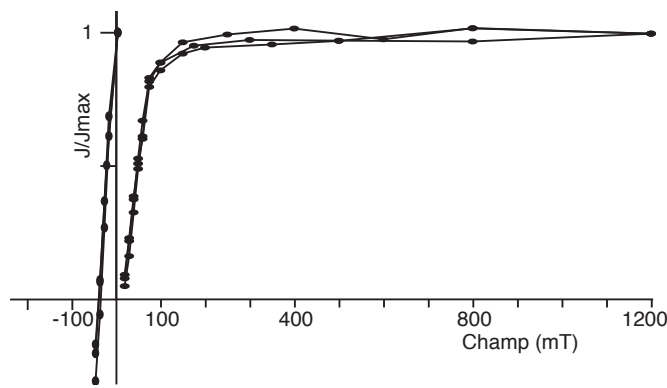


Figure 19 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour trois échantillons du four 7 (7B11, 11A32 et 13A31). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 43 , 42 et 39 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 495 , 352 et 180 A/m .

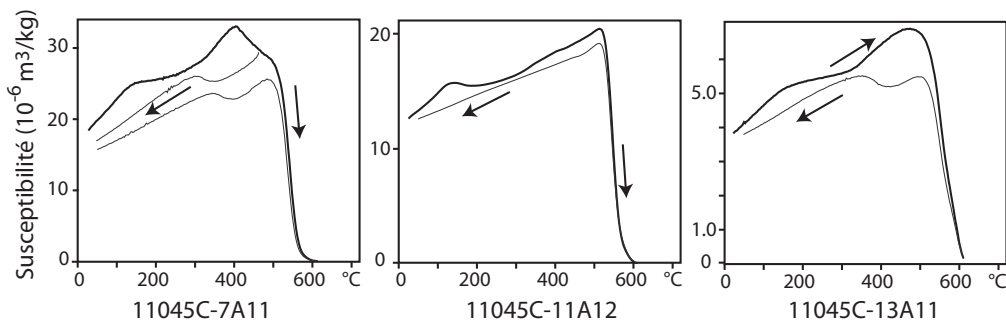


Figure 20 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 21). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 6.

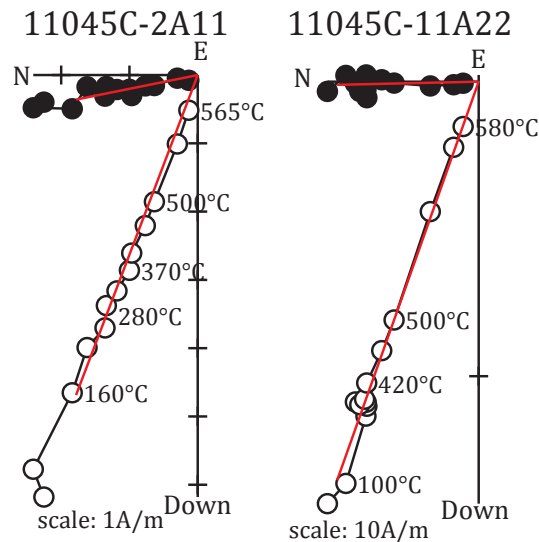


Figure 21 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du four 7. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
11045C-1A12	3,7E+00	1,1E+03	100 - 580	13	353.4	69.5	2.0	-5.4	1.078	1.052	1.025	352.9	68.1
11045C-2A11	6,6E+00	1,4E+03	160 - 565	11	348.6	68.8	1.8	-6.5	1.070	1.032	1.037	350.9	68.7
11045C-3A11	1,3E+00	4,4E+02	160 - 580	12	346.5	67.8	2.2	-4.3	1.176	1.094	1.075	355.0	66.9
11045C-4A11	4,0E+00	1,1E+03	160 - 565	11	334.8	65.0	1.4	-4.8	1.041	1.023	1.017	333.7	64.6
11045C-6A11	1,7E+01	3,0E+03	160 - 565	11	353.8	66.5	1.0	-4.9	1.035	1.017	1.018	353.7	66.4
11045C-7A21	1,5E+01	2,5E+03	100 - 580	13	348.2	62.7	1.5	-7.8	1.044	1.014	1.030	348.5	62.2
11045C-9B11	8,5E+00	2,3E+03	160 - 540	10	351.3	61.4	1.5	-2.6	1.050	1.031	1.018	352.0	62.1
11045C-11A11	9,4E+00	2,5E+03	100 - 540	11	3.4	68.1	1.2	-1.4	1.041	1.035	1.006	1.8	68.1
11045C-11A22	1,5E+01	1,5E+03	100 - 580	13	358.8	70.5	1.4	-9.0	1.104	1.066	1.035	358.4	70.0
11045C-12A11	2,1E+01	2,4E+03	100 - 565	12	4.9	73.6	1.1	-9.2	1.161	1.086	1.070	355.2	74.0
11045C-13A21	4,6E+00	1,1E+03	160 - 580	12	357.8	65.1	1.3	-5.1	1.073	1.027	1.044	359.8	65.5
11045C-14A11	7,3E+00	1,0E+03	160 - 580	12	350.4	64.3	1.3	-6.3	1.088	1.063	1.024	349.9	64.2
11045C-14B12	4,3E+00	7,6E+02	160 - 580	12	345.7	66.6	1.6	-4.3	1.059	1.041	1.018	345.2	65.7

Tableau 6 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le four 7

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Le taux de rejet est moins fort pour le four 7 que pour les fours 1 et 6. Cinq spécimens (Tableau 7, Figure 22 à gauche) par leur absence de déviation de la direction d'ARN et le caractère linéaire de leur diagramme ARN-ATR, respectent les critères échantillons respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les autres échantillons doivent être rejetés en raison d'évolutions minéralogiques, similaires à celles se produisant pour les deux autres fours (Figure 22 à droite). Il faut noter que les échantillons

regroupement des archéodirections (Tableau 8). Les archéointensités sont corrigées des corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement. La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures est comprise entre 0 et 7.0% (Tableau 7).

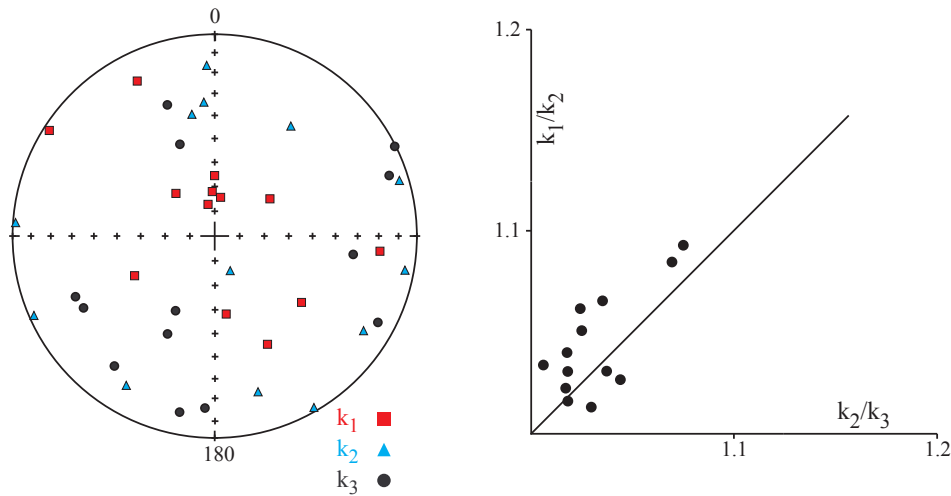


Figure 23 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le four 7.

Résultats

Les directions d'aimantation des prélèvements 4 et 12 semblent hors-tendance par rapport aux autres prélèvements (Figure 24). Ces deux prélèvements ne sont pas pris en compte dans le calcul de la statistique de Fisher (Tableau 8). L'archéointensité moyenne, calculée pour les quatre spécimens acceptés et corrigés de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement, est pondérée par le nombre d'échantillons et le facteur de qualité (Prévôt, 1985). Une faible archéointensité moyenne est obtenue.

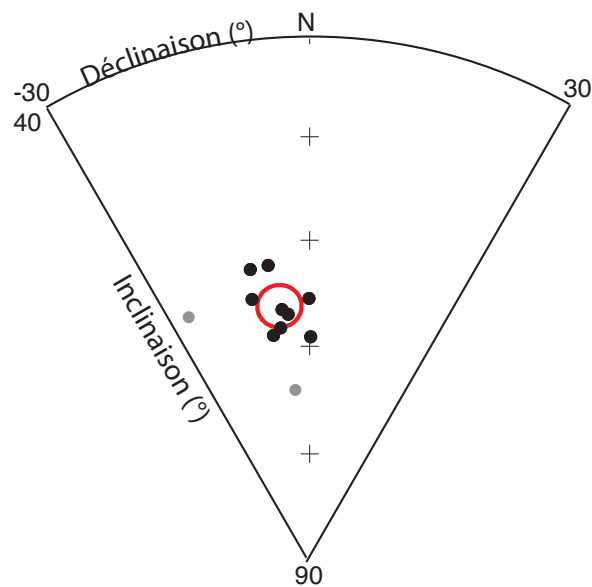


Figure 24 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le four 7. Les prélèvements 4 et 12 (en gris) sont considérés hors-tendance.

Annexe 3 : Etude des sites français, Bourrière « devant-la-ville »

Moyennes sans correction

$D = -8.0^\circ$ $I = 66.4^\circ$ $N=9, n=11$ $k=543$ $\alpha_{95} = 2.2^\circ$
 $F = 44.0 \pm 8.3 \mu\text{T}$ $N=5, n=5$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -6.8^\circ$ $I = 66.1^\circ$ $N=9, n=11$ $k=667$ $\alpha_{95} = 2.0^\circ$
 $F = 41.8 \pm 4.3 \mu\text{T}$ $N=4, n=4$

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

$F = 39.6 \pm 4.5 \mu\text{T}$ $N=4, n=4$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -7.7 \pm 5.9^\circ$ $I_p = 70.2 \pm 2.0^\circ$ $F_p = 41.7 \pm 4.5 \mu\text{T}$
 $VDM = 6.3 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$ $VADM = 6.6 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$

Tableau 8 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four 7 (11045C)

Bibliographie

Rancoule, G., 1970. Ateliers de potiers et céramique indigène au 1^{er} siècle avant J.-C., *Revue archéologique de Narbonnaise*, 3, 33-70

Séjalon, P., 1998. Un atelier de potiers gaulois des années 150/50 av. n.è. à Bourrière (Aude), *Revue archéologique de Narbonnaise*, 31, 1-11

Chartres, Beaulieu

Code archéomagnétique: 28085F

Contexte archéologique

Au printemps 2010, un diagnostic a été mené sur une surface limitée à Chartres, dans le quartier de Beaulieu (Lat : 48.436°N ; Long : 1.509°E), à l'occasion d'une rénovation du stade municipal (Coulon et Dupont, 2011). Il était dirigé par Laurent Coulon du Service Archéologie Ville de Chartres. Cette opération a révélé un four en excellent état de conservation, la voûte du four étant intégralement conservée (Figure 1).

La structure est composée d'une chambre de chauffe et d'une fosse d'accès, qui sont creusées en sape dans le substrat local limoneux. Le diamètre de la chambre de chauffe atteint environ un mètre. La rubéfaction des parois et de la sole de la chambre de chauffe est d'environ 3 à 4 centimètres. Ce four a probablement eu une fonction multiple (traitement des céréales, cuisson alimentaire, production céramique entre autres).



Figure 1 : Four néolithique de Chartres Beaulieu en cours de prélèvement archéomagnétique. La truelle indique la direction du Nord.

Datation du fonctionnement du four

Le mobilier céramique retrouvé dans le four n'est pas en quantité suffisante (trois tessons) pour proposer une datation chrono-typologique fiable : un tesson présente un décor à boutons repoussés caractéristique de la fin du Néolithique ancien ou du début du Néolithique moyen (vers 4500 av. J.-C.).

En conséquence, quatre analyses radiocarbone ont été menées sur des charbons de bois retrouvés dans le niveau cendreuse (u.s. 1302), qui tapissait le fond de la fosse d'accès au four. Les analyses par AMS ont été réalisées par l'intermédiaire du laboratoire de Lyon. Avec le logiciel Rendate, les datations individuelles sont regroupées au sein d'un « fait » (Sapin *et al.*, 2008). La densité de probabilité de ce fait donne l'intervalle de date **[3804 ; 3658]** av. J.-C. à

95% de confiance (Figure 2). Le radiocarbone place donc le fonctionnement de ce four au Néolithique moyen II (Coulon *et al.*, 2011).

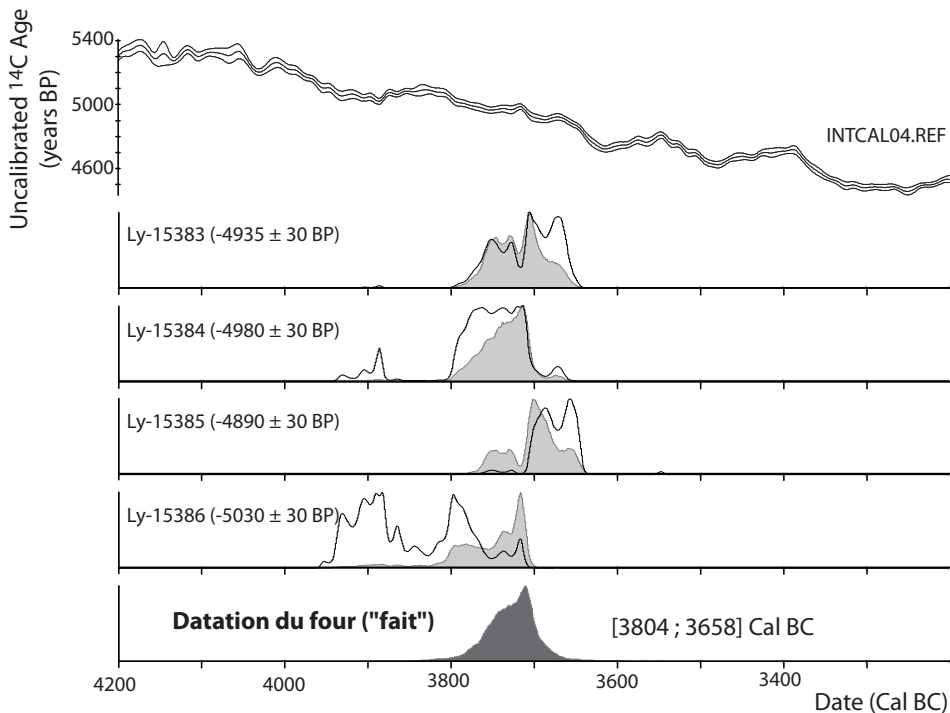


Figure 2 : Datation radiocarbone du four néolithique de Beaulieu. En haut, courbe de calibration dendrochronologique des âges radiocarbone. En bas, résultats de la calibration des quatre échantillons et du « fait » prenant en compte ces quatre résultats. La courbe noire représente la distribution de probabilité de chaque charbon de bois après calibration et avant calcul du « fait ». La surface en gris clair représente la distribution de probabilité de chaque échantillon après calcul du « fait ». La surface en gris foncé est la distribution de probabilité du « fait », qui regroupe les quatre résultats individuels en un seul événement. C'est cette dernière distribution de probabilité qui est utilisée pour le calage chronologique, à des fins d'étalonnage du champ magnétique terrestre.

Prélèvement archéomagnétique

Dix-huit prélèvements ont été réalisés par le 12 juillet 2010 sur la sole du four (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole.

Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté après induration au silicate de sodium. Le prélèvement 1 a été perdu lors de la préparation. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 ou 450°C puis jusqu'à 600°C et lors du refroidissement. Dix-huit échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 550°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur

d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 450°C.

Minéralogie magnétique

Les spécimens, homogènes pour la minéralogie magnétique du four de Chartres Beaulieu présentent (Figure 3 à gauche) de faibles intensités d'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 0.4 A/m) et de faibles susceptibilités en champ faible (entre 25 et 250 10^{-5} SI). Ces valeurs correspondent à des rapports de Koenigsberger faibles entre 0.6 et 3, ce qui indique une instabilité des phases ferromagnétiques due à une cuisson modérée.

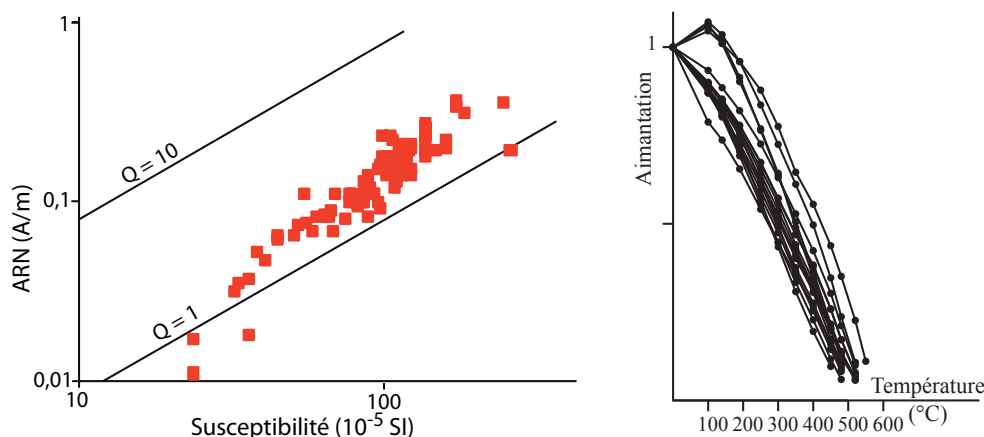


Figure 3 : A gauche, distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Chartres Beaulieu. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. A droite, diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Les 18 échantillons désaimantés thermiquement ont des températures de déblocage homogènes, distribuées régulièrement entre 150 et 550°C (Figure 3b). Les courbes thermomagnétiques (Figure 4) indiquent que la principale phase ferromagnétique a une composition proche d'une titano-magnétite pauvre en Titane. Ces courbes démontrent aussi l'instabilité de cette phase ferromagnétique, au vu de l'irréversibilité des courbes de chauffe et de refroidissement. La minéralogie magnétique des prélèvements périphériques (comme le 5) tendent à plus évoluer que celle des prélèvements situés au centre du four (comme le 2 et le 7). Cette irréversibilité, dès de faibles températures, rend les prélèvements de Chartres peu propices aux analyses d'archéointensité par le protocole de Thellier-Thellier.

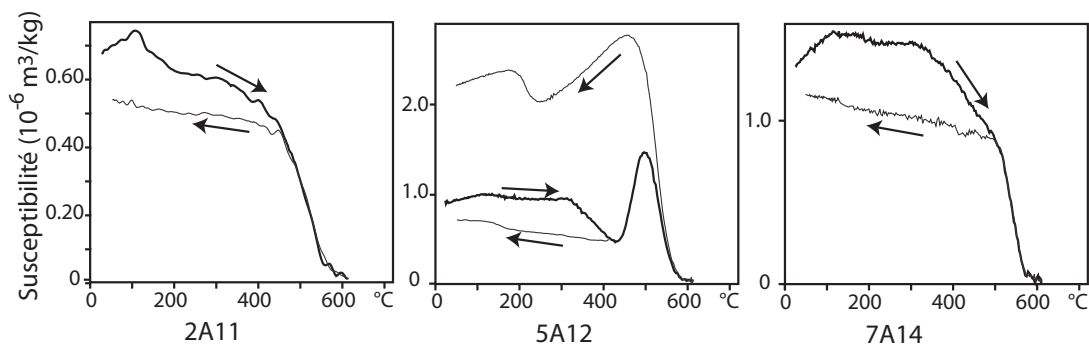


Figure 4 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques du four de Chartres Beaulieu 28085F. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons, sauf 2A14 présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). La majorité des échantillons (comme 7A14, Figure 5) porte toutefois une légère composante d'aimantation visqueuse, éliminée à 150 ou 200°C. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le tableau 1.

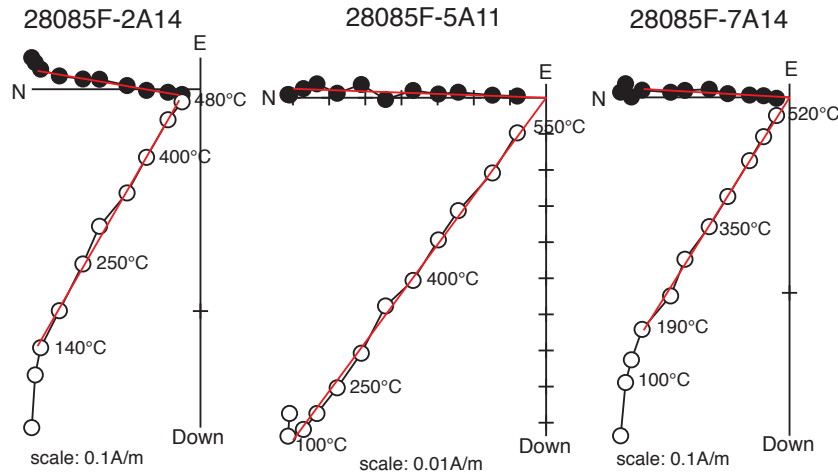


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Les spécimens à gauche et au centre présentent une seule composante d'aimantation. Pour le spécimen de droite, la composante d'aimantation déterminée ne passe pas par l'origine. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 4 et 15% (Tableau 1). A l'échelle de la structure, l'axe minimum d'anisotropie tend à se rapprocher de la verticale (Figure 6). Comme l'application de la correction d'anisotropie diminue le regroupement des archéodirections (Tableau 2), la correction n'est pas appliquée.

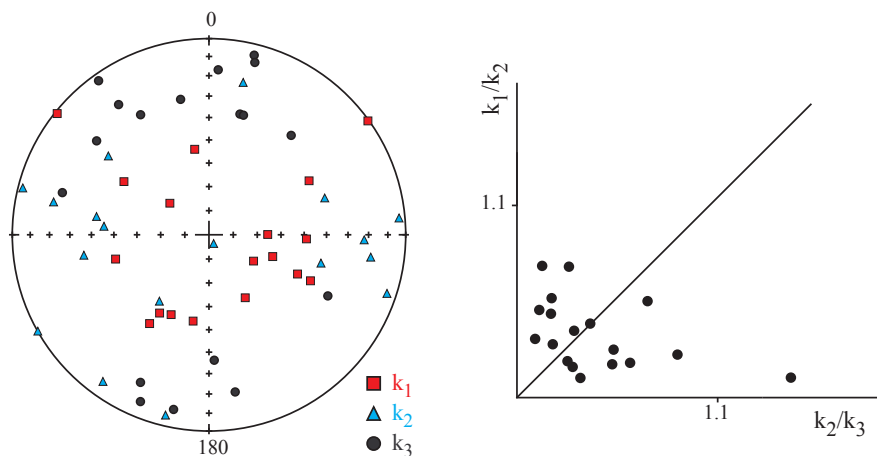


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Annexe 3 : Etude des sites français, Chartres Beaulieu

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
28085F-2A14	1,7E-01	1,2E+02	140 - 480	II ^{re}	8	9.7	59.7	1.9	-1.4	1.066	1.017	1.048	11.2	58.2
28085F-3A11	1,6E-01	9,9E+01	140 - 480	ChRM	8	11.3	60.1	1.1	-0.7	1.074	1.025	1.048	12.6	60.3
28085F-4A13	2,3E-01	1,0E+02	100 - 520	ChRM	10	10.1	57.5	1.8	-2.5	1.044	1.016	1.028	11.2	57.4
28085F-5A11	1,1E-01	8,6E+01	100 - 550	ChRM	11	2.1	53.6	1.1	-4.4	1.080	1.067	1.012	3.0	52.3
28085F-6A14	2,2E-01	1,1E+02	190 - 520	ChRM	8	9.0	56.7	1.0	-4.7	1.094	1.067	1.026	5.8	56.4
28085F-7A14	1,9E-01	1,1E+02	190 - 520	ChRM	8	3.3	58.0	0.9	-1.9	1.064	1.034	1.028	1.6	57.4
28085F-8A11	3,1E-01	1,9E+02	190 - 480	ChRM	7	10.6	58.2	1.5	-0.9	1.105	1.022	1.081	12.7	57.0
28085F-8A13	2,3E-01	1,1E+02	140 - 520	ChRM	9	10.9	56.3	1.3	-2.8	1.150	1.010	1.139	7.6	57.8
28085F-9A11	1,8E-01	1,2E+02	140 - 520	ChRM	9	9.5	57.1	1.6	-1.6	1.044	1.019	1.025	8.6	57.3
28085F-10A11	1,4E-01	1,2E+02	100 - 480	ChRM	9	8.2	56.1	1.1	-0.6	1.076	1.018	1.057	7.9	54.8
28085F-11A11	1,9E-01	1,4E+02	100 - 450	ChRM	8	11.7	58.4	1.6	0.2	1.069	1.051	1.017	14.3	57.4
28085F-12A11	2,0E-01	1,6E+02	140 - 480	ChRM	8	10.5	56.4	0.9	-1.1	1.045	1.027	1.018	10.9	55.4
28085F-13A13	1,8E-01	1,1E+02	100 - 520	ChRM	10	3.5	57.7	1.1	-1.7	1.076	1.038	1.037	1.7	57.3
28085F-14A11	2,4E-01	1,4E+02	140 - 480	ChRM	8	5.3	57.5	1.3	-0.9	1.118	1.049	1.066	4.7	58.1
28085F-15A12	2,1E-01	1,4E+02	190 - 520	ChRM	8	10.6	57.3	1.5	-1.8	1.056	1.045	1.011	7.9	56.9
28085F-16A13	1,5E-01	1,0E+02	190 - 480	ChRM	7	7.8	54.9	1.6	0.3	1.039	1.030	1.009	7.0	55.3
28085F-17A11	2,1E-01	1,2E+02	100 - 520	ChRM	10	11.1	58.9	1.0	-2.1	1.060	1.043	1.017	13.0	58.0
28085F-18A11	1,6E-01	1,1E+02	100 - 480	ChRM	9	13.0	58.9	2.0	-1.4	1.042	1.010	1.032	12.9	57.8

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

La Figure 7 montre le très bon regroupement des directions d'aimantation. La direction du prélèvement 5 apparaît hors-tendance et est donc éliminée du calcul de la direction moyenne, qui est calculée par la statistique de Fisher. Dans le cas du prélèvement 8, la moyenne des deux échantillons désaimantés thermiquement est d'abord calculée (Tableau 2).

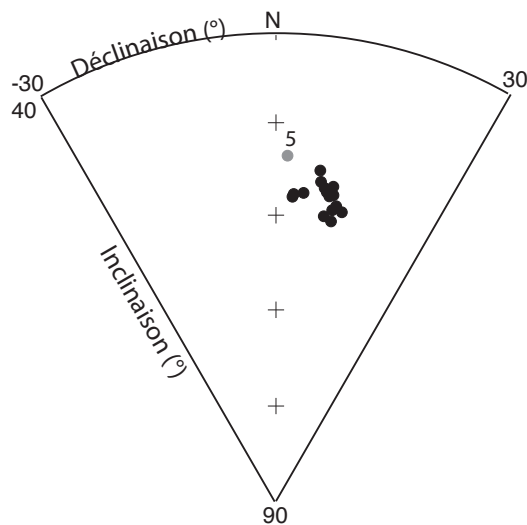


Figure 7 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie).

Moyennes sans correction

$D = 9.1^\circ$ $I = 57.7^\circ$ $N=16, n=17$ $k=1604$ $\alpha_{95} = 0.9^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = 8.8^\circ$ $I = 57.3^\circ$ $N=16, n=17$ $k=1064$ $\alpha_{95} = 1.1^\circ$

A Paris (VGP, sans anisotropie)

$D_p = 9.3 \pm 1.7^\circ$ $I_p = 58.1 \pm 0.9^\circ$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du four de Beaulieu à Chartres

Bibliographie

Coulon, L. & Dupont, F., 2011. Un four à fosse d'accès du Néolithique moyen I (?) à Chartres (28), *Bulletin de la Société Préhistorique Française, Actualités scientifiques*, 108(2), 361-363

Coulon, L., Dupont, F., Hervé, G., Lanos, P. & Salavert, A., 2011. Le four Néolithique à fosse d'accès des « Petits Clos » à Chartres (28) : une attribution chrono-culturelle complexe, Colloque Internéo 7 et 8 octobre 2011, Tours, communication par poster

Kirschvink, J.L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 62, 699-718

Sapin, C., Baylé, M., Büttner, S., Guibert, P., Blain, S., Lanos, P., Chauvin, A., Dufresne, P. & Oberlin, C., 2008. Archéologie du bâti et archéométrie au Mont-Saint-Michel, nouvelles approches de Notre-Dame-sous-Terre, *Archéologie Médiévale*, **38**, 71-122

Chateameillant, le Paradis, zone B

Code archéomagnétique: 18057A

Contexte archéologique (d'après Bouchet *et al.*, 2009)

Chateameillant (*Mediolanum*) est situé au sud de la cité des Bituriges *Cubi*. Le site, situé sur un promontoire, est occupé dès le III^{ème} siècle av. J.-C. La principale occupation, datée de la Tène finale, se caractérise par un *oppidum*, entouré par un *mur gallicus* et sur lequel ont été découvertes les fameuses caves à amphores italiques (Krausz, 2009). Quelques rares vestiges indiquent que cette importante occupation se poursuit durant le Haut-Empire. Depuis 2001, des fouilles programmées, dirigées par Sophie Krausz (Maitre de Conférences, Université de Bordeaux 3), se déroulent à l'extrémité sud de l'*oppidum*, dans la réserve archéologique du Paradis (Lat : 46.930°N ; Long : 2.317°E). La majorité des structures datent de la Tène finale (structures excavées : trous de poteau et fosses, dont de grandes caves) et indiquent que ce quartier de l'*oppidum* avait principalement une vocation artisanale. L'occupation se caractérise au début de l'époque gallo-romaine par de nombreux puits, des structures excavées et un four de potier (structure 172).

Dans l'état actuel de la documentation, aucune autre structure ne se rattache à cette production céramique. Mais le four est situé en limites d'emprise de fouille. Le four 172 et son aire de chauffe (u.s. 171) sont creusés dans une paroi de torchis effondrée, qui recouvre une grande fosse laténienne (Figure 1). L'alandier et la chambre de chauffe du four, sauf sa paroi sud disparue, sont en bon état de conservation. Son diamètre est 1,15 m. Les parois étaient enduites d'argile appliquée manuellement. La sole était supportée par deux piliers centraux, construits en argile. Le pilier nord a une longueur de 80 cm et le pilier sud 90 cm. Un *imbrex*, découvert dans la chambre de chauffe (Figure 1), suggère que la sole soit constituée de ce type de terre cuite architecturale. La rubéfaction des parois atteint 4 cm environ au niveau de l'alandier et 1.8 cm sur le reste du pourtour. L'aire de chauffe, globalement circulaire avec un diamètre de 1,15m présente des parois verticales.

En l'absence de ratés de cuisson, la production de ce four reste inconnue. Au vu des dimensions du four et de son isolement apparent, il s'agit probablement d'une production locale de céramique commune.

Datation du fonctionnement du four (d'après Bouchet *et al.*, 2009)

Ni le comblement de la chambre de chauffe, ni celui de l'aire de chauffe ne contiennent de niveaux cendres ou charbonneux et de ratés de cuisson. Aucun élément mobilier ne permet donc de dater le fonctionnement du four. Après l'abandon du four, les deux structures ont servi de fosse-dépotoir. Les recollages entre l'aire de chauffe et la chambre de chauffe indiquent que le comblement s'est fait simultanément. Le mobilier céramique est très abondant avec 3306 tessons pour 163 individus. L'homogénéité et le faible fractionnement du mobilier céramique laissent supposer que le remplissage a été réalisé rapidement peu après l'abandon de la structure.

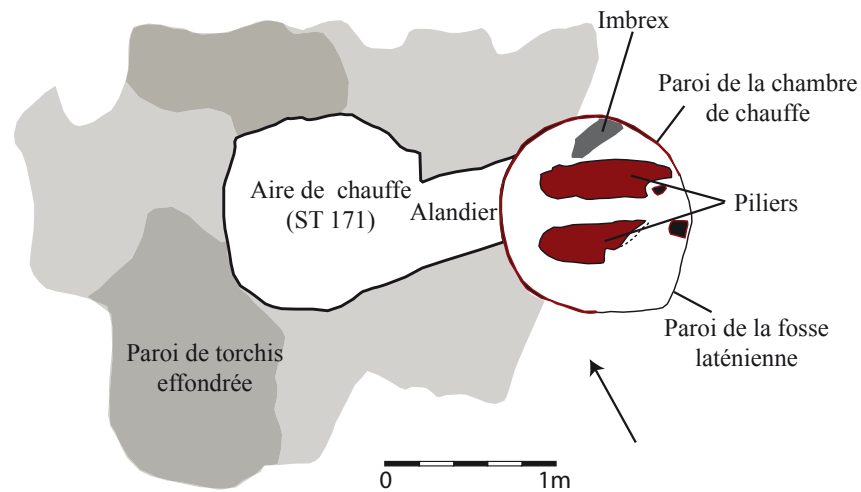


Figure 1 : Plan du four 172 et de son aire de chauffe (u.s. 171) (d'après Bouchet et al., 2009) et photographie du four en fin de prélèvement.

Le faciès est caractéristique du début de l'époque gallo-romaine, plus précisément de la période augusto-tibérienne. Sont notamment présents les vases en *terra nigra* (30% des tessons), les cruches à engobe blanc (17%), les gobelets en paroi fine de type Beuvray (8%), la céramique sigillée du Sud de la Gaule et de Lezoux (3%). Le TPQ du comblement du four est fixé à 25 ap. J.-C. (c'est-à-dire pendant l'époque tibérienne) avec une coupe Drag. 29b des ateliers du Sud de la Gaule (la Graufesenque). La datation du four est ainsi fixée dans l'intervalle [25 ; 50] ap. J.-C.

Prélèvement archéomagnétique

Trente prélèvements ont été réalisés par Philippe Lanos et Gwenaël Hervé le 7 octobre 2008. Ils sont situés sur le pourtour des parois de la chambre de chauffe (1 à 15), sur le pilier sud (16 à 22) et sur le pilier sud (23 à 30) (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à

l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. 5 fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement.

Trente échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C. Quinze échantillons ont été désaimantés par champ alternatif au magnétomètre cryogénique Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à six échantillons (5P31, 20P12, 23P13, 25P11, 29P11 et 30P22) dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe X des spécimens (soit quasi perpendiculairement à l'ARN). Douze chauffes ont été réalisées entre 100 et 560°C.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements des piliers ont des intensités d'aimantation rémanente naturelle (ARN), des susceptibilités en champ faible et des rapports de Koenigsberger plus élevés que les échantillons des parois (Figure 2a). Ceci traduit une chauffe plus importante de l'argile au niveau des piliers, c'est-à-dire au centre de la chambre de cuisson. L'irréversibilité des courbes thermomagnétiques, même après une chauffe à 400°C, est plus prononcée pour les échantillons des parois (Figure 3).

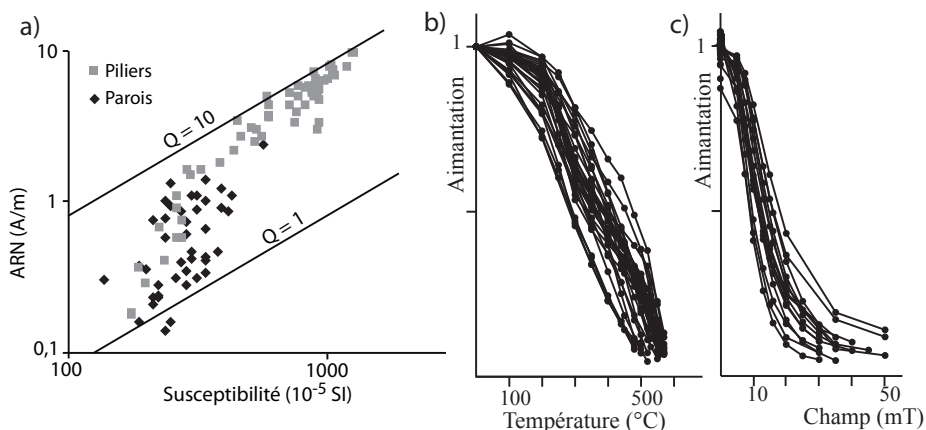


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Chateaufeillant. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

Les désaimantations par champ alternatif (Figure 2c) et les courbes thermomagnétiques (Figure 3) montrent que l'aimantation est majoritairement portée par une phase de faible coercivité, identifiée comme une titanomagnétite pauvre en titane (Les points de Curie sont compris entre 540 et 580°C.). Les températures de déblocage de cette phase sont régulièrement réparties entre 100 et 550°C (Figure 2b). D'autres phases, de points de Curie plus faibles, sont également présentes (Figure 3), mais leur identification est délicate (titanomagnétite plus riche en titane ?).

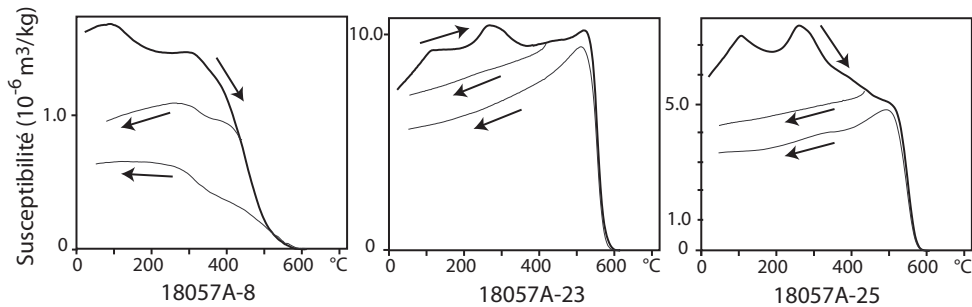


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). 42 échantillons (sur 45) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 4). Pour les trois autres spécimens, la composante déterminée ne passe pas par l'origine, ce qui indique que la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer les aimantations acquises précédemment. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le tableau 1.

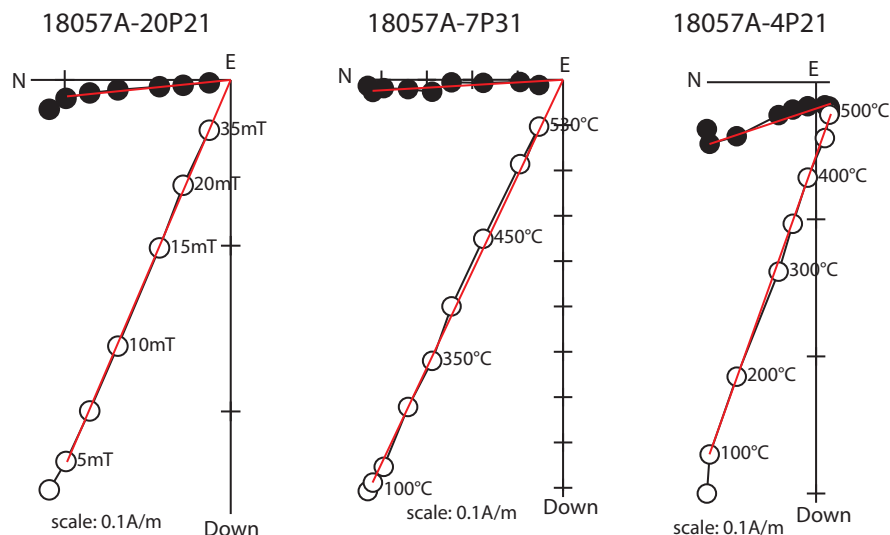


Figure 4 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs des désaimantations par champ alternatif (à gauche) et thermique (au centre et à droite). Comme la majorité des spécimens, ceux de gauche et du centre portent une seule composante d'aimantation. Pour le spécimen de droite, la composante d'aimantation déterminée ne passe pas par l'origine, ce qui indique une chauffe insuffisante pour effacer l'aimantation préexistante. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Protocole de Thellier-Thellier

Sur six spécimens (choisis en fonction de leur intensité d'aimantation et de leurs rapports de Koenigsberger élevés), seul un échantillon donne un bon résultat (Figure 5) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Cet échantillon respecte tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les autres échantillons doivent être rejetés en raison d'évolutions minéralogiques, qui se manifestent par une forme convexe du diagramme ARN-ATR et une déviation de la direction d'ARN. Avec un seul échantillon, le site de Chateameillant doit être rejeté pour l'intensité. La valeur de $65,2 \mu T$ obtenue pour cet échantillon est cohérente avec la courbe de Gomez Paccard *et al.* (2008).

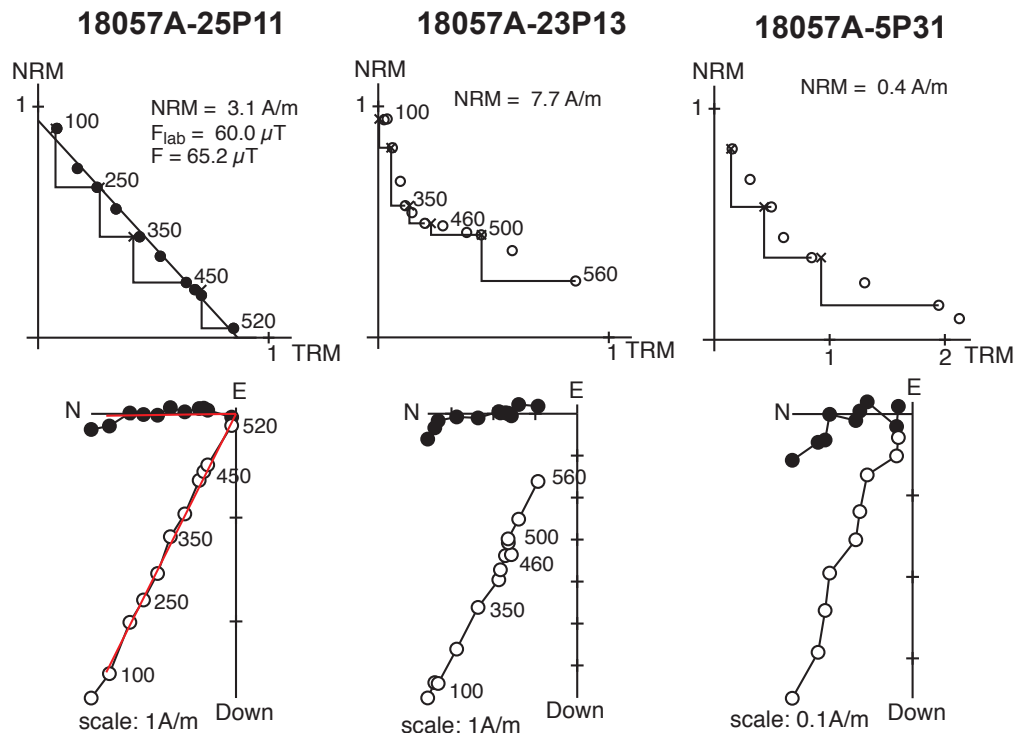


Figure 5 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Sur 5 spécimens, seul le spécimen 23P13 (à gauche) présente un bon résultat. Les autres spécimens sont rejetés en raison de diagrammes ARN-ATR non linéaires et d'une légère déviation de la direction de l'ARN. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie

Les échantillons des piliers (de 5 à 15% en général et même jusqu'à 30% d'anisotropie) présentent une anisotropie plus forte que les échantillons du pourtour des parois (de 2 à 12%) (Figure 6). A l'échelle de la structure, aucune fabrique particulière ne semble dominer (Figure 6). L'application de la correction d'anisotropie améliore légèrement le regroupement des archéodirections (Tableau 2).

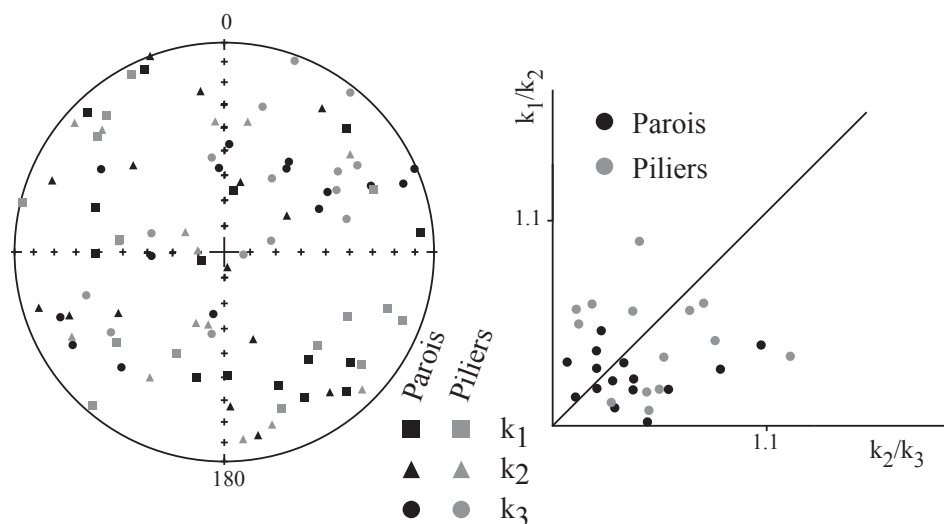


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les prélèvements du pourtour des parois sont distingués des prélèvements des deux piliers.

Résultats

Pour les piliers nord et sud, on observe une relation entre la direction d'aimantation et la position du prélèvement, ce qui indique des mouvements post-cuisson du pilier (Figure 7). Ces prélèvements sont donc rejetés du calcul de la direction moyenne. Pour le pourtour des parois, les prélèvements 1 à 4 ont une direction hors-tendance (Figure 8) : la paroi a également bougé à cet endroit après la dernière chauffe du four. Le four de Chateaufeillant s'avère donc un bon exemple, pour mettre en évidence l'intérêt de prélever l'ensemble du four et non de se cantonner à une zone précise. La Figure 8 montre le bon regroupement des directions d'aimantation des 11 autres prélèvements. La direction moyenne d'aimantation sur ces prélèvements est calculée par la statistique de Fisher (Tableau 2).

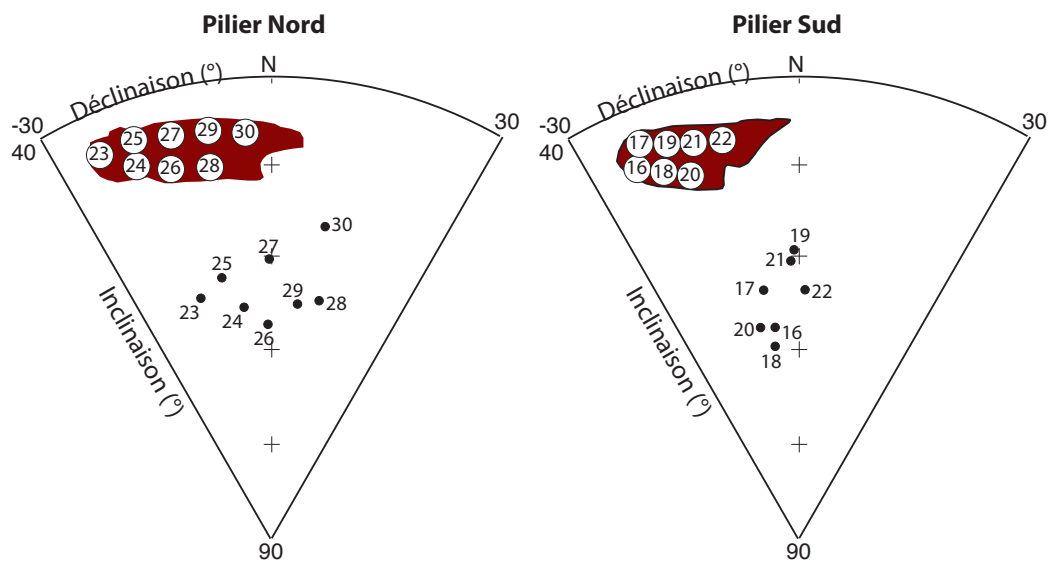


Figure 7 : Stéréogrammes des directions d'aimantation (corrigées de l'anisotropie) des prélèvements des piliers nord et sud. Le plan des prélèvements est représenté à gauche.

Annexe 3 : Etude des sites français, Chateaufort le Paradis zone B

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie						
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
18057A-1P21	2,1E-01	2,1E+02	Th	250 - 550	ChRM	8	337.7	66.6	1.7	-6.6	1.066	1.030	1.034	334.0	67.0
18057A-1P31	3,6E-01	2,0E+02	AF	10 - 50	ChRM	5	346.2	71.4	0.34						
18057A-2P21	4,2E-01	3,0E+02	Th	350 - 500	ChRM	4	342.8	70.9	1.1	-2.1	1.046	1.019	1.027	345.4	70.2
18057A-3P11	4,6E-01	3,0E+02	Th	200 - 480	II ^{re}	7	349.2	70.4	1.6	-7.5	1.040	1.018	1.021	349.7	71.1
18057A-4P21	3,1E-01	3,1E+02	Th	100 - 500	II ^{re}	7	340,0	69.4	2,0	0,3	1,058	1,036	1,021	341,5	70,3
18057A-5P11	2,4E-01	2,3E+02	AF	10 - 35	ChRM	4	356,9	64,4	2,0						
18057A-5P21	2,8E-01	2,9E+02	Th	100 - 480	ChRM	8	351,3	63,9	1,3	-8,2	1,039	1,009	1,030	353,1	64,1
18057A-6P11	2,3E-01	2,1E+02	Th	250 - 480	ChRM	6	358,9	63,5	1,2	-6,0	1,070	1,046	1,024	358,4	62,8
18057A-6P21	2,3E-01	2,3E+02	AF	5 - 20	ChRM	6	356,3	70,4	0,9						
18057A-7P21	1,2E+00	3,9E+02	AF	5 - 40	ChRM	8	1,4	67,1	0,8						
18057A-7P31	1,0E+00	3,4E+02	Th	100 - 530	ChRM	8	355,7	64,7	0,7	-3,3	1,041	1,011	1,030	355,0	64,9
18057A-8P21	6,1E-01	2,9E+02	AF	5 - 30	ChRM	7	353,5	66,1	0,3						
18057A-8P31	8,7E-01	4,1E+02	Th	200 - 520	ChRM	8	357,7	64,9	0,6	-9,6	1,110	1,027	1,081	0,1	66,8
18057A-9P11	3,5E-01	2,9E+02	AF	7.5 - 30	ChRM	7	358,0	59,2	1,3						
18057A-9P21	3,1E-01	2,6E+02	Th	200 - 450	ChRM	5	6,1	62,5	0,5	-0,1	1,062	1,022	1,039	8,4	62,6
18057A-10P21	7,8E-01	2,4E+02	AF	5 - 45	ChRM	10	2,8	63,2	1,0						
18057A-10P31	1,1E+00	4,3E+02	Th	100 - 550	ChRM	10	358,7	62,8	1,1	-9,0	1,051	1,021	1,029	357,5	63,2
18057A-11P11	7,3E-01	2,9E+02	Th	200 - 530	ChRM	7	359,5	64,7	1,0	-1,4	1,038	1,031	1,008	1,1	65,3
18057A-11P21	8,9E-01	3,1E+02	AF	5 - 30	ChRM	8	0,9	65,8	0,3						
18057A-12P11	8,6E-01	2,8E+02	AF	5 - 35	II ^{re}	5	3,9	69,6	1,1						
18057A-12P21	1,1E+00	3,1E+02	Th	200 - 550	ChRM	9	1,7	64,6	1,4	-6,4	1,050	1,028	1,021	4,0	64,8
18057A-13P11	1,3E+00	2,5E+02	AF	5 - 30	ChRM	8	13,8	65,7	0,1						
18057A-13P21	1,0E+00	2,4E+02	Th	200 - 570	ChRM	9	6,2	68,1	0,8	-0,9	1,143	1,039	1,100	10,2	65,6
18057A-14P11	9,2E-01	2,5E+02	AF	5 - 30	ChRM	8	12,0	62,0	0,2						
18057A-14P21	7,5E-01	2,1E+02	Th	100 - 570	ChRM	11	6,3	65,6	1,2	-5,5	1,074	1,017	1,056	4,8	66,7
18057A-15P11	3,0E-01	1,4E+02	Th	200 - 555	ChRM	8	350,7	65,3	0,8	-1,2	1,025	1,014	1,011	351,1	65,1
18057A-15P21	3,8E-01	1,9E+02	AF	5 - 40	ChRM	9	353,9	67,6	0,8						
18057A-16P12	5,8E+00	9,1E+02	Th	300 - 570	ChRM	8	352,5	65,7	1,4	0,0	1,125	1,055	1,066	353,8	67,6
18057A-17P21	4,4E+00	6,0E+02	Th	100 - 570	ChRM	11	352,1	63,3	0,7	-9,0	1,151	1,034	1,113	352,1	63,5
18057A-18P11	1,6E+00	3,3E+02	Th	200 - 570	ChRM	10	353,8	69,6	0,9	-4,2	1,079	1,059	1,019	353,2	69,6
18057A-19P22	3,6E+00	6,0E+02	Th	100 - 555	ChRM	9	356,5	60,2	1,2	-3,9	1,062	1,016	1,045	359,2	59,4
18057A-20P11	5,7E-01	2,6E+02	Th	100 - 480	ChRM	8	350,9	67,9	1,6	-4,7	1,096	1,055	1,038	349,9	67,4
18057A-20P21	2,9E-01	2,0E+02	AF	5 - 35	ChRM	6	353,7	66,74	0,36						
18057A-21P11	7,5E+00	1,1E+03	Th	200 - 555	ChRM	8	356,3	60,1	0,7	-2,9	1,068	1,056	1,011	358,5	60,6
18057A-22P11	2,7E+00	4,6E+02	Th	200 - 570	ChRM	10	2,5	62,1	1,2	-5,4	1,070	1,018	1,051	1,6	63,7
18057A-23P11	5,0E+00	5,9E+02	AF	5 - 50	ChRM	7	347,1	65,74	0,17						
18057A-23P23	5,0E+00	8,9E+02	Th	200 - 555	ChRM	7	345,8	61,3	1,5	0,7	1,122	1,041	1,078	343,4	63,5
18057A-24P11	6,3E+00	9,8E+02	Th	100 - 555	ChRM	9	351,4	65,0	1,0	-0,3	1,040	1,012	1,028	353,0	65,4
18057A-25P12	3,9E+00	7,6E+02	Th	100 - 570	ChRM	11	354,4	61,7	1,2	-4,8	1,136	0,059	1,072	349,0	61,9
18057A-26P11	3,7E+00	6,0E+02	Th	100 - 555	ChRM	9	358,6	68,2	0,8	-2,0	1,054	1,008	1,046	358,8	67,4
18057A-27P12	6,4E+00	1,0E+03	Th	300 - 555	ChRM	7	0,1	59,4	1,2	-1,7	1,063	1,049	1,013	359,6	60,2
18057A-28P11	2,2E+00	4,4E+02	Th	250 - 570	ChRM	9	5,1	60,8	1,1	-7,9	1,308	1,092	1,198	11,1	64,4
18057A-29P21	5,8E+00	8,5E+02	Th	200 - 555	ChRM	7	1,7	65,7	0,9	-1,4	1,134	1,089	1,041	6,1	65,1
18057A-30P21	2,5E+00	5,3E+02	AF	5 - 50	ChRM	7	13,99	58,44	0,6						
18057A-30P12	4,3E+00	7,1E+02	Th	200 - 570	ChRM	10	9,7	54,8	0,6	-7,2	1,088	1,034	1,053	9,6	56,4

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM/II^{re} : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

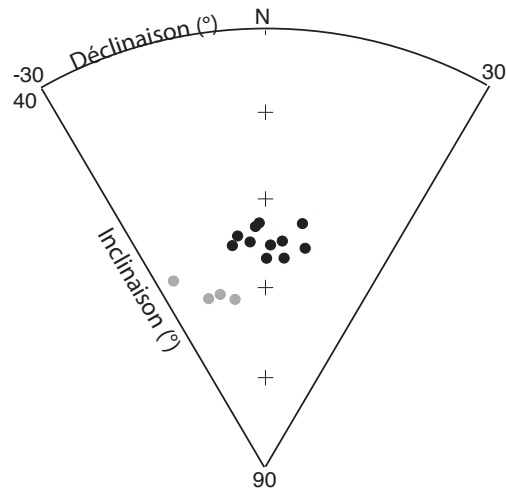


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction d'anisotropie. Les prélèvements 1 à 4, en grisé, sont hors-tendance.

Moyennes sans correction

$D = 0.1^\circ$ $I = 65.0^\circ$ $N=11, n=22$ $k=726$ $\alpha_{95} = 1.7^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = 0.4^\circ$ $I = 64.8^\circ$ $N=11, n=22$ $k=782$ $\alpha_{95} = 1.6^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = 0.4 \pm 4.0^\circ$ $I_p = 66.3 \pm 1.6^\circ$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du four 172 de Chateaumeillant, le Paradis

Bibliographie

Bouchet, M., Surgent, M. & Hervé, G., 2009. Le four de potier gallo-romain de Chateaumeillant /Mediolanum (Cher). Etudes céramique et archéomagnétique., *SFECAG, Actes du congrès de Colmar (21-24 mai 2009)*, 441-452

Krausz, S., 2009. L'oppidum de Châteaumeillant-Mediolanum (Cher), in *L'âge du Fer dans la boucle de la Loire. Les Gaulois entrent dans la ville*. Actes du XXXIe colloque de l'AFEAF, Bourges, 1-4 mai 2008, RACF 35e suppl.

Glux-en-Glenne, Le Mont-Beuvray, *Oppidum* de Bibracte

Codes archéomagnétiques: 58128C, 58128D, 58128E, 58128F et 58128G

Contexte archéologique : présentation de l'*oppidum*

Le Mont-Beuvray (Lat : 46.95°N ; Long : 4.02°E) est situé dans le Morvan, à la limite des départements de la Nièvre et de la Saône-et-Loire. Les recherches archéologiques ont permis d'y localiser l'*oppidum* de Bibracte, mentionné à plusieurs reprises dans la *Guerre des Gaules*. Bibracte était l'*oppidum* principal des Eduens. Les premières fouilles, effectuées de 1865 à 1907 sous la direction de Jacques-Gabriel Bulliot, puis de Joseph Déchelette, ont eu un impact considérable en protohistoire européenne, avec la mise en évidence que l'émergence des premières villes, les *oppida*, est un phénomène commun à l'ensemble de l'Europe nord-alpine. La reprise des fouilles depuis 1984 a la particularité d'être effectuée par des équipes de plusieurs pays européens, qui s'attachent chacune à un secteur différent du site. Aujourd'hui, Bibracte, malgré sa taille, est un des *oppida* les mieux connus du monde celtique et l'extensivité de ses fouilles permet d'aborder des thèmes vastes, comme l'organisation de l'urbanisme d'un *oppidum*, les échanges avec le monde romain, le mode de vie des différentes catégories sociales au I^{er} siècle av. J.-C. ou encore la romanisation des *oppida*.

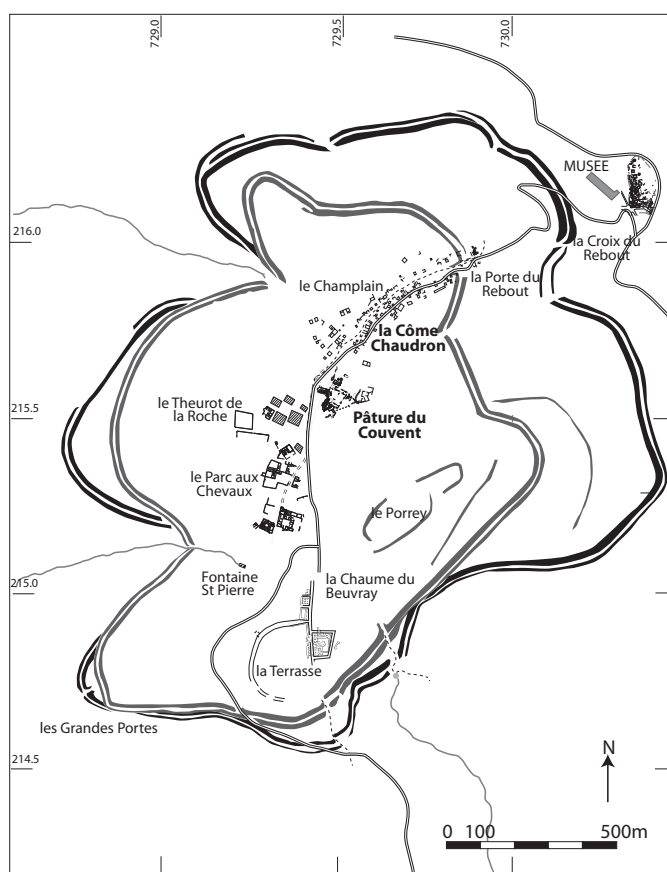


Figure 1 : Plan général de l'*oppidum* de Bibracte avec ses deux fortifications. Les bâtiments ont été reconnus lors des fouilles anciennes ou lors des travaux plus récents. Quatre foyers étudiés sont situés à la Côte-Chaudron. Le cinquième se trouve à la Pâtire-du-Couvent. (D'après Rapport d'activité 2006, page 184)

Dans l'état actuel des fouilles, Bibracte semble avoir été fondée au cours de la Tène D1, vers 120 av. J.-C. Comme les autres *oppida*, Bibracte était entourée par des fortifications (Figure 1). Dans le cas de Bibracte, la micro-topographie a mis en évidence deux fortifications successives, la première délimitant un espace intérieur de 200 ha et la seconde de 140 ha. Dans cette seconde fortification (un *mur gallicus*), une porte monumentale, la porte-du-Rebout, a notamment été fouillée (Buchsenschutz *et al.*, 1999). A l'extérieur des fortifications, des nécropoles ont été reconnues à la Croix-du-Rebout (près du musée) et aux Barlots (fouille O. Urban, Université de Vienne). Les espaces publics se concentrent au centre du Mont Beuvray, à la Pâture-du-Couvent (fouilles D. Vitali de Bologne, S. Rieckhoff de Leipzig et M. Szabó de Budapest), avec particulièrement un bassin monumental et un complexe basilical. Ce complexe basilical, en activité entre 60 et 30 av. J.-C., témoigne d'une romanisation très précoce de Bibracte.

Les espaces artisanaux, très nombreux sur le Mont-Beuvray, se concentrent notamment à la Côme-Chaudron et au Champlain (fouilles de J.P. Guillaumet de Dijon et de T. Bochnak de Rzeszow). L'artisanat prépondérant est la métallurgie (travail du fer et des alliages cuivreux) avec une organisation très spécialisée. La présence de mines à la Pâture-des-Grangerands (en contrebas de la Côme-Chaudron, fouille de B. Cauuet, Toulouse) et du travail des métaux pourrait expliquer la localisation et le développement de Bibracte, capitale des Eduens, malgré une géographie peu propice. Le quartier du Parc-aux-Chevaux (fouille de D. Paunier de Lausanne, Paunier et Luginbühl 2004, puis fouilles du chantier-école) semble concentrer les habitats les plus aisés, notamment à la période augustéenne où les habitats sont construits sur le modèle des *domus* romaines (PC1). Enfin, des lieux cultuels sont également présents à la Terrasse, à la Fontaine-Saint-Pierre (fouille P. Barral et H. Richard) et probablement aussi au Theurot-de-la-Roche (fouille T. Luginbühl, de Lausanne).

A la Tène finale et à l'Augustéen ancien, Bibracte nous apparaît comme une ville florissante avec des quartiers différenciés et des espaces publics monumentaux. Vers 15 av. J.-C., les Eduens décident de fonder une autre capitale Autun (*Augustodunum*) à une trentaine de kilomètres. Le Mont-Beuvray perd alors progressivement son importance, pour être finalement quasi-désertée vers 20-30 ap. J.-C durant l'époque tibérienne.

La datation des occupations du Mont-Beuvray repose essentiellement sur le mobilier céramique. La chrono-typologie actuellement utilisée a été mise en place à partir des fouilles de la *domus* PC1 du Parc-aux-Chevaux par Paunier & Luginbühl (2004) et est en cours de modifications (Luginbühl *et al.*, 2009). Les datations sont réalisées à l'échelle de l'unité stratigraphique (u.s.). L'association des catégories céramiques (Tableau 1) caractérise le faciès de l'ensemble, qui est rattaché à la chronologie laténienne. Certaines catégories ou certains types (principalement les importations méditerranéennes) de tessons fixent également un *Terminus Post Quem*, défini par la date d'apparition du type le plus récent et un *Terminus Ante Quem*, défini *a silentio* par l'absence d'une catégorie ou d'un type de mobilier très fréquent. Ces principes sont globalement utilisés sur l'ensemble des chantiers du Mont-Beuvray, mais les relations chronologiques entre chacun sont parfois difficiles à retrouver.

A) Etude du foyer 2022 à la Côme-Chaudron (58128D)

Description et datation

Les fouilles à la Côme-Chaudron et au Champlain (de l'autre côté de la route) sont menées depuis 2000, dirigées par Jean-Paul Guillaumet de l'université de Bourgogne, puis de Tomasz Bochnak de l'université de Rzeszow (Pologne) et Petra Golanova de l'université de Brno (République Tchèque). L'objectif de la fouille est de comprendre l'organisation et l'évolution de ce quartier artisanal de l'*oppidum*.

Nom	Descriptif	Datation (pour le Mont Beuvray)
Céramiques fines importées ou de tradition méditerranéenne		
CAMPA	céramique campanienne A (production dans la région de Naples)	Apparition à la Tène C2, importations jusqu'à la Tène D2a
CAMPB	céramique campanienne B (production en Toscane et dans le nord de l'Italie pour les B-oides)	Apparition à la Tène D1, importations jusqu'à la Tène D2a
CAMPC	céramique campanienne C (production en Sicile et autour de Marseille pour les C-oides)	Apparition et importations à la Tène D2a
PRETS	céramique pré-sigillée (production dans la vallée du Rhône)	Apparition vers 50 av. J.-C.
TSIT	céramique sigillée de type "italique"	Apparition vers 30 av. J.-C. (premières formes rares vers 50 av. J.-C.)
TSGA	céramique sigillée produite en Gaule (ateliers de Lezoux ou de Gaule méridionale)	Apparition vers 15 ap. J.-C.
PARFINA	céramique à paroi fine A (production italique et imitations des ateliers de Lyon)	Présence de la Tène D1 à l'Augustéen
PARFINB	céramique à paroi fine B (imitations de type Beuvray, produites en Gaule)	Apparition vers 35 av. J.-C.
PARFINC	céramique à paroi fine C (sans revêtement)	Apparition vers 30 av. J.-C.
Céramiques communes tournées importées ou de tradition méditerranéenne		
EIRA	plat à engobe interne rouge "pompéien"	Apparition vers 30 av. J.-C. (premières formes à la Tène D2)
PCCRU	cruches à pâte claire	Fréquentes à l'Augustéen
PGCAT	céramique fine catalane	Caractéristique des ensembles de la Tène D1
Céramiques fines régionales à pâte sombre		
PGFINH	céramique fine à pâte grise homogène	Apparition vers 60 av. J.-C.
PGFINLF	céramique fine à pâte grise fumigée	Proportion importante des tessons à la Tène D2
PGFINTN	céramique <i>terra nigra</i>	Apparition vers 80/70 av. J.-C.
PGLUST	céramique à pâte grise lustrée	
PSFINA	céramique fine à pâte sombre (surface brune et pâte rouge)	Apparition et présence à la Tène D1
PSFINB	céramique fine à pâte sombre (surface noire et pâte brune)	Apparition à la Tène C2 et disparition à la fin du II ^{ème} siècle av. J.-C.
Céramiques fines régionales à pâte claire		
PEINTA	céramique peinte (production d'Auvergne)	Caractéristique de la Tène D1 sur le Mont-Beuvray (apparition vers 200 av. J.-C.)
PEINTB	céramique peinte à pâte sableuse	Apparition à la Tène D1 et présence jusqu'à l'Augustéen.
PCLUSTR	céramique à pâte claire lustrée	
Céramiques communes tournées régionales		
MIFIN	céramique mi-fine	Rares avant la Tène D2
MICACMIFIN	céramique mi-fine à revêtement micacé	Rares avant la Tène D2
Céramiques communes non tournées régionales		
PSGROS	céramique grossière à pâte sombre	
PCGROS	céramique grossière à pâte claire	

Tableau 1 : Principales catégories céramiques présentes au Mont-Beuvray.

Les différents bâtiments, de petite taille sont spécialisés dans une activité particulière, par exemple le travail du fer ou le travail des alliages cuivreux ou le travail de l'émail. En raison de la forte pente du terrain, les bâtiments sont étagés sur plusieurs terrasses aménagées le long

de la voie antique (dont le tracé à cet endroit est repris par la route actuelle). Ajouté à cette stratigraphie particulière, les tranchées de fouilles du XIX^{ème} (les fameuses « tranchées Bulliot ») empêchent d'établir un phasage de l'ensemble du site et de relier généralement les différentes stratigraphies établies sur les différentes pièces.

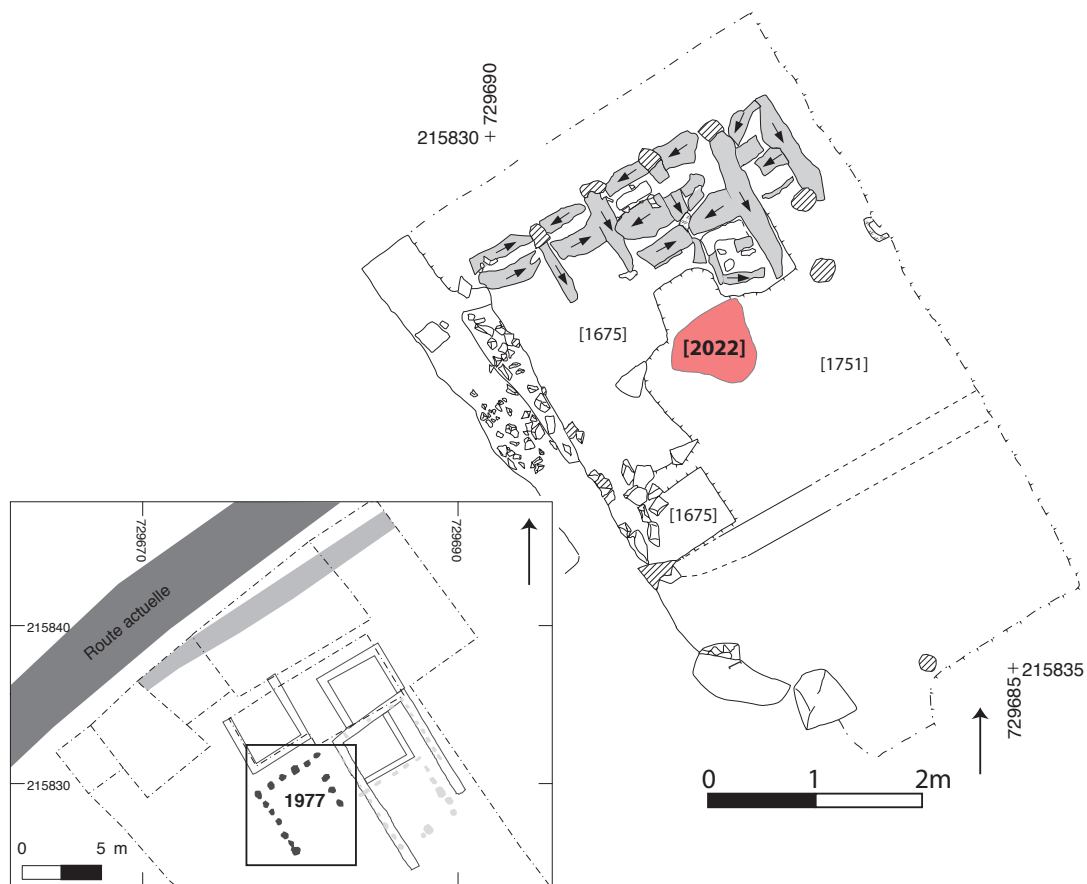


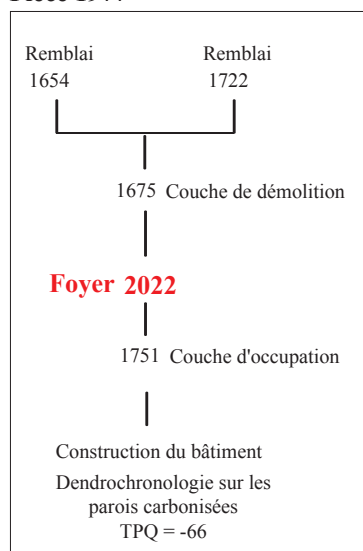
Figure 2 : A gauche, plan général des fouilles de la Côte-Chaudron (fouilles J.P. Guillaumet, Université de Bourgogne, puis T. Boznak, Université de Rzeszow et Petra Golanova, université de Brno). A droite, plan détaillé de la pièce 1977, où est situé le foyer 2022 (B2005.32.2022), étudié par archéomagnétisme. Les poutres des parois, préservées par l'incendie, sont représentées en grisé. (D'après Rapport annuel d'activité 2010 p 117 Figure 4 et Rapport annuel d'activité 2004 p.182 Figure 11)

La pièce 1977 (Figure 2), où se situe le foyer 2022 étudié par archéomagnétisme (B2005.32.2022, aussi appelé foyer 1752 B2004.32.1752), n'a par exemple pas de relations stratigraphiques claires avec le bâtiment CC19 situé juste à l'est et pour lequel un phasage a pu être établi. La pièce 1977, appelée « case d'émailleur » par J.-G. Bulliot, était spécialisée dans le travail du fer. Le bâtiment était construit en terre et en bois sur des sablières basses. Il présente une forme globalement carrée avec un côté d'environ 5m. Il a été détruit par un incendie (couche 1675) et n'a pas été ensuite reconstruit contrairement au bâtiment adjacent CC19. L'incendie a permis de préserver les poteaux des parois de la pièce, qui ont pu être étudiés en dendrochronologie.

Le foyer 2022, au centre de la pièce, est installé sur le sol 1751. Il présente une forme rectangulaire avec une longueur d'environ 60 cm de longueur et 50 cm de largeur. Le foyer présente une surface indurée de quelques millimètres d'épaisseur. La rubéfaction reste limitée à 2 ou 3 centimètres d'épaisseur.

La datation du fonctionnement du foyer (Figure 3) repose sur la dendrochronologie et sur l'analyse du mobilier, qui a été réalisée au cours du stage « céramiques » en février 2010 (organisé par Bibracte et dirigé par Sylvie Barrier rattachée aux universités de Tours et Lausanne). Les analyses dendrochronologiques ont été réalisées sur les bois carbonisés des parois de la pièce. La dendrochronologie date donc la construction de la pièce 1977, ce qui donne un *TPQ* au fonctionnement du foyer 2022 (Figures 2 et 3). Les analyses permettent d'établir pour le prélèvement B2005.32.1982 une séquence dendrochronologique (Durost *et al.*, 2008) longue de 149 cernes. L'aubier a disparu et le nombre de cernes détruit dans le bois de cœur est inconnu. Cette séquence présente une excellente corrélation avec la référence CLASSIC-OAKS (Durost *et al.*, 2007). Le *TPQ* pour la construction de la pièce 1977 et en conséquence pour le calage chronologique du foyer 2022 est fixé en 77 av. J.-C..

Pièce 1977



Côte Chaudron - UF 1722 (B2004.32.1722)	
Description	Remblai
NR	48
NMI	12
Faciès céramique	Faciès LTD2B (EIRA, proportion importante de céramiques grossières). Absence de marqueurs augustéens (TSIT)
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
<i>TPQ</i>	Vers -50 (EIRA)
<i>TAQ</i>	NMI trop faible
Datation générale	Environ 50 av. J.-C. à 30 av. J.-C..

Côte Chaudron - UF 1654 (B2004.32.1654)	
Description	Remblai
NR	99
NMI	17
Faciès céramique	Faciès Augustéen (TSIT, PARFIN B, PCCRU). L'ensemble présente du mobilier résiduel de LTD1 (PEINTB) et une proportion encore forte de céramiques non tournées.
Mobilier amphorique	Non conservé
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
<i>TPQ</i>	Vers -30 (TSIT)
<i>TAQ</i>	Vers +15 (Absence des sigillées gauloises de la Graufesenque - TSAG)
Datation générale	Environ 30 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Côte Chaudron - UF 1675 (B2004.32.1675)	
Description	Couche de démolition, niveau carbonisé suite à un incendie (Certaines attributions aux catégories sont à prendre avec précaution, en raison des signes de recuisson sur une grande partie des tessons.)
NR	272
NMI	29
Faciès céramique	Faciès non homogène avec des marqueurs LTD1 (CAMPB et PSFINA) en position résiduelle et Augustéens (TSIT, EIRA, Cr. 5b, G 8), LTD2b (G 4). La faible proportion de sigillées place probablement cet ensemble à la transition LTD2b - Augustéen.
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
<i>TPQ</i>	Vers -30 (TSIT)
<i>TAQ</i>	Vers +15 (Absence des sigillées gauloises de la Graufesenque - TSAG)
Datation générale	Environ 40 av. J.-C. à 15 av. J.-C..

Figure 3 : Diagramme stratigraphique simplifié de la pièce 1977 de la Côte-Chaudron et tableaux de synthèse des datations chrono-typologiques des UF.

Le mobilier du niveau d'occupation 1751, sur lequel repose le foyer 2022, n'apporte pas d'informations chronologiques sur l'occupation de la pièce 1977. La couche d'incendie 1675, associée à la démolition de la pièce 1977, présente un faciès céramique très hétérogène datable de la transition entre la Tène D2b et la période augustéenne (Figure 3). Le *TPQ* de cette couche, défini par l'élément datant le plus récent (en l'occurrence la présence de sigillées italiques TSIT) est fixé en 30 av. J.-C. Cette datation est confirmée par les remblais sus-jacents 1722 et 1654

(Figure ?), également hétérogènes et respectivement datés de la Tène D2b et de l'augustéen ancien (au vu de la forte proportion de céramiques non tournées).

Les résultats de ces trois UF permettent donc de dater l'incendie à la transition entre la Tène D2b et l'augustéen. Nous avons choisi de fixer le *TAQ* de la pièce 1977 en 20 av. J.-C. Le foyer est ainsi calé chronologiquement dans l'intervalle [-66 ; -20].



Figure 4 : Foyer 2022 de la Côte-Chaudron avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (cliché Ph. Dufresne).

Prélèvement archéomagnétique

Vingt-six prélèvements (Figure 5) ont été réalisés par le 3 octobre 2005 par Philippe Dufresne et Edvokia Tema sur la sole du foyer. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. 5 prélèvements (2, 3, 5, 6 et 9) ont été totalement fracturés lors de leur acheminement (postal) à Rennes. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1P1 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. 19 échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 575°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C.

Minéralogie magnétique

La variation des intensités d'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.2 et 2 A/m), des susceptibilités en champ faible (entre 24 et 600 10^{-5} SI) reflète probablement la variation de l'intensité de la cuisson (Figure 5a). Les échantillons les plus aimantés ont tendance à être situés au centre du foyer. Les températures de déblocage (Figure 5b), assez homogènes entre les différents échantillons, sont régulièrement répartis entre 100 et 580°C. La titanomagnétite semble donc la phase principale porteuse de l'aimantation.

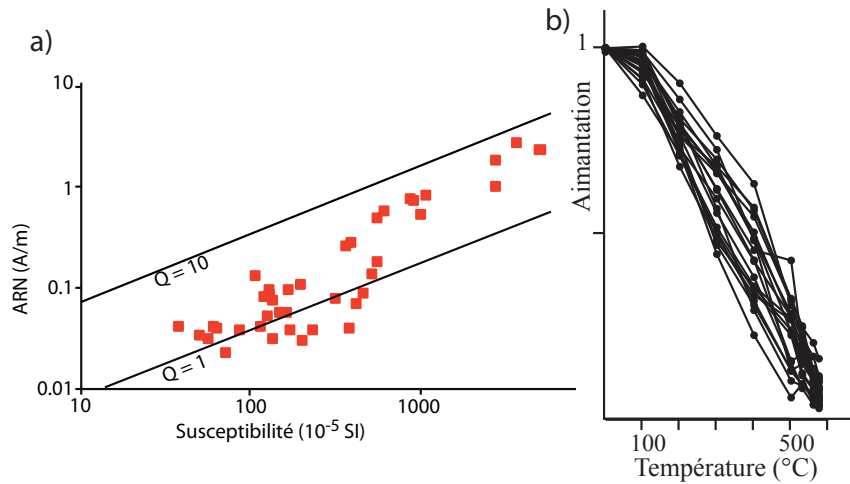


Figure 5 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer 2022. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Sur dix-neuf échantillons, onze présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four ou au moment de l'incendie (Figure 6). Quatre échantillons portent deux composantes d'aimantation : la composante d'aimantation secondaire est acquise à la dernière chauffe du four. Ceci indique que la température atteinte dans le foyer n'a pas été suffisante pour effacer l'aimantation préexistante. Pour 3 échantillons, la variation continue de la direction d'aimantation ne permet pas d'identifier une composante d'aimantation. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 2.

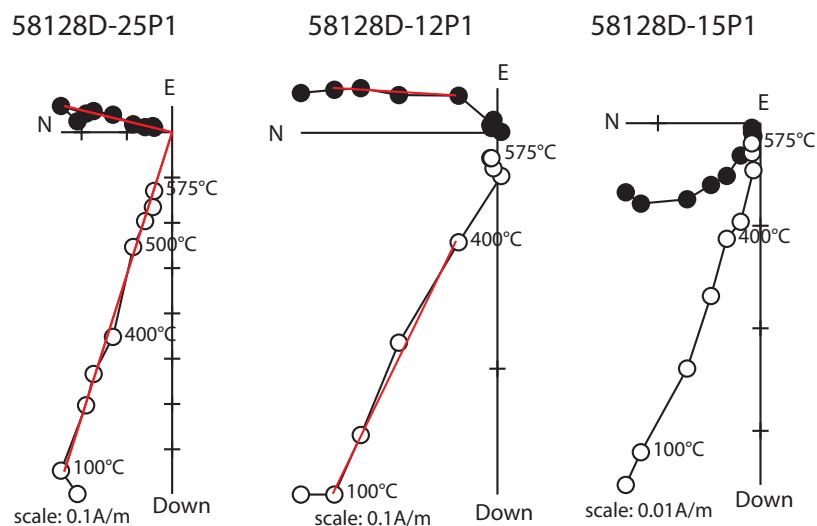


Figure 6 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs du foyer 2022. L'échantillon à gauche présente une seule composante d'aimantation (11 échantillons sur 19). Comme quatre échantillons, le spécimen au centre présente deux composantes d'aimantation. Pour trois échantillons (à droite), aucune composante d'aimantation ne peut être déterminée. Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie faible avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 4 et 8% (Tableau 2). Trois échantillons sont plus anisotropes avec des taux de 16, 18 et 40% (Figure 7 à gauche). Aucune fabrique particulière ne semble dominer à l'échelle de la structure (Figure 7 à droite). Comme l'application de l'anisotropie disperse (légèrement) les directions d'aimantation (Tableau 3) et ne change pas la direction d'aimantation moyenne, la correction n'a pas été appliquée.

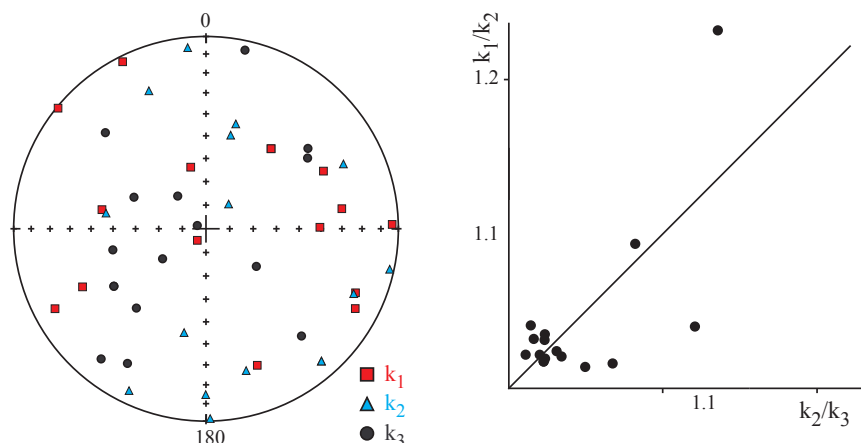


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le foyer 2022.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)
58128D-1P	4,9E-01	1,4E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	2.0	70.9	1.7	-3.8	1.165	1.040	1.121	8.2	72.3
58128D-4P1	7,8E-02	9,6E+01	100 - 400	PCA	ChRM	4	13.4	63.4	1.3	-6.2	1.042	1.021	1.020	14.5	63.3
58128D-7P	7,3E-02	5,5E+01	100 - 300	PCA	ChRM	3	4.1	70.5	1.6	-3.6	1.183	1.094	1.082	353.2	74.0
58128D-8P1	1,3E-01	1,4E+02	100 - 400	PCA	ChRM	4	6.6	71.9	2.4	-5.3	1.055	1.031	1.023	8.1	72.3
58128D-10P1	3,7E-02	4,1E+02	100 - 400	PCA	II ^{re}	4	353.7	60.3	4.9	-3.4	1.043	1.019	1.023	352.2	60.9
58128D-11P1	8,2E-02	5,4E+01	100 - 575	PCA	ChRM	8	6.9	67.7	2.3	-6.6	1.040	1.017	1.022	7.4	68.5
58128D-12P1	1,8E-01	1,4E+02	100 - 400	PCA	II ^{re}	4	3.4	64.0	2.2	-1.8	1.059	1.035	1.023	2.4	63.2
58128D-13P1	7,5E-01	1,9E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	9.8	64.8	1.5	-5.3	1.055	1.020	1.034	10.2	65.8
58128D-14P1	2,7E+00	4,9E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	4.4	60.7	1.1	-7.5	1.064	1.014	1.049	3.7	62.1
58128D-15P1	3,8E-02	3,4E+01													
58128D-17P1	4,0E-02	3,3E+01	100 - 500	PCA	II ^{re}	5	359.2	59.4	3.7	-6.0	1.055	1.041	1.014	0.7	58.8
58128D-18P	2,3E+00	6,0E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	5.6	67.7	0.7	-8.4	1.399	1.232	1.136	9.8	69.9
58128D-19P1	3,1E-02	3,1E+01													
58128D-20P1	3,0E-02	5,5E+01	100 - 400	PCA	II ^{re}	4	2.5	73.5	5.2	-4.7	1.048	1.032	1.016	3.8	72.4
58128D-21P1	2,7E-02	1,1E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	2.0	64.8	1.2	-5.6	1.032	1.021	1.011	1.9	64.7
58128D-22P1	3,2E-02	2,9E+01													
58128D-23P1	7,8E-02	5,1E+01													
58128D-25P1	8,3E-01	2,3E+02	100 - 575	PCA	ChRM	8	13.7	71.9	0.9	-8.5	1.025	1.020	1.005	12.2	71.7
58128D-26P1	4,1E-02	2,4E+01	100 - 575	PCA	ChRM	8	3.4	62.5	1.9	-6.0	1.084	1.016	1.067	2.9	64.2

Tableau 2 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le foyer 2022

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

La Figure 8 montre le regroupement des 15 directions d'aimantation moyennes par prélèvement, non corrigées de l'anisotropie. Ces directions sont assez dispersées surtout en inclinaison. La dispersion ne semble pas s'expliquer par des mouvements post-cuisson du foyer, comme la direction d'aimantation ne semble pas liée à la position du prélèvement. Les 15 échantillons sont utilisés pour le calcul de la direction d'aimantation moyenne (Tableau 3).

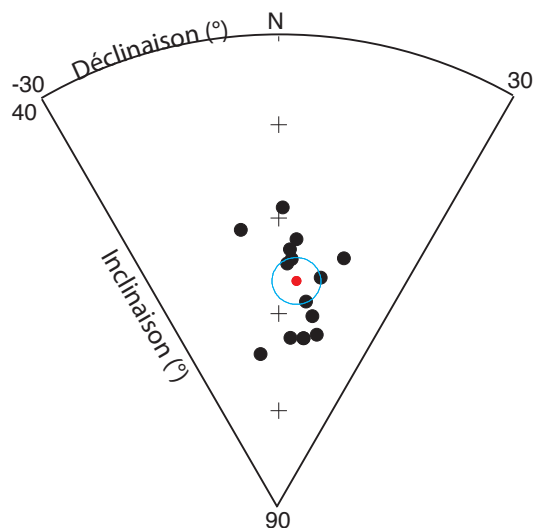


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour le foyer 2022.

Moyennes sans correction

$D = 4.4^\circ$ $I = 66.3^\circ$ $N=15, n=15$ $k=250$ $\alpha_{95} = 2.4^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = 4.5^\circ$ $I = 67.1^\circ$ $N=15, n=15$ $k=217$ $\alpha_{95} = 2.6^\circ$

A Paris (VGP, non corrigée de l'anisotropie)

$D_p = 4.8 \pm 7.1^\circ$ $I_p = 68.4 \pm 2.6^\circ$

Tableau 3 : Archéodirection moyenne du foyer 2022 de la pièce 1977 à la Côme Chaudron.

B) Etude du foyer 3160 à la Côme-Chaudron (58128G)

Description et datation

Le foyer 3160 (B2009.32.3160) est situé dans la partie orientale de la terrasse supérieure de la Côme-Chaudron (Figure 9). Ce secteur a été fouillé en 2008 et 2009 par l'équipe de Tomasz Bochnak et Petra Golanova. Le foyer est situé sous des niveaux de la grande voie antique. Comme pour la pièce 1977, en raison de la forte déclivité du terrain et des fouilles de J.-G. Bulliot, cette zone est isolée des autres secteurs de la Côme-Chaudron. La datation ne repose donc que sur les niveaux archéologiques de ce secteur de dimensions limitées (3m sur 5m).

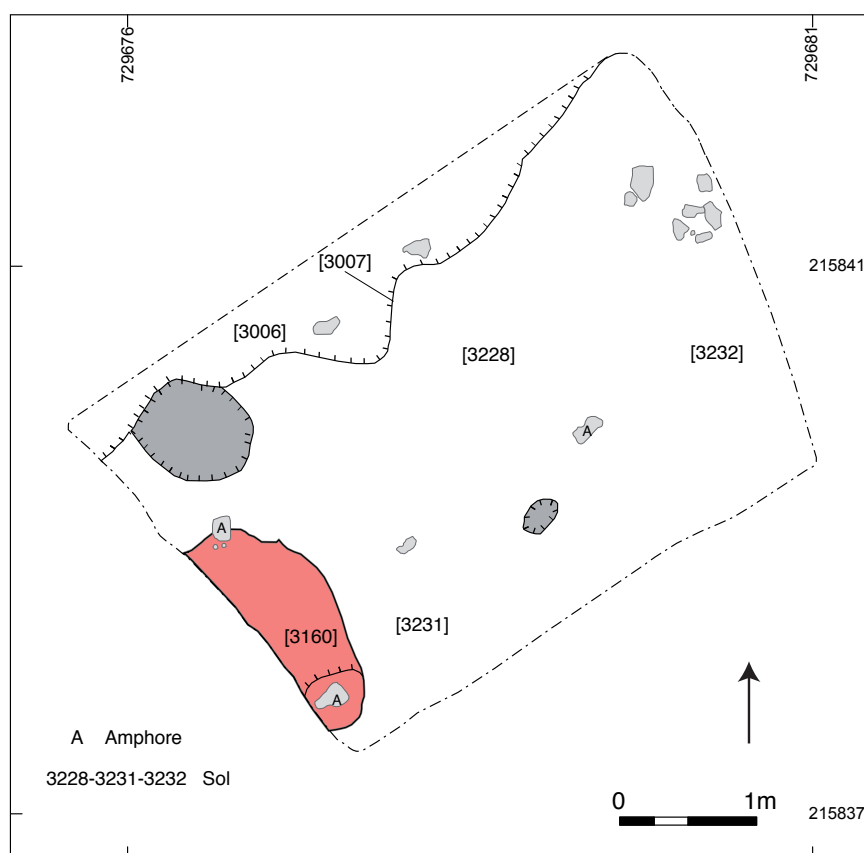
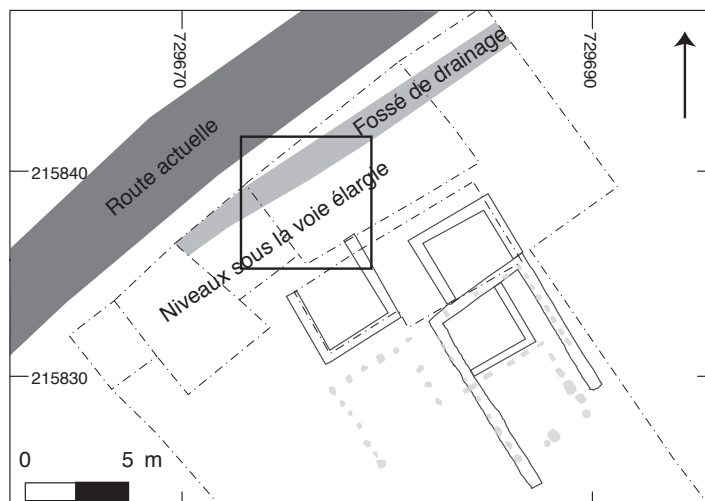
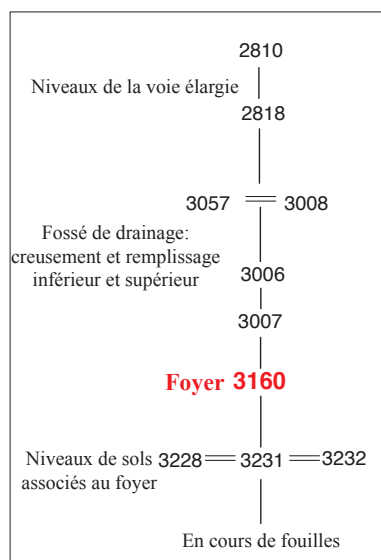


Figure 9 : En haut, plan général des fouilles de la Côte-Chaudron (fouilles T. Boznak, Université de Rzeszow et Petra Golanova, université de Brno). En bas, plan détaillé de la partie orientale de la plateforme supérieure sous les niveaux de la grande voie élargie, où est situé le foyer 3160 (B2009.32.3160). Le foyer est associé aux niveaux de sol [3228] (équivalent à [3231] et [3232]), qui sont recoupés par le fossé de drainage [3007]. (D'après Rapport annuel d'activité 2010 p 46 Figure 7)

Sous les niveaux de la voie élargie (comme [2810] et [2818]), un niveau de sol (composé des UF [3228], [3231] et [3232]) a été dégagé. Le foyer 3160 est associé à ce niveau d'occupation (Figure 9). Le foyer a partiellement été détruit lors des fouilles du XIX^{ème} siècle, qui n'ont apparemment pas engendré de mouvements dans la partie restante (ce qui n'aurait pas permis une analyse archéomagnétique). Le foyer est composé d'un niveau argileux peu rubéfié (1.8 cm d'épaisseur) qui repose sur un radier de galets (majoritairement de quartz). Ce niveau recoupe

des structures fossoyées de petite taille, en cours de fouilles. Ces niveaux ne contiennent malheureusement pas de mobilier, qui pourrait apporter un *TPQ* au niveau de sol et au fonctionnement du foyer. Les niveaux de sol associés au foyer contiennent seulement 13 tessons, présentant un faciès de la Tène D2. Le *TPQ* est donc fixé à 90 av. J.-C.



Côte Chaudron - UF 2810 (B2008.32.2810)	
Description	Niveau de la voie élargie (recharge)
NR	81
NMI	21
Faciès céramique	Faciès LTD2b (Conspectus 1, présence de mi-fines et de PGFINH). Les catégories CAMPA, PEINTA, PEINTB et PSFINA sont probablement en position résiduelle.
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	1 monnaie non identifiable
<i>TPQ</i>	Vers -50/-40 (TSIT, Conspectus 1)
<i>TAQ</i>	Vers -30 (Absence de marqueurs typiquement augustéens comme PARFINB)
Datation générale	Environ 30 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Côte Chaudron - UF 2818 (B2008.32.2818)	
Description	Niveau de la voie élargie
NR	266
NMI	60
Faciès céramique	Faciès Augustéen (TSIT, PARFINA, EIRA, Mayet 2 en PARFINC, PGFINTN, A 4a en PGFINLF, B 18a en PGFINLF, M 8a en MICACMIFIN). Les fortes proportions de céramiques fines et mi-fines confortent également cette attribution chronologique. L'ensemble présente cependant quelques éléments résiduels (PSFINB, E 11a en PGFINLF).
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	1 monnaie non identifiable
<i>TPQ</i>	Vers -30 (TSIT, Ha 1)
<i>TAQ</i>	Vers +15 (Absence des sigillées gauloises de la Graufesenque)
Datation générale	Environ 30 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Côte Chaudron - UF 3008/3057 (B2009.32.3008 et B2009.32.3057)	
Description	Remplissage supérieur du fossé de drainage
NR	212
NMI	42
Faciès céramique	Faciès LTD2b (EIRA, PARFINB, marmites, PGFINTN). Les proportions importantes de céramiques fines et mi-fines confirment cette attribution chronologique. Présence importante de mobilier résiduel LTD1 (PGCAT, PEINTA, PEINTB, PSFINB).
Mobilier amphorique	Dressel 1 (NMI=26), Dressel 7/11, Bétique, Lamboglia 2, Ha 70, Pascual 1
Mobilier métallique	1 monnaie non identifiable
<i>TPQ</i>	Vers -35 (PARFINB Gobelet 8a).
<i>TAQ</i>	Vers -30 (Absence de sigillées italiennes).
Datation générale	Environ 50 av. J.-C. à 30 av. J.-C..

Côte Chaudron - UF 3006 (B2009.32.3006)	
Description	Remplissage inférieur du fossé de drainage
NR	236
NMI	61
Faciès céramique	Faciès peu homogène Augustéen (TSIT, PARFINB, Cruche 5b, Bol B18). La faible proportion de céramiques grossières et la présence de Dressel 2/4 confirment également cette interprétation. L'ensemble présente cependant du mobilier résiduel de LTD1 (CAMPB, PSFINA, PSFINB, PEINTA, PGLUSTR).
Mobilier amphorique	Dressel 1 (NMI=29), Dressel 2/4, Ha 70, Orientale, Tarraconaise
Mobilier métallique	7 monnaies non identifiables
<i>TPQ</i>	Vers -15/-10 (TSIT, Conspectus 1 et Ha 1c)
<i>TAQ</i>	Vers +15 (Absence des sigillées gauloises de la Graufesenque)
Datation générale	Environ 15 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Figure 10 : Diagramme stratigraphique simplifié de la partie orientale de la terrasse supérieure de la Côte-Chaudron et tableaux de synthèse des datations chrono-typologiques des UF.

Le fossé [3007], comblé par l'UF [3006] puis par [3008] (équivalent à [3057]), recoupe les niveaux de sol et fournit donc un *TAQ* au fonctionnement du foyer (Figure 10). Ces UF présentent un mobilier hétérogène LTD2b et Augustéen. Deux tessons de sigillée italique (calice *Conspectus* 1 et assiette *Haltern* 1c) fournissent un *TPQ* robuste en 15/10 av. J.-C. pour le comblement du fossé (Figure 10). Les niveaux de la voie élargie [2818] et [2810], superposant le fossé et les niveaux de sol, présentent également un faciès hétérogène de la Tène D2b ou de l'époque augustéenne avec un *TPQ* à 30 av. J.-C. (Figure 10). Ces datations plus précoces que celle du fossé n'excluent pas que les deux tessons de sigillée italique mentionnés ci-dessus soient intrusifs. Le *TAQ* des niveaux de sol et du foyer pourrait être fixé vers 30 av. J.-C., plutôt que vers 10 av. J.-C. Dans le doute, nous avons toutefois préféré retenir cette seconde option. L'intervalle de date utilisé pour le calage chronologique du foyer 3160 est ainsi [-90 ; -10].



Figure 11: Foyer 3160 de la Côte-Chaudron avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.

Prélèvement archéomagnétique

Dix-sept prélèvements (Figure 11) ont été réalisés par le 20 août 2009 par Gwenaël Hervé sur la sole du foyer. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Il faut noter que la présence du radier de galets de quartz a localement fragilisé la couche d'argile rubéfiée sus-jacente lors du découpage à la meuleuse.

Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. Les spécimens ont été préférentiellement découpés au centre des prélèvements, pour éviter les zones fragilisées lors du découpage à la meuleuse (le prélèvement 66 a cependant été perdu). La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Un test de viscosité a été réalisé pour 13 échantillons : ces échantillons ont été placés 15 jours dans un sens du champ du laboratoire et 15 jours dans l'autre sens. 16 échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffeuses de 100 à 510°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 420 ou 440°C.

Minéralogie magnétique

Les faibles intensités d'ARN, susceptibilités en champ faible et rapports de Koenigsberger supposent une chauffe modérée de l'argile (Figure 12). Aucune relation ne peut être établie entre l'intensité de l'aimantation et la position du prélèvement. Par exemple, les plus fortes ARN, souvent indicatrices des plus fortes chauffes, sont mesurées pour le prélèvement 50, situé en bordure du foyer.

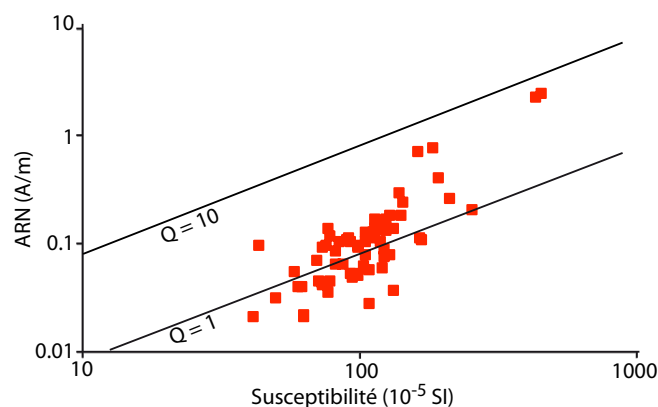


Figure 12 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer 3160. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les échantillons présentent des taux de viscosité assez élevés (7 à 23%), particulièrement sur la périphérie du foyer (Tableau 4). Ces taux indiquent une chauffe insuffisante pour stabiliser l'aimantation des échantillons. Après la désaimantation thermique, les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Sur seize échantillons, sept présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du foyer (Figure 13). Cinq échantillons portent deux composantes d'aimantation : la composante d'aimantation secondaire (qui ne passe pas par l'origine du repère) est acquise à la dernière chauffe du foyer. Ceci indique que la température atteinte n'a pas été suffisante pour effacer l'aimantation préexistante. Pour les 4 échantillons, la direction de la composante secondaire, acquise à la dernière chauffe du foyer, est trop faible pour être déterminée avec fiabilité. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 4.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 12% (Figure 14, Tableau 4). Aucune fabrique particulière ne semble dominer à l'échelle de la structure (Figure 14). Comme l'application de l'anisotropie disperse (légèrement) les directions d'aimantation (Tableau 5) et ne change pas la direction d'aimantation moyenne, la correction n'a pas été appliquée.

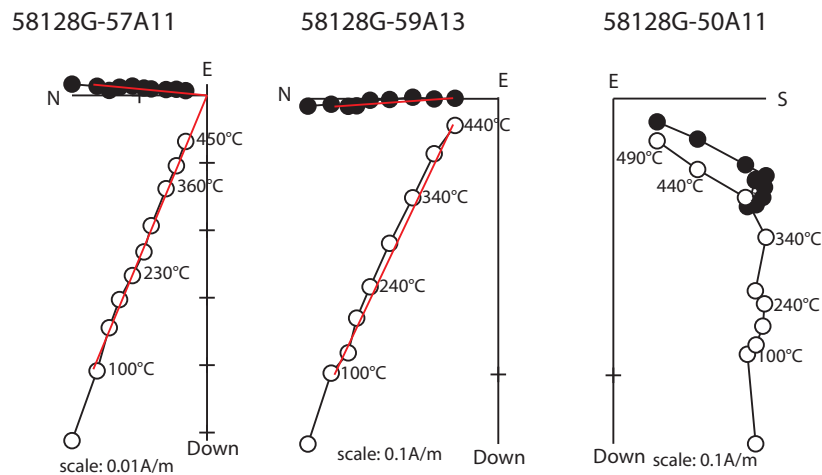


Figure 13 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs du foyer 3160. L'échantillon à gauche présente une seule composante d'aimantation (7 échantillons sur 16). Comme cinq échantillons, le spécimen au centre présente une composante qui ne passe pas par l'origine. Pour cinq échantillons (à droite), il n'a pas été possible de déterminer avec fiabilité la composante secondaire d'aimantation. Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

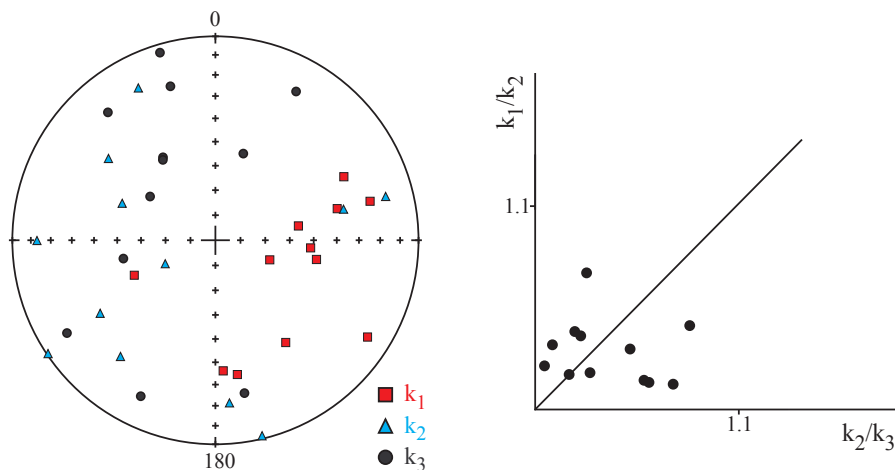


Figure 14 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le foyer 3160

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Visc (%)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM //I ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
												K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)
58128G-50A11	1,4E-01	1,2E+02	12													
58128G-51A11	1,4E-01	1,2E+02	15													
58128G-52A11	3,0E-01	1,4E+02	16													
58128G-53A11	3,2E-02	5,0E+01	16	100 - 500	PCA	ChRM	10	13.6	68.9	2.5	-0.1	1.060	1.036	1.022	15.2	68.9
58128G-54A11	4,1E-02	6,0E+01	18	100 - 500	PCA	II ^{re}	10	358.3	66.2	1.9	-0.2	1.069	1.015	1.054	1.1	67.4
58128G-55A12	1,4E-01	1,3E+02		100 - 440	PCA	ChRM	8	11.6	60.9	2.1	2.7	1.094	1.067	1.025	12.1	59.0
58128G-56A11	7,7E-02	1,2E+02	19													
58128G-57A11	5,5E-02	5,9E+01	9	100 - 450	PCA	ChRM	9	5.4	67.4	1.0	-1.6	1.041	1.032	1.009	4.3	67.7
58128G-58A14	1,2E-01	7,9E+01		100 - 500	PCA	II ^{re}	10	9.0	60.7	2.9	-3.4	1.070	1.014	1.056	9.4	58.9
58128G-59A13	1,4E-01	1,2E+02	8	100 - 440	PCA	II ^{re}	8	356.0	64.6	2.3	2.5	1.046	1.018	1.027	357.1	64.4
58128G-60A11	1,1E-01	9,3E+01	8	100 - 450	PCA	ChRM	9	7.7	70.7	1.9	-0.3	1.082	1.013	1.068	12.5	70.0
58128G-61B11	1,9E-01	1,3E+02	7	100 - 490	PCA	ChRM	9	354.9	68.3	1.1	-0.1	1.078	1.030	1.047	355.3	67.4
58128G-62A11	9,8E-02	4,4E+01	10	100 - 450	PCA	II ^{re}	9	11.1	66.0	3.1	-1.2	1.026	1.022	1.005	11.7	65.0
58128G-63A11	5,4E-02	9,4E+01	23	100 - 230	PCA	II ^{re}	4	18.2	65.4	2.1	-2.4	1.035	1.017	1.017	18.9	64.7
58128G-64A11	1,3E-01	1,1E+02	9	100 - 490	PCA	ChRM	9	358.6	62.3	2.0	0.8	1.059	1.039	1.020	1.1	63.1
58128G-65A11	7,0E-02	7,0E+01		100 - 510	PCA	ChRM	11	15.4	57.2	3.5	0.5	1.121	1.041	1.076	17.2	56.7

Tableau 5 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le foyer 9534

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; pourcentage de viscosité ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (I^e) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

Les douze directions d'aimantation moyennes par prélèvement, non corrigées de l'anisotropie sont assez dispersées (Figure 15). La dispersion provient peut-être du prélèvement, qui s'est avéré délicat à cause du radier de galets. Les douze échantillons sont utilisés pour le calcul de la direction d'aimantation moyenne (Tableau 5).

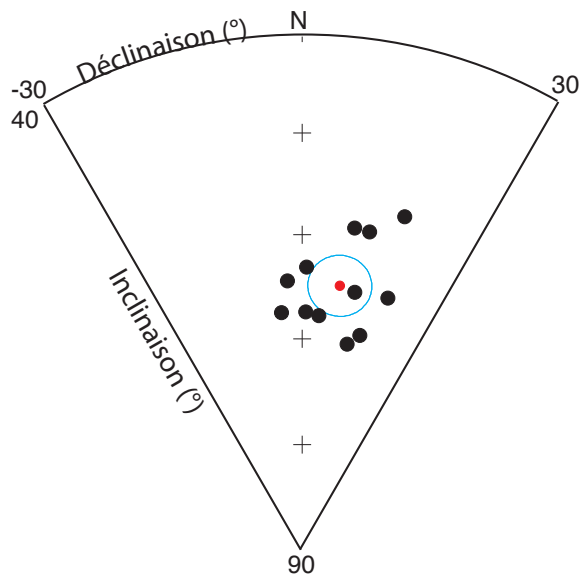


Figure 15 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour le foyer 3160.

Moyennes sans correction

$D = 6.9^\circ$ $I = 65.1^\circ$ $N=12, n=12$ $k=245$ $\alpha_{95} = 2.8^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = 8.3^\circ$ $I = 64.6^\circ$ $N=12, n=12$ $k=219$ $\alpha_{95} = 2.9^\circ$

A Paris (VGP, non corrigée de l'anisotropie)

$D_p = 8.6 \pm 6.9^\circ$ $I_p = 65.9 \pm 2.8^\circ$

Tableau 5 : Archéodirection moyenne du foyer 3160 de la partie orientale de la terrasse supérieure à la Côte-Chaudron.

C) Etude des foyers superposés 3290 et 3292 à la Côte-Chaudron (58128E et F)

Description et datation

La partie occidentale de la terrasse supérieure de la Côte-Chaudron a révélé sous les niveaux de la grande voie ([2818] et [2810]) trois foyers superposés (qui forme l'ensemble [3070]). Ce secteur a été fouillé en 2008 et 2009 par l'équipe de Tomasz Bochnak et Petra Golanova. Les foyers superposés (de bas en haut) 2853, 3290 et 3292 sont associés à un niveau de sol ([3071] qui subsiste par lambeaux (Figure 16). Les foyers et le sol repose sur la couche de préparation de sol [3069].

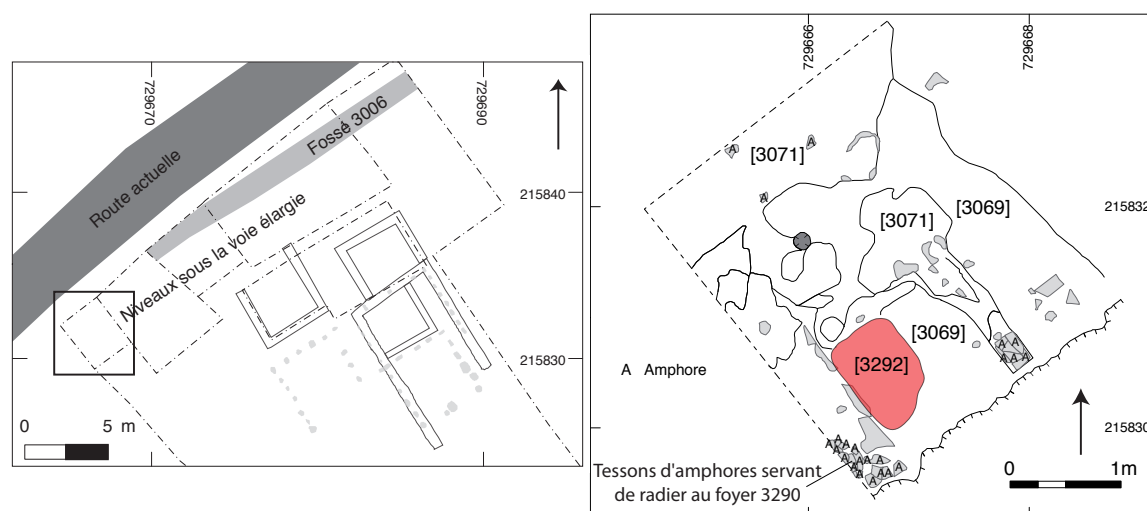
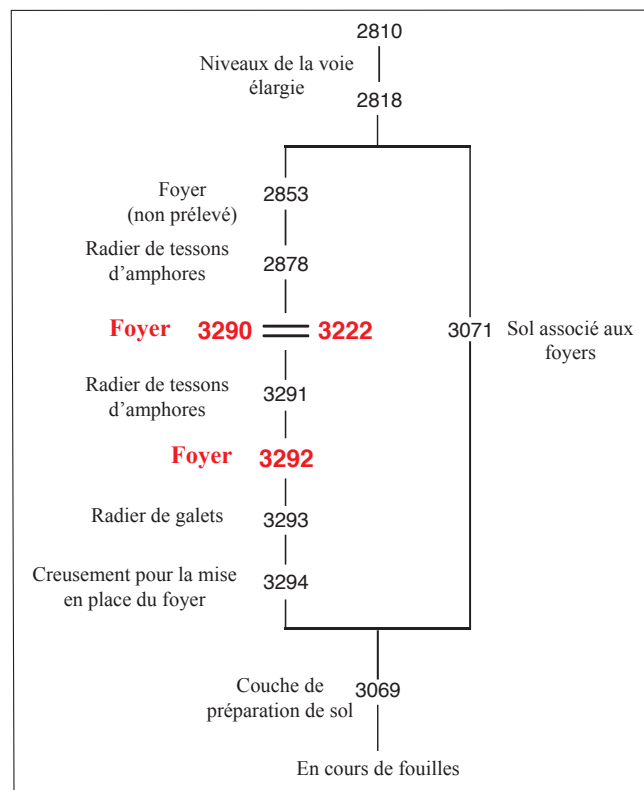


Figure 16 : En haut, plan général des fouilles de la Côte-Chaudron (fouilles T. Boznak, Université de Rzeszow et Petra Golanova, université de Brno). En bas plan détaillé de la partie occidentale de la plateforme supérieure sous les niveaux de la grande voie élargie, où sont situés les foyers superposés 3292 (B2009.32.3160) et 3290 (B2009.32.3290). Le foyer repose sur la couche de préparation de sol [3069] et est associé au niveau de sol [3071]. (D'après Rapport annuel d'activité 2010 p 43 Figure 4)

L'étude archéomagnétique a porté sur le foyer 3290 (B2009.32.3290, 58128F, aussi appelé 3222) et sur le foyer sous-jacent 3292 (B2005.32.3292, 58128E). Situé en limite d'emprise de fouille, le foyer 3290 est construit partiellement sur un radier de tessons d'amphores, qui s'appuie partiellement sur le foyer 3292 (Figure ?). La rubéfaction est faible sur une épaisseur d'au maximum 2 cm (Figure 19). Le foyer 3292 est construit sur un radier de galets, majoritairement en quartz. La rubéfaction est plus marquée que celle du foyer 3290 (3 cm d'épaisseur en moyenne). Ces foyers successifs sont probablement associés à une activité métallurgique (présence de quelques scories).

Pour la datation des foyers, le niveau de sol contient seulement 32 tessons, dont le faciès est caractéristique de la Tène D2a (Figure 17). Comme les niveaux sous les foyers ne sont pas fouillés, il n'est pas possible à ce jour de donner par le mobilier un *TPQ* au fonctionnement des foyers 3292 et 3290. Les foyers et le sol associé sont recouverts par les niveaux [2810] et [2818] de la grande voie élargie, qui présentent un *TPQ* vers 30 av. J.-C. Cependant, comme pour le foyer 3160 (Cf *supra*), il est préférable de fixer le *TAQ* au fonctionnement des foyers vers 15 av. J.-C.

Annexe 3 : Etude des sites français, Glux-en-Glenne, le Mont-Beuvray, *Oppidum* de Bibracte



Côte Chaudron - UF 2810 (B2008.32.2810)	
Description	Niveau de la voie élargie (recharge)
NR	81
NMI	21
Faciès céramique	Faciès LTD2b (Conspectus 1, présence de mi-fines et de PGFINH). Les catégories CAMPA, PEINTA, PEINTB et PSFINA sont probablement en position résiduelle.
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	1 monnaie non identifiable
TPQ	Vers -50/-40 (TSIT, Conspectus 1)
TAQ	Vers -30 (Absence de marqueurs typiquement augustéens comme PARFINB)
Datation générale	Environ 30 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Côte Chaudron - UF 2818 (B2008.32.2818)	
Description	Niveau de la voie élargie
NR	266
NMI	60
Faciès céramique	Faciès Augustéen (TSIT, PARFINA, EIRA, Mayet 2 en PARFINC, PGFINTN, A 4a en PGFINLF, B 18a en PGFINLF, M 8a en MICACMIFIN). Les fortes proportions de céramiques fines et mi-fines confortent également cette attribution chronologique. L'ensemble présente cependant quelques éléments résiduels (PSFINB, E 11a en PGFINLF).
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	1 monnaie non identifiable
TPQ	Vers -30 (TSIT, Ha 1)
TAQ	Vers +15 (Absence des sigillées gauloises de la Graufesenque)
Datation générale	Environ 30 av. J.-C. à 15 ap. J.-C..

Côte Chaudron - UF 3071 (B2009.32.3071)	
Description	Niveau de sol associé aux foyers superposés.
NR	32
NMI	9
Faciès céramique	Faciès LTD2a (PSFINA, PSFINB, Bol 11b).
Mobilier amphorique	Dressel 1 (NMI=1)
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
TPQ	Vers -90 (B 11b)
TAQ	
Datation générale	Environ 90 av. J.-C. à 50 av. J.-C..

Figure 17 : Diagramme stratigraphique simplifié de la partie occidentale de la terrasse supérieure de la Côte-Chaudron et tableaux de synthèse des datations chrono-typologiques des UF correspondantes.

Pour compléter cette datation, la présence de charbon de bois de petite taille entre les deux foyers 3292 et 3290 a permis d'effectuer une datation radiocarbone au laboratoire de Poznan. Après calibration, trois intervalles de date à 95.4% de confiance sont obtenus : [-165 ; -130] à 9.8% de confiance, [-119 ; 25] à 83.7% de confiance et [42 ; 49] à 1.9% de confiance (Figure 18). Nous avons décidé de retenir uniquement le second intervalle, ce qui place le fonctionnement des foyers, en combinant le radiocarbone et le mobilier, dans l'intervalle [-119 ; -10].

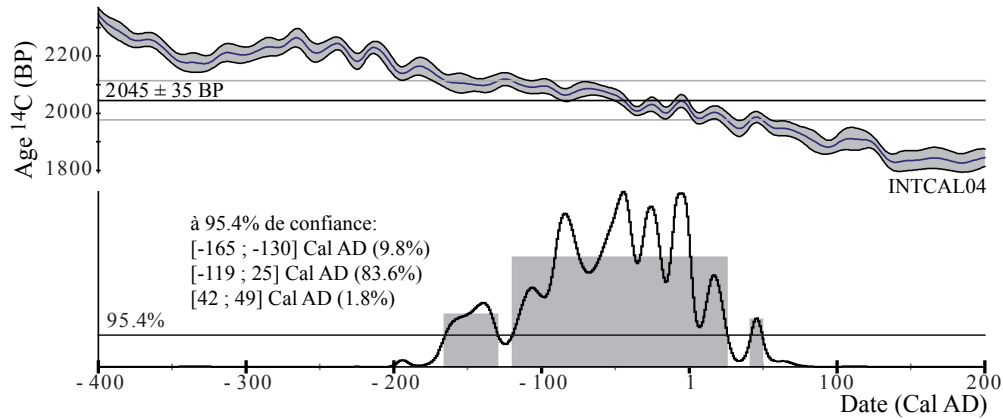


Figure 18 : Datation radiocarbone du charbon de bois prélevé entre les foyers 3292 et 3290. La calibration de l'âge radiocarbone est réalisée avec la courbe INTCAL04 (Reimer et al., 2004) sur le logiciel RenDateModel.



Figure 19 : A gauche, foyer supérieur 3290 de la Côte-Chaudron (vu de l'est) et à droite foyer inférieur 3292 (vu de l'ouest). Les échantillons 26 à 29 sont des vestiges du foyer 3290, fouillés dans sa partie centrale. Les prélèvements archéomagnétiques sont localisés.

Prélèvement archéomagnétique

Les soles des deux foyers 3290 (58128F) et 3292 (58128E) ont été prélevées. 24 prélèvements (n° 1 à 24) ont été réalisés pour le foyer inférieur 3292 (Figure 19 à gauche) le 6 août 2009 par Gwenaël Hervé. Partiellement fouillé avant le prélèvement, le foyer supérieur 3290 a été prélevé sur deux secteurs : le long de la berme ouest (17 prélèvements numérotés de 30 à 46, à gauche Figure 19) et juste au sud-est du foyer 3292 (4 prélèvements, numérotés de 26 à 29, Figure 19 à droite). Ce prélèvement a été réalisé le 19 août 2009. L'ensemble des prélèvements des deux foyers a été orienté à la boussole. Les prélèvements du foyer supérieur 3290 ont également pu être orientés à l'équerre solaire.

Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 2). Les échantillons du foyer inférieur 3292 sont uniquement constitués d'argile, alors que certains échantillons du foyer supérieur 3290 présentent des fragments d'amphores.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre spinner Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Un test de viscosité a été réalisé pour 23 échantillons du foyer supérieur 3290 et 17 échantillons du foyer inférieur 3292 : ces échantillons ont été placés 15 jours dans un sens du champ du laboratoire et 15 jours dans l'autre sens. La désaimantation thermique a été appliquée à 30 échantillons du foyer inférieur 3292 (58128E), qui ont été chauffés de 100 à 610°C. Pour le foyer supérieur 3290 (58128F), les 23 échantillons sélectionnés ont été chauffés de 100 à 560°C. Toutes les chauffe ont été réalisées sur le four MMTD. Pour les deux foyers, le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé à 420 ou 440°C.

Minéralogie magnétique

La très grande variabilité de l'intensité d'aimantation rémanente naturelle (ARN), de la susceptibilité en champ faible et des rapports de Koenigsberger (Figure 20) reflète la variation de l'intensité de la chauffe comme les foyers 2022 et 3160, mais aussi la composition des échantillons. Les échantillons constitués uniquement d'argile restent en général peu aimantés, particulièrement pour le foyer supérieur 3290, ce qui indique une chauffe assez modérée. Pour le foyer inférieur 3292, les prélèvements 16 et surtout 15 ont des intensités d'ARN et des susceptibilités beaucoup plus élevées que les autres prélèvements : en l'absence d'analyses plus précises, ces fortes valeurs localement restent inexpliquées.

Pour le foyer supérieur 3290, les échantillons composés partiellement ou totalement de tessons d'amphores ont des intensités dix fois plus élevées que les échantillons uniquement composés d'argile cuite. Cette différence implique que l'aimantation de ces échantillons semble portée très majoritairement par les grains magnétiques présents dans la pâte de l'amphore.

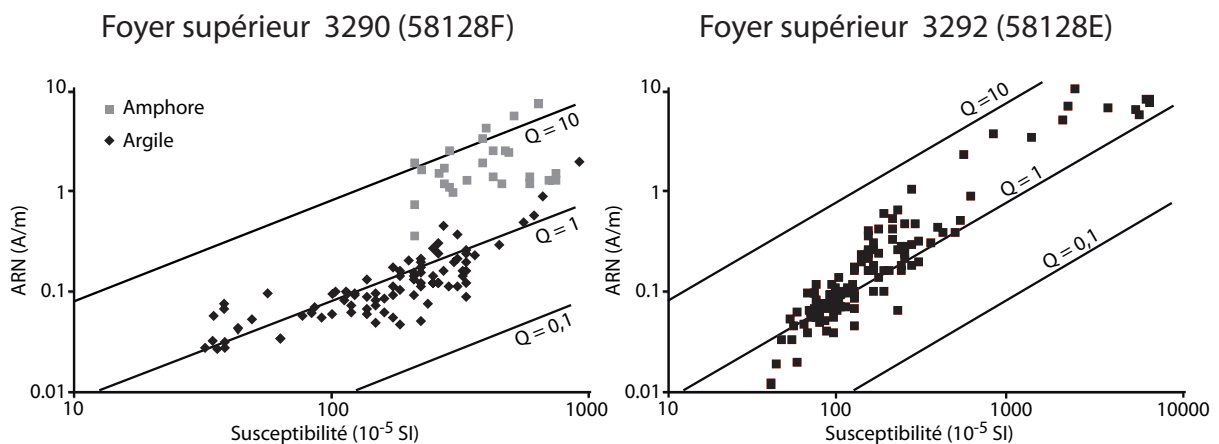


Figure 20 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens des foyers 3290 et 3292. Trois isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les échantillons des foyers 3292 et surtout 3290 peuvent présenter des taux de viscosité élevés jusqu'à 37% (Tableau 6). Ces taux indiquent une chauffe insuffisante pour stabiliser l'aimantation des échantillons. Après la désaimantation thermique, les directions d'aimantation ont généralement été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Six échantillons (sur 23) du foyer 3290 et quatorze échantillons (sur trente) du foyer 3292 présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du foyer (Figure 21).

Les autres échantillons (neuf pour le foyer 3290 et seize pour le foyer 3292) portent deux composantes d'aimantation : la composante d'aimantation secondaire (qui ne passe pas par l'origine du repère) est acquise à la dernière chauffe du foyer. Ceci indique que la température atteinte n'a pas été suffisante pour effacer l'aimantation préexistante. Pour certains de ces échantillons, la distinction difficile entre les deux composantes d'aimantation a nécessité une analyse par grand cercle. Pour le foyer supérieur 3290, huit échantillons constitués en partie d'amphores ne présentent qu'une seule composante d'aimantation, correspondant à la cuisson de l'amphore et non à sa chauffe en place. Ces huit échantillons, qui ont été rejetés, indiquent que la température atteinte en place est restée faible. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 6.

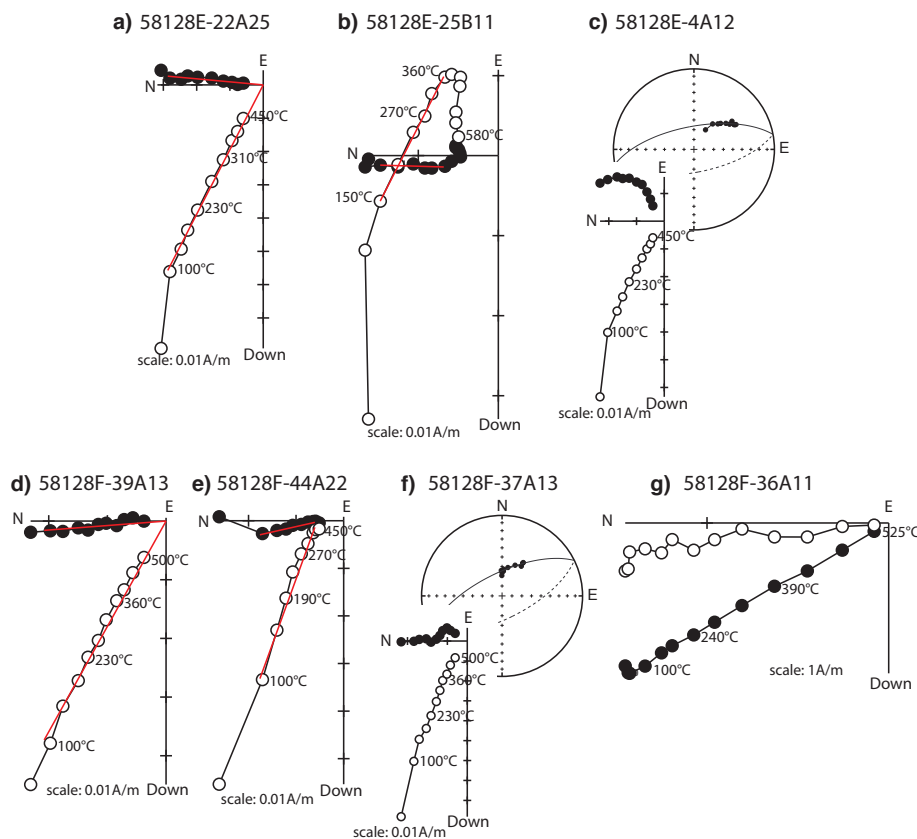


Figure 21 : Diagrammes de Zijdeveld représentatifs du foyer inférieur 3292 (a, b et c) et du foyer supérieur 3290 (d à g). Les échantillons a et d présentent une seule composante d'aimantation. Les échantillons b et e présentent deux composantes d'aimantation facilement distinctes par analyse en composante principale. Pour les échantillons c et f, la distinction difficile entre les deux composantes d'aimantation nécessite une analyse par grand cercle. Enfin, certains échantillons constitués d'amphores du foyer supérieur 3290 présente une seule composante d'aimantation de direction différente des autres échantillons. Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Pour le foyer supérieur 3290, les taux d'anisotropie restent assez faibles entre 1 et 8%. Les échantillons constitués d'amphores ne présentent pas une anisotropie plus élevée (Figure 22, Tableau 6). Les échantillons du foyer inférieur 3292 sont plus anisotropes, avec des taux jusqu'à 17% (Figure 22 et Tableau 6). A part une tendance à la foliation pour le foyer supérieur 3290, aucune fabrique particulière ne semble dominer à l'échelle de la structure (Figure 22). Comme l'application de l'anisotropie disperse significativement les directions d'aimantation (Tableau 7) sans changer la direction d'aimantation moyenne, la correction n'a pas été appliquée pour les deux foyers.

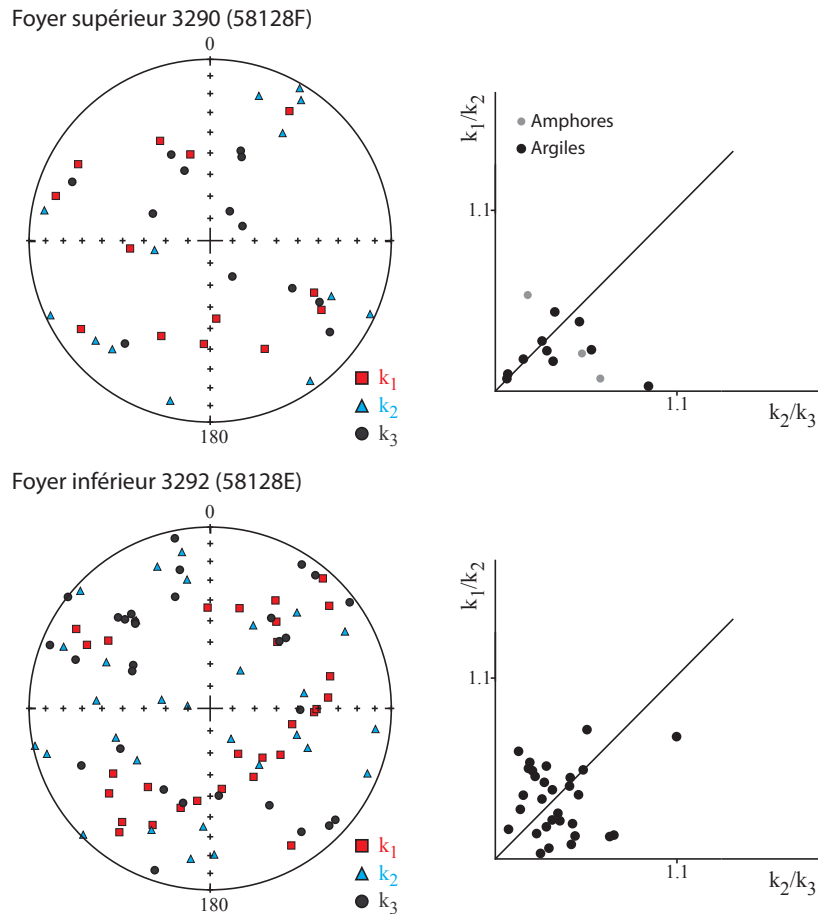


Figure 22 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le foyer supérieur 3290 et le foyer inférieur 3292.

Résultats

Les directions d'aimantation moyennes par prélèvement, non corrigées de l'anisotropie sont assez dispersées pour les deux foyers (Figure 23). La dispersion est sans due à la faible intensité de la chauffe, particulièrement pour le foyer supérieur 3290. Cette dispersion ne permet pas de percevoir une variation de la direction du champ magnétique terrestre entre les deux foyers (Tableau 7).

Annexe 3 : Etude des sites français, Glux-en-Glenne, Mont-Beuvray, *Oppidum* de Bibracte

		ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Visc (%)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM //I ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
												Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
58128F-26A11	amphore	6,1E-02	8,5E+01	18	100 - 400	PCA	II ^{re}	8	3.5	67.4	1.3	0.0	1.064	1.007	1.057	3.5	67.4
58128F-27A11	amphore	3,1E-02	3,9E+01	11	100 - 500	PCA	ChRM	11	353.2	63.3	1.1	-1.2	1.071	1.053	1.017	349.2	63.4
58128F-27A13	amphore	2,8E-02	3,3E+01		100 - 510	PCA	ChRM	10	350.1	61.1	1.7	2.0	1.068	1.021	1.047	350.3	62.3
58128F-28A11	amphore	1,3E+00	7,3E+02														
58128F-29A11	amphore	1,4E+00	4,3E+02														
58128F-30A12		1,6E-01	1,9E+02	8													
58128F-31A23		1,6E-01	3,4E+02	10													
58128F-32A22		1,6E-01	3,3E+02	16													
58128F-33A11	amphore	4,2E+00	4,0E+02	0													
58128F-34A13		5,8E-02	1,0E+02														
58128F-35A11		9,0E-02	1,3E+02	20	100 - 240	PCA	II ^{re}	4	12.1	70.7	7.6	-3.3	1.085	1.038	1.046	12.1	70.7
58128F-36A11	amphore	1,7E+00	2,8E+02	2													
58128F-37A13		9,4E-02	1,3E+02	18	100 - 500	GC		4	333.9	-23.2	6.4	-3.1	1.032	1.017	1.015	333.9	-23.2
58128F-38A12		1,7E-01	1,8E+02		100 - 390	GC		3	216.5	27.2	9.1	-6.6	1.077	1.043	1.032	216.5	27.2
58128F-39A13		5,1E-02	5,0E+01	6	100 - 500	PCA	ChRM	10	355.6	60.8	1.7	-8.4	1.048	1.016	1.031	355.6	60.8
58128F-40A14		1,3E-01	2,1E+02	16	100 - 490	PCA	II ^{re}	9	5.4	66.2	3.6	-9.4	1.086	1.003	1.084	5.4	66.2
58128F-41A21		5,5E-02	3,5E+01		180 - 560	PCA	ChRM	13	3.3	60.7	1.0	0.9	1.053	1.027	1.025	5.2	61.5
58128F-41A23		7,5E-02	3,9E+01	3	100 - 535	PCA	ChRM	11	357.3	64.2	1.0	-4.0	1.012	1.007	1.006	357.3	64.5
58128F-42A12		2,6E-01	3,4E+02	7	100 - 490	PCA	ChRM	4	3.6	63.8	3.7	-13.6					
58128F-43A13		4,4E-01	2,8E+02	7	100 - 340	PCA	II ^{re}	5	3.2	66.4	5.7	-2.7	1.015	1.009	1.006	3.2	66.4
58128F-44A22		6,1E-02	1,2E+02	24	100 - 450	PCA	II ^{re}	4	347.2	69.5	3.4	-2.7	1.050	1.022	1.028	347.2	69.5
58128F-45A11		2,4E-01	2,6E+02	12	100 - 490	PCA	II ^{re}	5	8.9	71.1	2.9	3.8	1.076	1.023	1.052	8.9	71.1
58128F-46A12		1,2E-01	2,5E+02	18	100 - 270	PCA	II ^{re}	5	9.8	62.3	8.2	-10.9					

		ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Visc (%)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM //I ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
												Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
58128E-1B14		7,3E-02	8,1E+01	13	100 - 490	PCA	II ^{re}	9	353.5	59.5	3.7	0.2	1.051	1.035	1.015	353.7	59.0
58128E-2A11		7,6E-02	9,1E+01	13	100 - 360	PCA	II ^{re}	10	357.3	65.1	3.9	-1.9	1.024	1.016	1.007	357.3	64.9
58128E-3B11		1,8E-01	1,4E+02	13	100 - 500	PCA	ChRM	10	349.2	65.7	1.8	-1.0	1.060	1.025	1.035	351.8	66.5
58128E-4A12		6,9E-02	8,6E+01	18	100 - 230	GC		9	169.3	23.3	6.8	-2.5	1.068	1.045	1.022	170.7	24.5
58128E-5A11		9,2E-02	1,1E+02	10	100 - 360	PCA	II ^{re}	9	4.2	67.1	3.2	-6.0	1.076	1.012	1.063	4.5	66.1
58128E-6A11		4,4E-02	6,4E+01	12	150 - 535	PCA	ChRM	11	359.9	61.9	1.6	-1.1	1.053	1.021	1.031	358.4	62.6
58128E-6A12		4,3E-02	5,5E+01		100 - 535	PCA	ChRM	11	354.5	65.0	1.3	-3.1	1.057	1.021	1.036	353.2	64.3
58128E-7A11		6,8E-02	9,1E+01	14	100 - 500	PCA	ChRM	10	358.8	60.8	1.3	-1.7	1.073	1.059	1.013	2.2	60.2
58128E-7B11		1,1E-01	9,1E+01		100 - 525	PCA	II ^{re}	10	1.9	67.7	2.7	-3.0	1.083	1.035	1.046	5.4	66.8
58128E-8A12		8,4E-02	1,2E+02	17	150 - 400	PCA	II ^{re}	8	356.6	64.5	2.2	-4.8	1.069	1.050	1.018	352.5	64.8
58128E-9A13		9,1E-02	6,6E+01	15	150 - 310	PCA	II ^{re}	6	351.3	58.5	2.3	-4.2	1.028	1.003	1.025	351.7	58.0
58128E-10B11		2,6E-01	2,5E+02	8	100 - 340	PCA	ChRM	10	1.6	73.1	2.1	-8.2	1.046	1.018	1.028	1.2	73.8
58128E-10B12		2,4E-01	2,3E+02		100 - 340	PCA	II ^{re}	9	357.3	68.4	3.3	-4.9	1.059	1.033	1.026	355.5	69.2
58128E-12B14		4,4E-01	2,5E+02	10	100 - 440	PCA	II ^{re}	10	351.5	68.1	2.5	-5.8	1.071	1.038	1.031	351.8	68.6
58128E-13A14		7,0E-02	8,1E+01	14	100 - 360	PCA	II ^{re}	7	355.0	66.2	3.6	-0.4	1.063	1.019	1.043	357.5	65.4
58128E-14A11		2,3E-01	1,5E+02	6	100 - 555	PCA	ChRM	11	23.3	78.1	1.1	-1.8	1.100	1.049	1.048	28.0	80.0
58128E-14A13		1,5E-01	1,5E+02		100 - 580	PCA	ChRM	13	354.1	65.7	1.4	-0.9	1.081	1.051	1.028	358.1	66.2
58128E-15A11		9,3E+00	2,5E+03	1	150 - 610	PCA	ChRM	14	358.5	62.6	1.1	-7.4	1.083	1.040	1.041	3.3	62.9
58128E-16A13		9,4E-01	2,8E+02	4	150 - 610	PCA	ChRM	14	10.2	60.8	2.0	-5.6	1.174	1.067	1.100	4.3	59.9
58128E-16A15		9,2E-02	7,3E+01		100 - 530	PCA	ChRM	13	1.8	64.4	2.2	0.3	1.073	1.053	1.019	357.4	64.2
58128E-17A11		2,1E+00	5,5E+02		100 - 610	PCA	ChRM	13	359.8	77.5	1.2	-8.8	1.088	1.045	1.041	6.1	76.9
58128E-17A13		3,3E+00	8,3E+02	1	100 - 610	PCA	ChRM	13	357.9	69.0	0.8	-8.8	1.079	1.013	1.065	355.8	68.6
58128E-18A13		2,6E-01	2,4E+02	7	150 - 490	PCA	II ^{re}	11	350.8	61.6	2.8	-5.6	1.050	1.008	1.042	352.1	61.9
58128E-19A12		8,8E-02	9,0E+01	11	100 - 400	PCA	II ^{re}	10	1.9	70.5	3.5	-3.2	1.036	1.006	1.030	1.2	70.9
58128E-20B11		6,1E-02	6,8E+01	9	100 - 535	PCA	ChRM	11	340.6	62.8	1.5	1.2	1.125	1.071	1.051	344.1	64.1
58128E-21B11		3,9E-01	2,1E+02	6	100 - 390	PCA	II ^{re}	11	343.9	61.0	5.5	-3.3	1.070	1.042	1.027	345.7	60.3
58128E-22A25		8,5E-02	9,6E+01	17	100 - 450	PCA	ChRM	9	5.2	62.7	1.1	-2.0	1.037	1.014	1.023	5.4	62.5
58128E-24A12		3,6E-01	4,1E+02	9	150 - 390	GC		10	172.9	23.9	17.0	-29.6					
58128E-25A13		6,6E-02	8,8E+01		100 - 310	PCA	II ^{re}	10	2.5	62.4	3.3	-1.0	1.041	1.027	1.014	2.9	62.5
58128E-25B11		3,7E-02	9,5E+01	37	150 - 360	PCA	II ^{re}	7	0.5	65.1	2.7	-1.4	1.057	1.013	1.044	358.3	66.1

Tableau 6 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le foyer supérieur 3290 (58128F) en haut et pour le foyer inférieur 3292 (58128E) en bas

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; pourcentage de viscosité ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

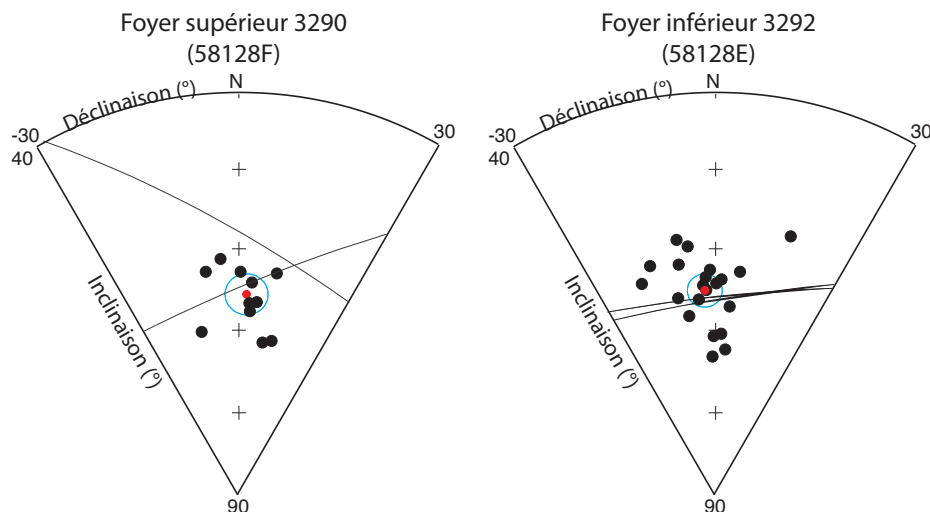


Figure 23 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour les foyers 3292 et 3290.

Foyer supérieur 3290 (58128F)

Moyennes sans correction

D = 2.3° I = 65.3° N=13, n=15 k=265 $\alpha_{95} = 2.7^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

D = -0.4° I = 65.6° N=11, n=13 k=192 $\alpha_{95} = 3.3^\circ$

A Paris (VGP, non corrigée de l'anisotropie)

$D_p = 2.3 \pm 6.8^\circ$ $I_p = 66.7 \pm 2.7^\circ$

Foyer inférieur 3292 (58128E)

Moyennes sans correction

D = -3.9° I = 65.3° N=23, n=30 k=275 $\alpha_{95} = 1.8^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

D = -3.3° I = 65.2° N=22, n=29 k=263 $\alpha_{95} = 1.9^\circ$

A Paris (VGP, non corrigée de l'anisotropie)

$D_p = -3.4 \pm 4.6^\circ$ $I_p = 66.7 \pm 1.8^\circ$

Tableau 7 : Archéodirection moyenne des foyers superposés 3290 et 3292 de la partie occidentale de la terrasse supérieure à la Côte-Chaudron.

D) Etude du foyer 9534 à la Pâturage-du-Couvent (58128C)

Description et datation

Le foyer 9534 (B2005.9.9534, aussi appelé foyer 9620) est localisé dans la pièce 30 de l'angle-Nord-ouest de l'îlot-des-Grandes-Forges, dans le secteur de la Pâturage-du-Couvent (caractérisé par les espaces publics de l'oppidum) fouillé par l'université de Leipzig. (Figure 24). Les fouilles, menées entre 1999 et 2008, ont mis en évidence trois phases d'occupation (Rieckhoff in Dhennequin *et al.* 2008, p. 46-54) :

- Phase 1 : Cette phase est caractérisée par un grand bâtiment construit en bois, qui a connu un important remaniement à la transition la Tène D1b/D2a. Le remaniement est associé à l'élargissement de la grande voie traversant l'oppidum. Le bâtiment est précédé d'un portique le long de la voie. Les différentes pièces du bâtiment sont interprétées comme des boutiques ou des ateliers, comme un atelier de métallurgie pour la pièce 30. Le foyer de métallurgie 9534 appartient à cette phase.
- Phase 2 : A la fin de la Tène D2a ou au début de la Tène D2b, un bâtiment en pierre est construit en reprenant le plan de la phase 1. La phase 2 plus monumentale est associée

au complexe basilical, fouillé par l'université de Budapest. L'ensemble des bâtiments est détruit par un incendie, daté, dans l'état actuel de la documentation, de la transition entre la Tène D2b et l'époque augustéenne.

- Phase 3 : Après l'incendie, le bâtiment est restructuré et est partiellement transformé en zone artisanale. Cette phase est moins connue en raison des constructions du couvent médiéval.

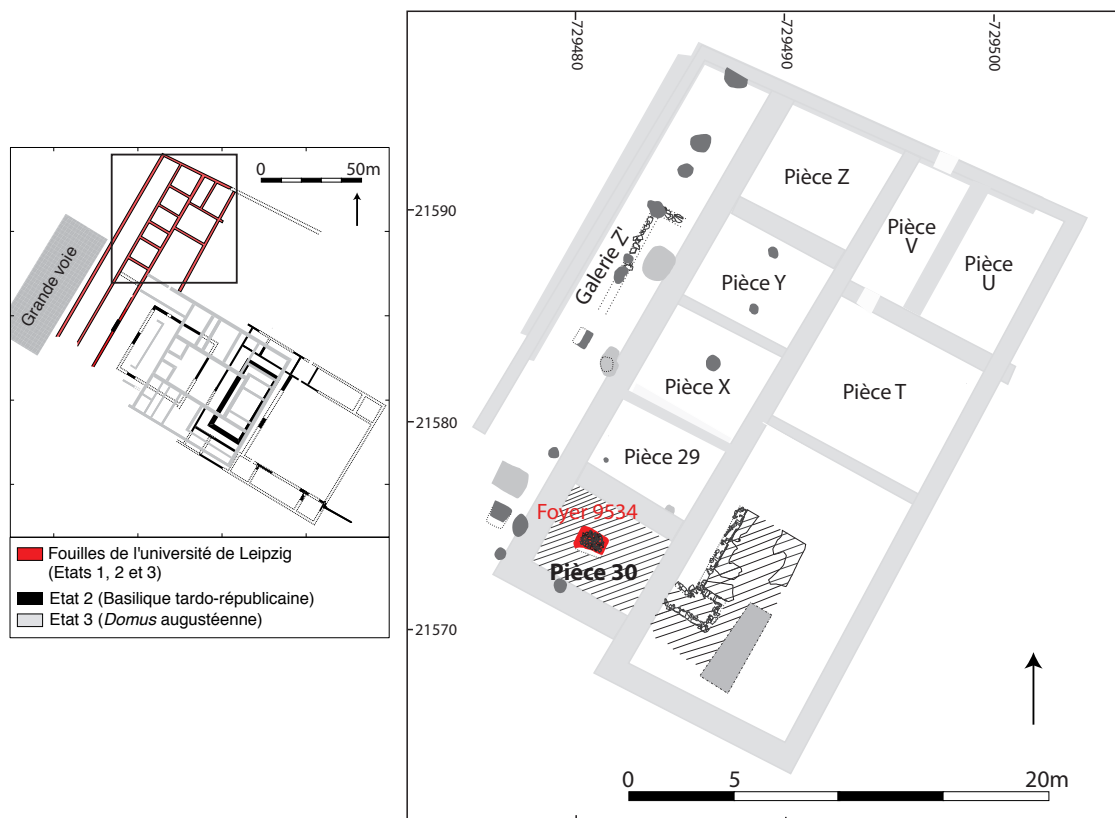


Figure 24 : Plan général des fouilles de la Pâturage-du-Couvent (fouilles M. Szabó - Université de Budapest et S. Rieckhoff - Université de Leipzig) et plan détaillé de la phase 1 de l'angle Nord-ouest de l'îlot des Grandes Forges. Le foyer 9534 (B2005.9.9534) est localisé dans la pièce 30. (D'après Rapport annuel d'activité 2009 p 64 et Rapport annuel d'activité 2006 p.84)

Le foyer 9534 au centre de la pièce 30 a une longueur d'environ 1m et une largeur d'environ 60 cm. L'argile présente une rubéfaction importante sur une profondeur d'environ 5cm. Dans le phasage établi par l'université de Leipzig, le fonctionnement du foyer appartient à la phase 1 (caractérisé par le grand bâtiment en bois), dont la datation est fixée à la transition entre la Tène D1b et la Tène D2a.

L'étude du mobilier associé aux UF de la pièce 30 a été réalisée également au cours du stage céramiques en février 2010. (Figure 25) Nous avons choisi d'effectuer cette étude pour avoir un aperçu homogène de la datation des foyers, même si l'état plus avancé du phasage et de la publication par rapport à la Côme-Chaudron ne la rendait pas *a priori* nécessaire. Au niveau de la pièce 30, les UF associées à la démolition du premier bâtiment en bois (UF 9727) et à sa reconstruction après élargissement de la grande voie (UF 9709) présentent des faciès typiques de la Tène D1b et de la transition avec la Tène D2a. Les niveaux d'occupation associés au foyer 9534 (UF 9699 et 9621) ont un faciès la Tène D2a et peuvent être datés entre 90 et 50 av. J.-C. Le remblai 9513, associé à la destruction du bâtiment en bois, présente un faciès hétérogène datable de la Tène D2 (Figure 25).

Pâtûre du Couvent - UF 9513 (B2005.9.9513)	
Description	Remblai de construction
NR	240
NMI	52
Faciès céramique	Faciès hétérogène probablement LTD2 (Présence de PGFINH et de PGFINTN non présentes à LTD1, proportion importante de PGFINLF et de mi-fines). Présence de mobilier résiduel caractéristique de LTD1 (PEINTA, PEINTB, PSFIN). Perturbations par du matériel intrusif Augustéen (présence de EIRA et de marmites M1 et M5a, absence de céramiques fines PRETS et TSIT).
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	6 monnaies (2 potins LTD1, 1 potin LTD2, 1 potin LTD, 2 illisibles)
TPQ	Vers -30 (EIRA-A17a, PSGROS-M1 et M5a)
TAQ	Vers +15 (Absence de TSGA)
Datation générale	Environ 90 av. J.-C. à 30 av. J.-C..

Pâtûre du Couvent - UF 9621 (B2006.9.9621)	
Description	Sol associé au foyer
NR	28
NMI	11
Faciès céramique	Faciès LTD2a (CAMPB, MIFIN, Cruche 1). Attribution délicate (NR faible)
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
TPQ	Vers -90 (CAMPB)
TAQ	NMI trop faible
Datation générale	Environ 90 av. J.-C. à 50 av. J.-C..

Pâtûre du Couvent - UF 9699 (B2006.9.9699)	
Description	Couche d'occupation
NR	102
NMI	22
Faciès céramique	Faciès LTD2a (PEINTA avec décor végétal, CAMPB, PARFINA, PGFINH). L'élément PRETS, caractéristique de LTD2b, est considéré intrusif.
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	Non porteur d'informations chronologiques
TPQ	Vers -50 (PRETS)
TAQ	Vers -50 (Absence de TSIT)
Datation générale	Environ 90 av. J.-C. à 50 av. J.-C..

Pâtûre du Couvent - UF 9709 (B2006.9.9709)	
Description	Couche d'épandage (construction?)
NR	322
NMI	29
Faciès céramique	Faciès de transition LTD1 - LTD2a (Attribution difficile en raison de la quasi absence de céramiques de tradition méditerranéenne). Présence de catégories anciennes (PEINTA, PSFIN, PCLUSTR) en position résiduelle. Présence de marqueurs de LTD2a (PGFINTN, PEINTB avec décors végétaux ou géométriques, augmentation des PGFINLF, mi-fines).
Mobilier amphorique	Dressel 1 (Albinia, fin LTD1)
Mobilier métallique	5 monnaies (non identifiées)
TPQ	Vers -80 (PGFINTN)
TAQ	Vers -50 (Absence de TSIT)
Datation générale	Environ 100 av. J.-C. à 50 av. J.-C..

Pâtûre du Couvent - UF 9727 (B2006.9.9727)	
Description	Remblai de démolition
NR	183
NMI	22
Faciès céramique	Faciès LTD1b (PEINTA, PEINTB, PGCAT, PGLUSTR, PCLUSTR, PSFINA, PSFINB) avec des indices de débordement vers LTD2a (proportions de céramiques mi-fines et de PGFINLF). Absence cependant de marqueurs de LTD2a (PGFINH, PGFINTN)
Mobilier amphorique	Dressel 1 (Italie du Sud, Albinia)
Mobilier métallique	1 fibule de Nauheim (LTD1b)
TPQ	Vers -150 (PEINTA, PEINTB, PGCAT)
TAQ	Vers -80 (Absence de PGFINH, PGFINTN)
Datation générale	Environ 120 av. J.-C. à 80 av. J.-C..

Pâtûre du Couvent - UF 9715 (B2006.9.9715)	
Description	Couche d'occupation
NR	99
NMI	16
Faciès céramique	Faciès fin LTD1b - début LTD2a. Présence de catégories LTD1 (PEINTA, PEINTB, PSFINB). Rares fragments de catégories apparaissant à LTD2a (MIFIN, PGFINTN).
Mobilier amphorique	Dressel 1
Mobilier métallique	1 monnaie (non identifiable)
TPQ	Vers -80 (PGFINTN: 1 fragment de panse)
TAQ	NMI trop faible
Datation générale	Environ 120 av. J.-C. à 80 av. J.-C..

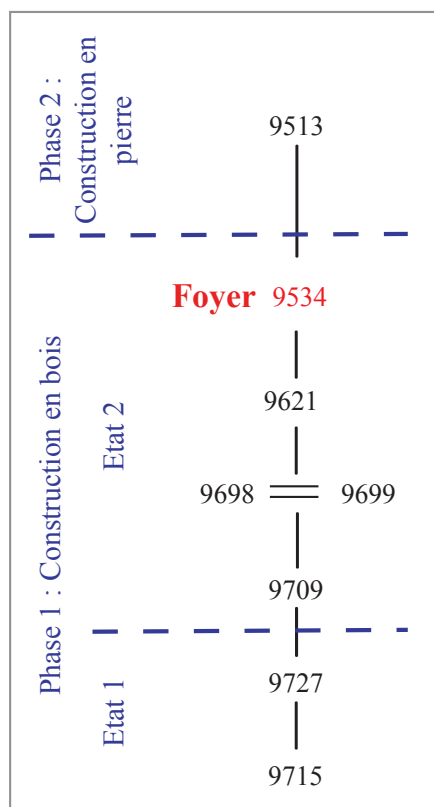


Figure 25 : Diagramme stratigraphique simplifié de la pièce 30 de l'angle-Nord-Ouest de l'îlot-des-Grandes-Forges et tableaux de synthèse des datations chrono-typologiques des UF.

La fin du fonctionnement du foyer, moment daté par archéomagnétisme, est fixé dans l'intervalle [-100 ; -50]. Le *TPQ* pourrait être fixé à 90 av. J.-C. (*TPQ* du sol 9621), mais nous avons préféré par sécurité le fixer à 100 av. J.-C., pour prendre en compte le plus faible nombre de tessons dans les UF 9621 et 9699. Le *TAQ* a été défini par les *TAQ a silentio* de ces deux UF comme les marqueurs caractéristiques de la Tène D2b sont quasi-absents. Cet intervalle de date est conforme à la datation proposée par l'université de Leipzig.



Figure 26 : Foyer 9534 de l'angle-Nord-Ouest de l'îlot-des-Grandes-Forges avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (cliché Ph. Dufresne).

Prélèvement archéomagnétique

Dix-neuf prélèvements (Figure 26) ont été réalisés par le 3 octobre 2005 par Philippe Lanos et Irène Zanariri sur la sole du foyer. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1P1 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre spinner Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. 19 échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 575°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C.

Minéralogie magnétique

Par rapport aux autres foyers du Mont-Beuvray analysés, les échantillons du four 9534 ont des intensités d'aimantation rémanente naturelle et des susceptibilités en champ faible beaucoup plus élevées (Figure 27a). Les températures de débloccage sont également plus fortes avec une part importante de l'aimantation bloquée entre 500 et 580°C. Ces fortes intensités d'ARN s'expliqueraient donc par la présence de magnétite en grains fins. L'échantillon 17P1, le moins aimanté, a des températures de débloccage plus basses. Cette particularité du foyer 9534 est peut-être expliquée par la fonction métallurgique du foyer, qui nécessite des conditions réductrices.

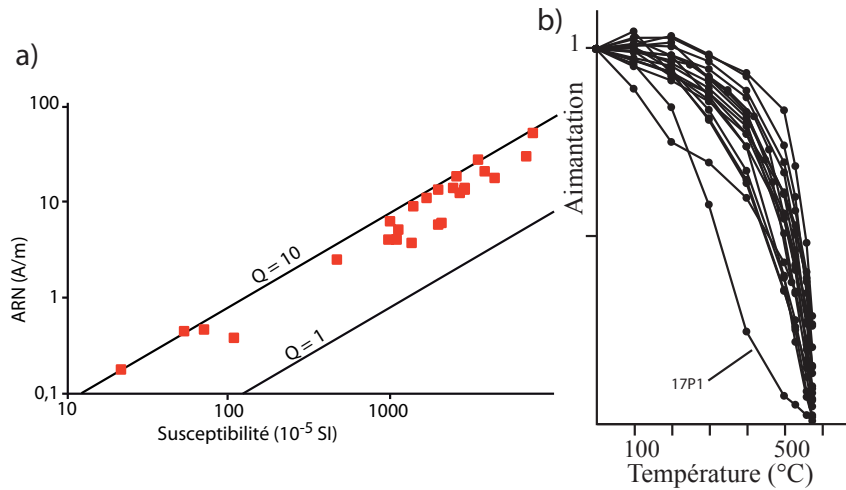


Figure 27 : distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer 9534. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Les 19 échantillons présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 28). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 8. Les prélèvements 1 et 11 ont une inclinaison significativement plus faible que les autres prélèvements.

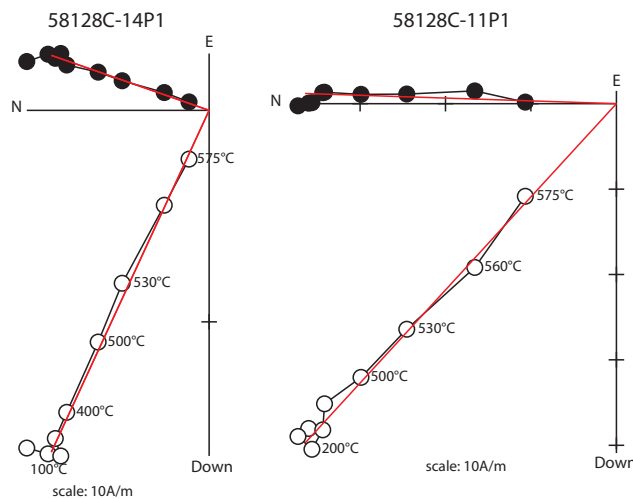


Figure 28 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs du foyer 9534. Tous les échantillons présentent une seule composante d'aimantation. Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie forte avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 6 et 22% (Tableau 8). Les échantillons semblent dominés par la foliation

(Figure ?). L'axe minimal du tenseur d'anisotropie se rapproche de la verticale (Figure 29), comme c'est souvent le cas pour les foyers en place. L'application de la correction d'anisotropie regroupe les directions d'aimantation (Tableau 9).

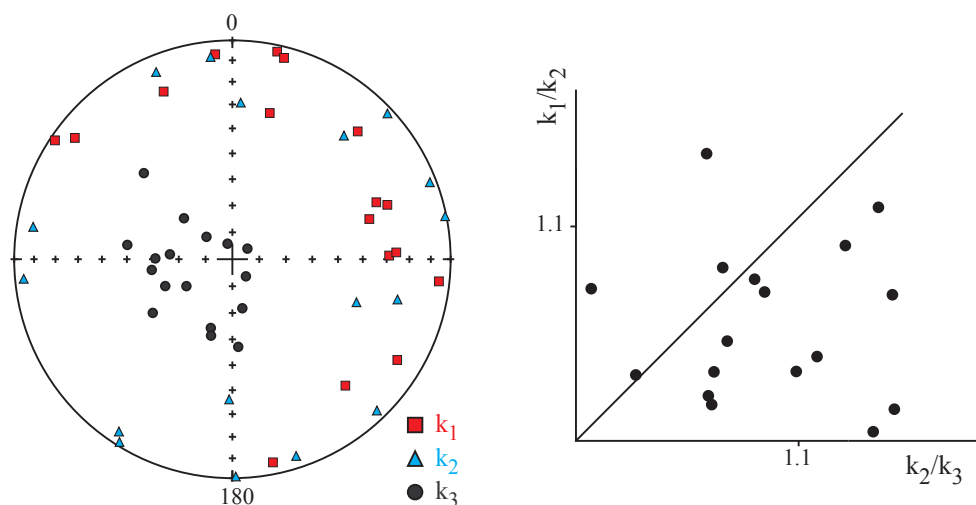


Figure 29 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le foyer 9534.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)
58128C-1P1	1,2E+01	2,6E+03	100-575	PCA	ChRM	8	340.6	55.3	2.8	-15.9					
58128C-2P1	1,4E+01	2,8E+03	400-575	PCA	ChRM	5	3.6	63.6	1.7	-5.5	1.118	1.046	1.069	3.2	65.2
58128C-3P1	4,0E+00	9,6E+02	200-575	PCA	ChRM	7	2.2	64.6	0.7	-8.1	1.080	1.017	1.062	5.9	64.6
58128C-4P1	5,1E+00	1,1E+03	300-575	PCA	ChRM	6	359.8	64.3	0.5	-8.8	1.141	1.005	1.136	5.2	64.7
58128C-5P1	1,1E+01	1,6E+03	200-575	PCA	ChRM	6	41.6	70.6	2.2	-4.6	1.163	1.015	1.146	40.4	69.7
58128C-6P1	1,4E+01	2,4E+03	400-575	PCA	ChRM	4	18.4	64.2	1.2	-6.7	1.222	1.067	1.145	16.7	67.9
58128C-7P2	4,4E-01	5,3E+01	300-575	PCA	ChRM	6	1.2	67.9	2.5	-4.5	1.136	1.032	1.101	2.5	68.3
58128C-8P2	3,0E+01	6,7E+03	100-400	PCA	ChRM	9	3.5	70.4	0.8	-1.7	1.161	1.068	1.086	3.5	70.4
58128C-9P1	1,3E+01	2,8E+03	200-575	PCA	ChRM	7	22.8	70.6	1.3	-6.6	1.154	1.039	1.110	21.6	68.6
58128C-10P2	4,5E-01	7,0E+01	100-560	PCA	ChRM	7	12.8	68.3	1.3	-1.8	1.083	1.021	1.061	12.8	66.6
58128C-11P1	5,2E+01	7,3E+03	200-575	PCA	ChRM	7	1.9	47.5	1.4	18.6					
58128C-12P1	1,8E+01	4,3E+03	100-560	PCA	ChRM	7	21.7	65.1	1.0	-7.9	1.077	1.070	1.007	22.2	65.1
58128C-13P1	9,0E+00	1,4E+03	300-575	PCA	ChRM	6	11.4	64.6	1.6	0.1	1.162	1.074	1.082	6.6	64.9
58128C-14P1	1,8E+01	2,5E+03	200-575	PCA	ChRM	7	19.3	64.0	1.1	-7.5	1.199	1.132	1.060	14.3	65.4
58128C-15P1	2,8E+01	3,4E+03	100-575	PCA	ChRM	9	357.5	62.3	2.1	24.6					
58128C-16P1	3,6E+00	1,3E+03	100-575	PCA	ChRM	8	358.2	60.0	1.3	-8.3	1.224	1.090	1.123	6.3	62.1
58128C-17P1	1,8E-01	2,1E+01	100-575	PCA	ChRM	8	358.9	69.4	0.8	-3.8	1.059	1.031	1.027	357.0	68.9
58128C-18P1	4,0E+00	1,1E+03	100-575	PCA	ChRM	8	335.7	62.0	2.2	-4.0	1.261	1.107	1.139	342.2	65.3
58128C-19P1	6,0E+00	2,0E+03	100-575	PCA	ChRM	8	343.6	68.8	1.1	-8.3	1.097	1.032	1.063	347.4	68.6

Tableau 8 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le foyer 9534

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

La Figure 30 montre le regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement, corrigées de l'anisotropie. Ces directions sont assez dispersées surtout pour la déclinaison. La dispersion affecte notamment les prélèvements 5, 9 et 12, ainsi que les prélèvements 18 et 19, situés dans deux secteurs opposés du foyer. La dispersion pourrait s'expliquer par des mouvements post-cuisson de la plaque d'argile cuite à ses extrémités. Cependant, nous avons décidé de conserver tous les prélèvements pour le calcul de direction d'aimantation moyenne corrigée de l'anisotropie (Tableau 9).

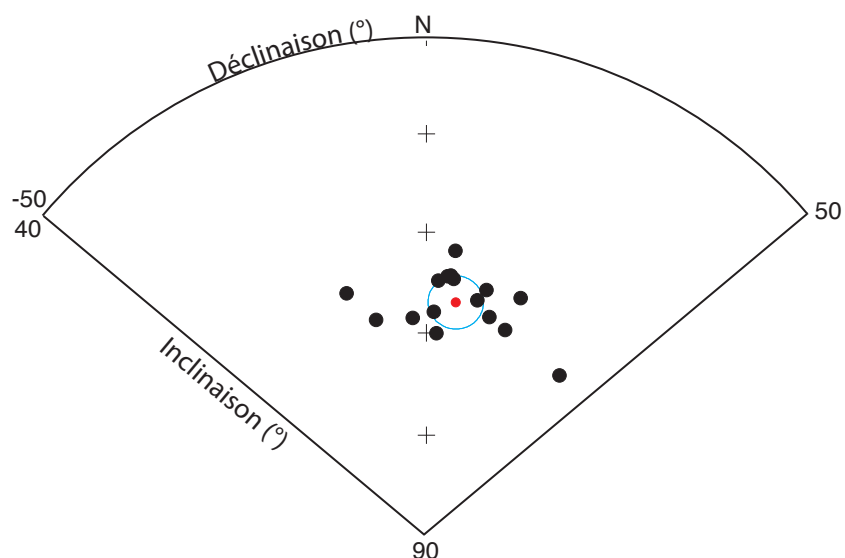


Figure 30 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le foyer 9534.

Moyennes sans correction

$$D = 5.9^\circ \quad I = 66.4^\circ \quad N=17, n=17 \quad k=136 \quad \alpha_{95} = 3.1^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = 7.8^\circ \quad I = 67.2^\circ \quad N=16, n=16 \quad k=198 \quad \alpha_{95} = 2.6^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = 8.2 \pm 7.1^\circ \quad I_p = 68.4 \pm 2.6^\circ$$

Tableau 9 : Archéodirection moyenne du foyer 9534 de l'angle-Nord-Ouest de l'îlot-des-Grandes-Forges à la Pâturage-du-Couvent.

Synthèse

Le tableau 10 synthétise les résultats d'analyse et de datation des cinq foyers prélevés à Bibracte durant les campagnes 2005 et 2009. En raison de la dispersion importante des moyennes pour chacun des foyers, les résultats d'analyse ne sont pas significativement différents aux erreurs de mesure près. Il est difficile de percevoir la variation séculaire du champ magnétique terrestre au 1^{er} siècle av. J.-C. (Figure 31).

Site	Nom	Code d'analyse	Date	Intervalle de date	D _{site} (°)	I _{site} (°)	N/n	k	α ₉₅
Côte Chaudron	2022	58128D	DC/Mobilier	[-66 ; -20]	4.4	66.3	15/15	250	2.4
Côte Chaudron	3160	58128G	Mobilier	[-90 ; -10]	6.9	65.1	12/12	245	2.8
Côte Chaudron	3290	58128F	¹⁴ C/Mobilier	[-119 ; -10]	2.3	65.3	13/15	265	2.7
Côte Chaudron	3292	58128E	¹⁴ C/Mobilier	[-119 ; -10]	-3.9	65.3	23/30	275	1.8
Pâturerie du Couvent	9534	58128C	Mobilier	[-100 ; -50]	7.8	67.2	16/16	198	2.6

Tableau 10 : Tableau synthétique des résultats des analyses archéomagnétiques sur les foyers de l'oppidum de Bibracte.

Site; Nom du foyer; Code archéomagnétique; Méthodes de datation utilisées pour le calage chronologique du foyer; Intervalle de date utilisé pour le calage chronologique; Déclinaison moyenne au Mont-Beuvray; Inclinaison moyenne au Mont-Beuvray; Nombre de prélèvements sélectionnés pour la moyenne/nombre de spécimens sélectionnés pour la moyenne; paramètre de Fisher (1953) quantifiant le regroupement des directions d'aimantation; demi-angle du cône de confiance à 95% autour de la direction moyenne (Incertitude de l'inclinaison)

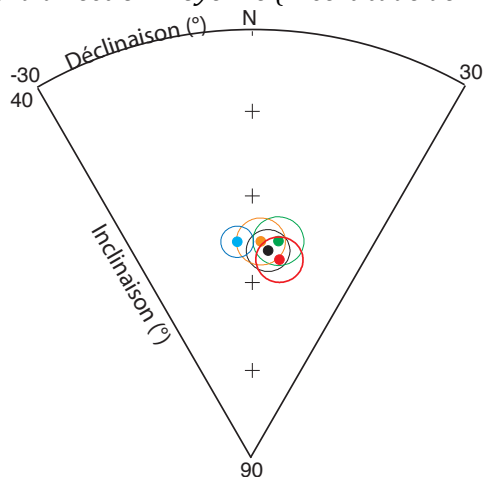


Figure 31 : représentation stéréographique des cinq directions d'aimantation moyennes déterminées pour le Mont-Beuvray (en rouge le foyer 9534 de la Pâturerie-du-Couvent et à la Côte-Chaudron, le foyer 2022 en noir, le foyer 3160 en vert, le foyer 3290 en orange et le foyer 3292 en bleu)

Bibliographie du site du Mont-Beuvray

Buchsenschutz, O., Guillaumet, J.P. & Ralston, I., 1999. *Les remparts de Bibracte, recherches récentes sur la porte du Rebout et le tracé des fortifications*, Bibracte, 3, Centre archéologique européen, Glux-en-Glenne, 320 p.

Dhenequin, L., Guillaumet, J.P. & Szabó, M. dir., 2008. *L'oppidum de Bibracte (Mont-Beuvray, France). Bilan de 10 années de recherche (1996-2005)*, *Acta Archaeologica Hungarica*, 59

Luginbühl, T., Avellan, C., Barrier, S. & Hoznour, J., 2009. La céramologie à Bibracte : méthodes de base et nouvelles approches, in *Festschrift für Sabine Rieckhoff zum 65. Geburtstag, Teil 2*, Universitätsforschungen zum prähistorischen Archäologie, ARTEFACT, Verlag Dr Rudolf Habelt GmbH, Bonn, 499-512

Paunier, D. & Luginbühl, T., 2004. *Le site de la maison 1 du Parc aux chevaux (PC1), des origines de l'oppidum au règne de Tibère*, Bibracte, 3, Centre archéologique européen, Glux-en-Glenne, 472 p.

Gouy-Saint-André, le Rossignol

Code archéomagnétique: 62382A, 62382B, 62382C, 62382D et 62383E

Contexte archéologique (d'après Masse *et al.*, 2011)

Le site du Rossignol à Gouy-Saint-André (Lat : 50.3753°N ; Long : 1.9203°E) a été fouillé à l'occasion de l'élargissement d'une route (D939 Arras-Montreuil). Les fouilles préventives entre la mi-février et la fin mars 2010, étaient dirigées par Armelle Masse du service archéologique départemental du Pas-de-Calais. L'occupation est caractérisée par un habitat rural à enclos associé à un atelier de saunier d'une superficie de 200 m². Cette configuration se rapproche de celle du site de Pont-Rémy, le Fond-de-Baraquin. Si Gouy-Saint-André est actuellement situé à 25 km du littoral, les études paléoenvironnementales indiquent que la distance était réduite de 10km à l'époque laténienne. Il faut aussi noter que des fourneaux de sauniers ont été repérés plus à l'intérieur des terres, par exemple à Arras-Actiparc.

Les structures caractéristiques de l'atelier sont des fosses et six fourneaux (Figure 1). La fonction des fosses reste difficile à attribuer : il s'agit peut-être de fosses pour l'extraction d'argile pour la fabrication du matériel de briquetage, de fosses pour la réserve de saumure ou bien encore de simples fosses de rejets. Les fourneaux, en superposition stratigraphique, ont pour numéro 22 (62382E), 23 (62382A), 24 (62382C), 60 (62382D), 78 (62382E) et 77 (non prélevé, car les vestiges sont très ténus). Tous ces fourneaux sont de forme allongée et appartiennent au type des fourneaux à grille à entrées diamétralement opposées, comme les exemplaires de Sorrus et de Pont-Rémy. Les fourneaux sont comblés par les rejets du matériel de briquetages. Les parois des fourneaux sont construites par application manuelle d'argile ou avec des outils (taloche).

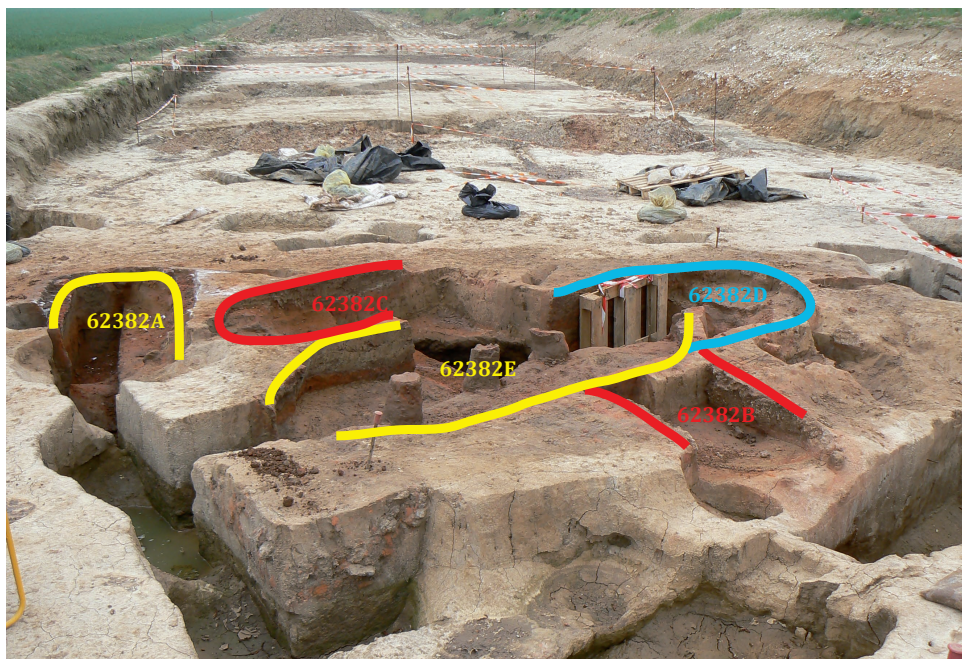


Figure 1 : Les cinq fourneaux (prélevés) de l'atelier de saunier de Gouy-Saint-André, le Rossignol (vus de l'est).

Les recoupements nombreux entre les structures (ainsi que les comparaisons des comblements pour les fosses), ont permis de diviser la stratigraphie en sept phases. Quatre générations de fourneaux se succèdent, les fourneaux 78, 23, 60 et 22 du plus ancien au plus récent (Figure 2). Le fourneau 24, sans relation stratigraphique avec les autres fourneaux, pourrait cependant être contemporain du fourneau 22, comme leurs dimensions et leur orientation sont similaires.

Le mobilier céramique retrouvé sur le site provient essentiellement des fosses et des fossés, mais également des fourneaux. Le corpus total est constitué de 1147 fragments pour un nombre minimum d'individus de 126. Les formes prédominantes sont les vases de stockage, les vases ovoïdes, les vases globulaires et les jattes. Les assemblages se rapprochent des ensembles régionaux de la Tène finale, probablement à la Tène D1 et au début de la Tène D2 (seconde moitié du II^{ème} siècle av. J.-C. et début du I^{er} siècle av. J.-C.). L'absence de *terra nigra* et de *terra rubra* fixe l'occupation du site avant le milieu du I^{er} siècle av. J.-C. indique une occupation au II^{ème} siècle av. J.-C. L'homogénéité typologique du corpus ne permet pas de soutenir ou de préciser le phasage chronologique établi par la stratigraphie.

La construction ou le début de l'abandon de chaque fourneau est daté par radiocarbone (Figure 2). Les intervalles de date à 95% de confiance sont larges, en raison du plateau de la courbe dendrochronologique des âges radiocarbone à l'époque laténienne.

Ces datations et les caractéristiques techniques des fourneaux et du matériel de briquetage (forme et taille) confortent le modèle de l'évolution de la production ignigène de sel dans le Nord de la France (Prilaux, 2000). Le site de Gouy-Saint-André peut être rapproché des sites de Sorrus et Pont-Rémy. Par rapport à Pont-Rémy, la taille moindre du fourneau et la faible standardisation des moules à sel plaident pour un usage local du sel produit plutôt que pour un échange à longue distance.

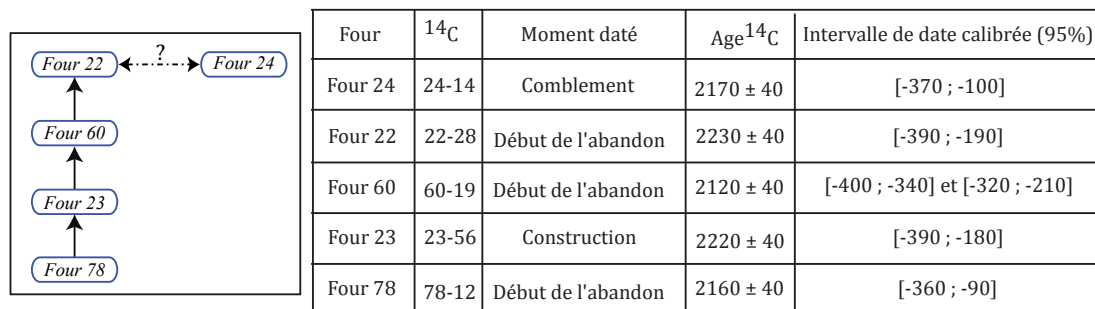


Figure 2 : Phasage et datation radiocarbone des cinq fourneaux de sauniers prélevés à Gouy-Saint-André, le Rossignol

Les cinq fourneaux ont été prélevés les 19, 20 et 21 avril 2010 par Philippe Dufresne et Gwenaël Hervé. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 62382A-1A11 (Cf. Annexe 2).

A) Etude du fourneau 23 (62382A)

Description et datation du fourneau

Le fourneau 23 présente un bon état de conservation, sauf à son extrémité orientale (Figure 3). Sa longueur atteint 1,8m pour une largeur de 0,75m. Les parois portent encore au sud les traces des départs d'accroche de la grille. Les parois sont rubéfiées sur une épaisseur

d'environ 10cm. L'analyse radiocarbone a été réalisée sur un piquet étayant la grille avant sa première cuisson et fournit donc un *TPQ* à la construction du fourneau. L'intervalle de date à 95% [-390 ; -180] a été utilisé pour le calage chronologique du fourneau. 19 prélèvements ont été réalisés sur les parois nord et sud du fourneau.



Figure 3 : Le fourneau 23 (vu du sud) en cours de prélèvement.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Dix-neuf échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 680°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 450°C.

Minéralogie magnétique

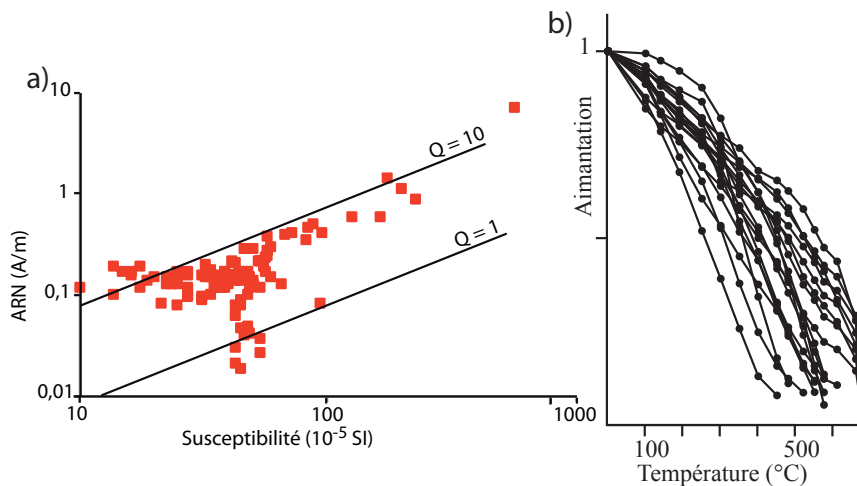


Figure 4 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 23. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Les prélèvements du fourneau 23 présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.02 et 7.2 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 10 et 560 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.5 et 17 (Figure 4a). Cette variabilité est expliquée par la variation de la minéralogie magnétique, mise en évidence par les températures de déblocage (Figure 4b). L'aimantation des

prélèvements 1, 3, 4, 5, 6, 16, 17 et 18 est portée significativement par de l'hématite, comme 20 à 30% de l'ARN se désaimante à des températures supérieures à 650°C. On peut remarquer que ces prélèvements proviennent tous de la partie centrale du foyer. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette répartition, qui montre des conditions plus oxydantes dans la partie centrale du fourneau qu'aux extrémités. Premièrement, les foyers assurent aux extrémités des conditions moins oxydantes. En second lieu, les moules à sel sont positionnés au niveau de la partie centrale du fourneau et les projections de saumure ont peut-être favorisé la formation d'hématite.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 5). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

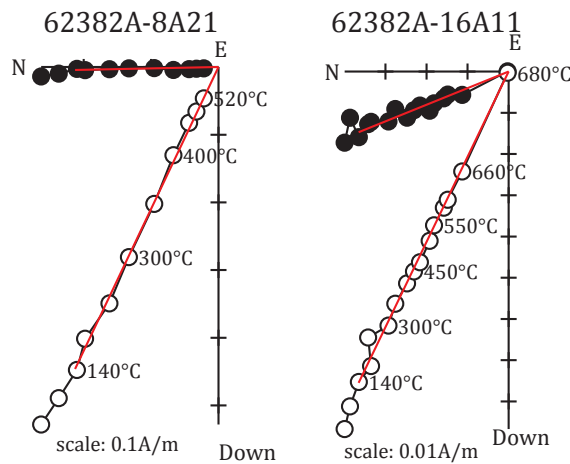


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du fourneau 23. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

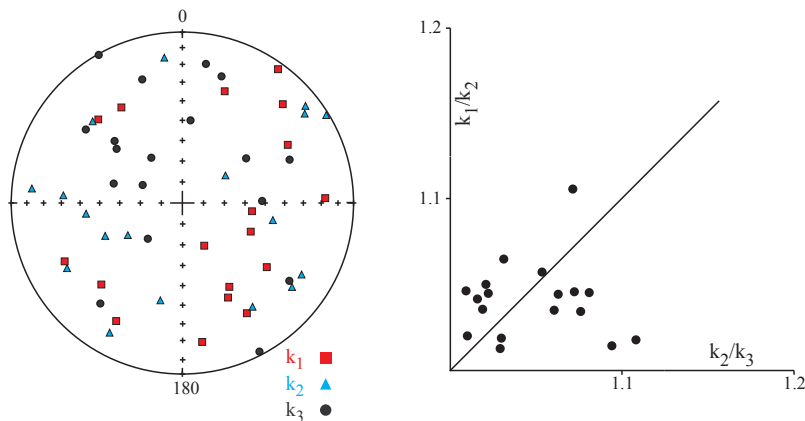


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le fourneau 23.

Annexe 3 : Etude des sites français, Gouy-Saint-André le Rossignol

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 18% (Tableau 1). A l'échelle de la structure, aucune fabrique particulière ne semble dominer. L'application de la correction d'anisotropie n'a pas d'effet sur le regroupement des archéodirections (Tableau 1).

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive(%)	Anisotropie				
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62382A-1A12	1,7E-01	2,8E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	8.5	73.5	1.2	-2.7	1.120	1.045	1.072	9.6	75.4
62382A-2A11	1,7E-01	3,9E-04	100 - 575	PCA	ChRM	12	352.5	74.3	1.1	-1.3	1.057	1.041	1.016	355.2	75.4
62382A-3A12	1,4E-01	2,4E-04	190 - 680	PCA	ChRM	13	359.5	71.2	1.2	-3.5	1.112	1.033	1.076	358.7	72.6
62382A-4A11	1,0E-01	1,4E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	359.4	68.7	1.2	-18.0					
62382A-5A21	1,6E-01	3,1E-04	190 - 680	PCA	ChRM	13	357.6	70.6	1.3	-4.3	1.184	1.105	1.071	346.7	72.5
62382A-6A11	2,0E-01	3,3E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	353.1	70.8	1.5	-2.2	1.113	1.056	1.053	346.8	70.5
62382A-7A11	1,2E-01	3,5E-04	100 - 575	PCA	ChRM	12	353.3	65.9	1.7	-4.6	1.109	1.013	1.094	349.1	68.3
62382A-8A21	5,9E-01	1,3E-03	140 - 520	PCA	ChRM	9	358.8	64.5	0.7	-1.1	1.129	1.044	1.081	356.8	65.5
62382A-9A11	1,6E-01	4,1E-04	190 - 575	PCA	ChRM	10	5.8	63.8	1.5	-2.3	1.109	1.043	1.063	2.4	65.5
62382A-10A11	7,2E+00	5,6E-03	100 - 480	PCA	ChRM	9	2.9	69.0	0.8	-2.5	1.097	1.034	1.061	357.3	68.8
62382A-11A11	4,4E-02	4,8E-04	100 - 550	PCA	ChRM	11	356.9	68.2	0.9	-1.5	1.067	1.044	1.022	353.1	69.0
62382A-12A13	1,3E-01	5,0E-04	190 - 550	PCA	ChRM	9	350.3	66.6	1.0	-1.9	1.097	1.064	1.031	348.7	65.9
62382A-13A21	8,8E-01	2,3E-03	140 - 450	PCA	ChRM	7	343.7	67.1	1.3	1.2	1.127	1.017	1.108	350.1	65.1
62382A-14A21	1,4E-01	4,5E-04	100 - 610	PCA	ChRM	13	330.7	65.4	1.0	-3.1	1.071	1.049	1.021	332.9	64.9
62382A-15A13	4,9E-02	4,8E-04	140 - 575	PCA	ChRM	11	359.4	64.3	1.3	-1.4	1.029	1.019	1.010	358.4	64.1
62382A-16A11	9,7E-02	2,8E-04	140 - 680	PCA	ChRM	14	338.1	62.4	1.3	-0.2	1.055	1.045	1.009	339.3	63.5
62382A-17A21	1,2E-01	2,8E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	345.3	62.3	1.1	-0.1	1.054	1.035	1.019	345.7	62.3
62382A-18A11	1,0E-01	3,4E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	350.9	58.8	1.1	-1.3	1.041	1.012	1.029	351.6	59.9
62382A-19A11	2,2E-01	5,4E-04	100 - 550	PCA	ChRM	11	343.2	63.5	0.7	-3.1	1.048	1.018	1.030	342.8	62.7

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

Comme l'illustre la Figure 7, les directions d'aimantation présentent une certaine dispersion (k égal à 211), probablement dû à de légers mouvements des parois après la cuisson. On peut remarquer en effet une relation entre la position du prélèvement et la direction d'aimantation. On considère cependant que la direction moyenne est correctement estimée au vu de la dispersion (Tableau 2).

Moyennes sans correction

$$D = -7.46^\circ \quad I = 67.17^\circ \quad N=19, n=19 \quad k=212 \quad \alpha_{95} = 2.3^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = -9.3^\circ \quad I = 67.5^\circ \quad N=18, n=18 \quad k=211 \quad \alpha_{95} = 2.4^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -9.0 \pm 6.0^\circ \quad I_p = 66.4 \pm 2.4^\circ$$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du fourneau 23 (62382A)

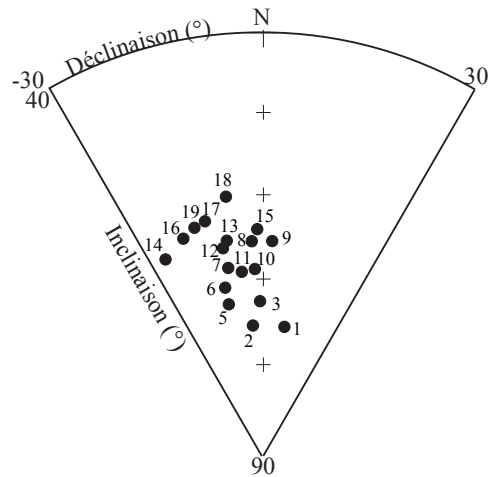


Figure 7 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 23.

B) Etude du fourneau 78 (62382B)

Description et datation du fourneau

Le fourneau 78 avait une longueur totale de 3,2m. Recoupé dans sa partie occidentale par le fourneau 22, il est conservé sur une longueur d'1m (Figure 8). Les parois ont subi une chauffe intense avec en surface une croûte d'argile très indurée d'environ 2-3cm, puis une rubéfaction sur une dizaine de centimètres.

L'analyse radiocarbone a été réalisée sur un charbon de bois retrouvé au fond du fourneau. Le radiocarbone marque donc la dernière chauffe et le début de l'abandon de la structure. L'intervalle de date à 95% [-360 ; -90] a été utilisé pour le calage chronologique du fourneau. Quinze prélèvements ont été réalisés sur les parois nord et sud du fourneau. (le prélèvement 27 a été perdu lors de la préparation des échantillons).



Figure 8 : Le fourneau 78 (vu du nord) en cours de prélèvement. Le fourneau est recoupé par le fourneau 22 (à droite)

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Sept fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400, puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Quatorze échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 690°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 470°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à huit échantillons dans les fourneaux « maisons » avec un champ laboratoire de 70μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Dix chauffes ont été réalisées entre 100 et 530°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 460°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Comme le fourneau 23, les prélèvements du fourneau 78 présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 1.5 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 25 et 1530 10⁻⁵SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.3 et 18 (Figure 9a). Cette variation reflète aussi l'hétérogénéité de la minéralogie magnétique, mise en évidence par les températures de déblocage (Figure 9b).

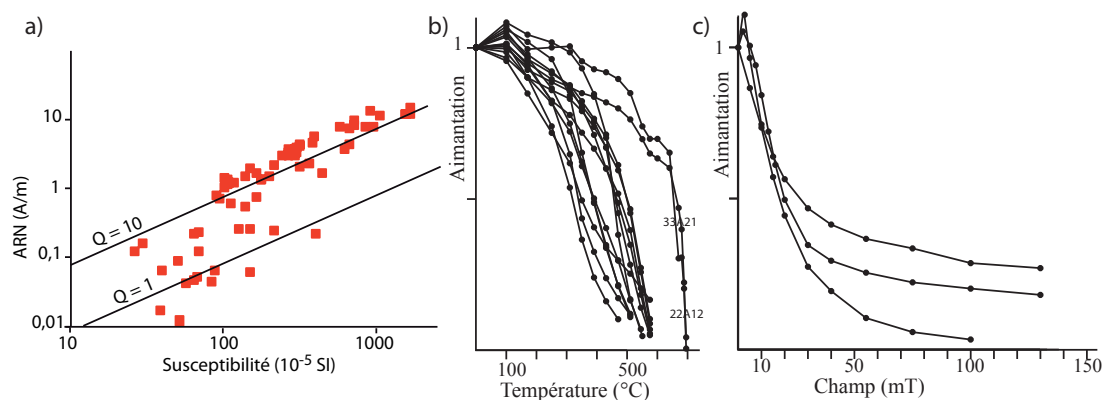


Figure 9 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 78. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif. Les Median Demagnetizing Field des trois échantillons sont compris entre 12 et 18mT.

Pour la majorité des prélèvements, la phase prédominante est une phase de faible coercivité (Figure 9c), probablement une titanomagnétite pauvre en titane d'après les points de Curie entre 560 et 585°C. Les températures de déblocage montrent la présence d'hématite pour les prélèvements 22 et 33, mais cette phase est probablement présente dans la majorité des autres prélèvements (sauf au moins 30), d'après les désaimantations par champ alternatif et les acquisitions d'ARI (Figure 10).

Annexe 3 : Etude des sites français, Gouy-Saint-André le Rossignol

Comme l'hématite est peu aimantée, elle n'est pas détectée par les courbes thermomagnétiques (Figure 11). Ces courbes sont systématiquement réversibles après la chauffe à 400°C, mais montrent des évolutions parfois importantes après la chauffe à 600°C. L'échantillon 32 se distingue par la présence d'une phase avec une faible température de Curie (350°C), qui est sans doute une titanomagnétite. Contrairement au fourneau 23, aucune relation ne peut être définie entre la nature des minéraux magnétiques et la position des prélèvements.

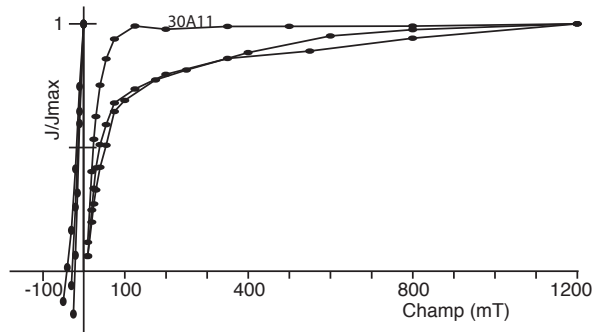


Figure 10 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour trois échantillons du fourneau 78 (22A13, 25A12 et 30A11). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 40, 29 et 21 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 4, 16 et 91 A/m.

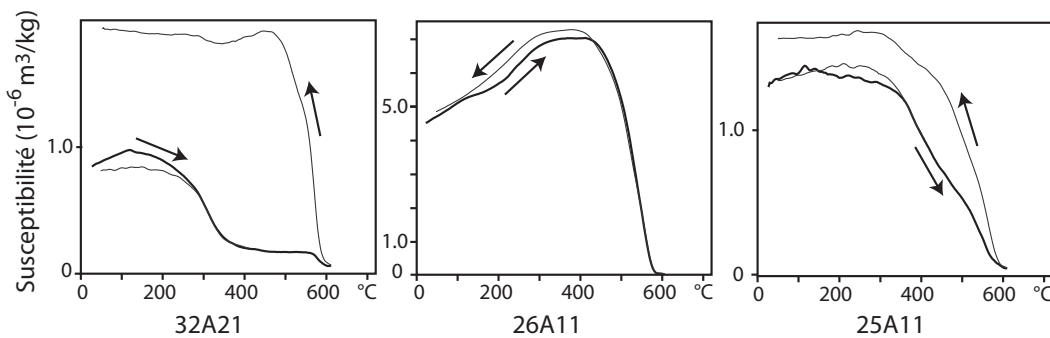


Figure 11 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons (sauf l'échantillon 33) portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 12). L'échantillon 33, pour lequel le porteur principal de l'aimantation, est l'hématite porte deux composantes d'aimantation, la composante secondaire ayant été acquise à la dernière chauffe. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 3.

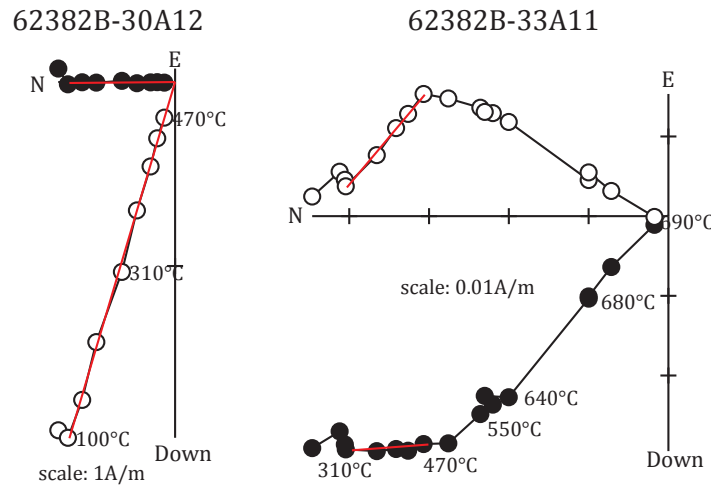


Figure 12 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du fourneau 78. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/GCA	ChRM //I ^{re}	n	D (°)	I (°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62382B-21A12	1,6E+00	1,6E-03	100 - 510	PCA	ChRM	9	352.6	69.4	0.9	0.1	1.071	1.016	1.054	355.9	70.2
62382B-22A12	1,2E-01	2,6E-04	250 - 695	PCA	ChRM	15	358.0	69.9	1.3	-0.7	1.061	1.024	1.036	1.2	70.9
62382B-23A11	3,1E+00	2,8E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	351.7	72.6	0.9	-7.8	1.084	1.024	1.058	349.0	73.9
62382B-24A12	5,7E+00	3,9E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	355.4	71.3	0.9	-4.6	1.122	1.066	1.053	358.0	74.2
62382B-25A21	1,2E+00	1,2E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	345.9	73.0	1.4	-5.5	1.102	1.054	1.046	344.3	74.0
62382B-26A21	1,2E+01	1,5E-02	170 - 545	PCA	ChRM	9	319.8	62.3	1.0	-4.3	1.079	1.020	1.058	316.8	62.4
62382B-28A11	1,2E+00	1,1E-03	170 - 550	PCA	ChRM	9	342.1	65.8	1.1	-6.3	1.053	1.031	1.022	342.1	65.4
62382B-29A21	3,0E+00	2,4E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	344.1	66.9	0.8	-5.2	1.113	1.056	1.054	347.4	69.1
62382B-30A12	2,0E+00	3,1E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	359.5	73.5	0.4	8.7	1.067	1.009	1.057	359.1	74.1
62382B-31A22	3,6E+00	2,6E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	7.8	70.0	1.0	-6.2	1.090	1.053	1.035	5.8	68.2
62382B-32A11	4,2E+00	6,6E-03	100 - 510	PCA	ChRM	9	1.5	66.9	1.6	-2.7	1.080	1.013	1.067	5.8	67.8
62382B-33A11	5,0E-02	6,8E-04	310 - 470	PCA	II ^{re}	5	357.0	50.2	3.4	-2.1	1.039	1.009	1.029	356.2	51.1
62382B-34A22	1,5E+00	2,0E-03	170 - 510	PCA	ChRM	8	6.6	66.6	0.9	-4.0	1.022	1.013	1.008	5.9	66.5
62382B-35A11	2,4E-01	2,1E-03	170 - 575	PCA	ChRM	10	358.3	67.9	0.8	-3.2	1.100	1.021	1.077	359.2	68.2

Tableau 3 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le fourneau 78

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Sur huit spécimens, six donnent d'excellents résultats (Tableau 4 et Figure 13) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement rigoureusement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les deux autres échantillons 23A32 et 25A11 sont rejetés, car le diagramme ARN-ATR a une forme légèrement convexe.

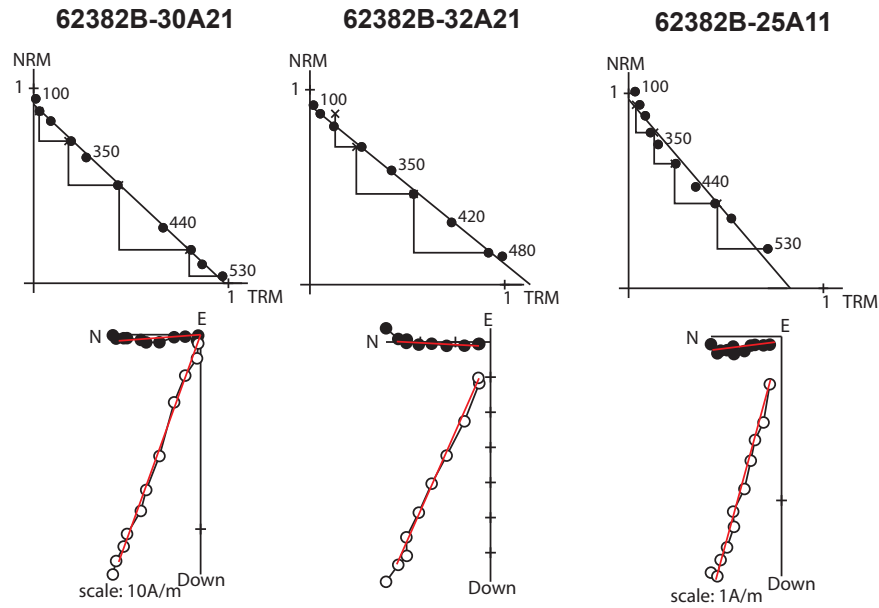


Figure 13 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens à gauche et au milieu sont acceptés, alors que le spécimen de droite est rejeté, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie					Vitesse de refroidissement			
															K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)	$F_a \pm$ std (μ T)	%corr	%evol	$F_{a+c} \pm$ std (μ T)
62382B-21A22	3,9E+00	3,0E+02	100 - 480	9	345.9	73.3	86.2 \pm 2.1	1.8	0.9	0.86	0.81	28.3	0.025	-0.8	1.079	1.028	1.050	345.4	75.4	90.9 \pm 2.2	5.3	-0.4	86.1 \pm 2.1
62382B-23A32	4,4E+00	3,8E+02	100 - 530	10	344.1	74.8	64.8 \pm 3.7	2.0	1.0	0.94	0.88	14.5	0.057	2.9	1.100	1.054	1.043	342.7	76.2	65.2 \pm 3.7	6.7	0.7	60.8 \pm 3.5
62382B-25A11	1,5E+00	1,4E+02	100 - 530	10	319.8	61.7	81.7 \pm 5.3	2.4	1.9	0.83	0.86	11.0	0.065	2.6	1.058	1.029	1.028	315.9	61.2	83.9 \pm 5.4	6.5	-0.8	78.4 \pm 5.1
62382B-26A11	1,1E+01	1,0E+03	180 - 530	9	339.3	65.2	69.4 \pm 1.6	3.8	4.5	0.60	0.83	21.5	0.023	1.3	1.069	1.037	1.032	337.7	69.0	69.6 \pm 1.6	3.1	-10.0	
62382B-28A12	8,3E+00	7,0E+02	100 - 530	10	337.1	69.2	65.2 \pm 1.7	2.0	0.8	0.97	0.87	32.3	0.026	2.4	1.101	1.069	1.030	335.3	70.3	66.5 \pm 1.7	4.4	0.1	63.6 \pm 1.6
62382B-29A11	3,5E+00	2,8E+02	180 - 530	9	355.7	70.1	62.4 \pm 1.3	3.8	2.6	0.77	0.85	32.9	0.020	-1.5	1.057	1.008	1.049	4.4	72.6	64.5 \pm 1.3	4.2	-1.0	61.8 \pm 1.2
62382B-30A21	1,3E+01	8,9E+02	100 - 530	10	345.8	70.3	65.4 \pm 1.3	2.1	1.2	0.98	0.85	43.8	0.019	1.0	1.163	1.119	1.039	342.6	70.2	61.0 \pm 1.2	3.4	-1.0	58.9 \pm 1.1
62382B-32A21	7,5E+00	9,4E+02	100 - 480	9	359.6	67.8	56.9 \pm 1.1	2.3	2.2	0.85	0.84	37.5	0.019	-2.7	1.053	1.038	1.014	356.5	67.7	58.7 \pm 1.1	1.0	-1.8	

Tableau 4 : Résultats d'archéointensités pour le fourneau 78

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 2 et 16% (Tableau 3). A l'échelle de la structure, l'axe minimal d'anisotropie se rapprocherait de la verticale (Figure 14). Comme la correction d'anisotropie disperse légèrement les archéodirections (Tableau 5), la correction n'est pas appliquée. En

revanche, la correction est appliquée pour les archéointensités, dont elle améliore le regroupement.

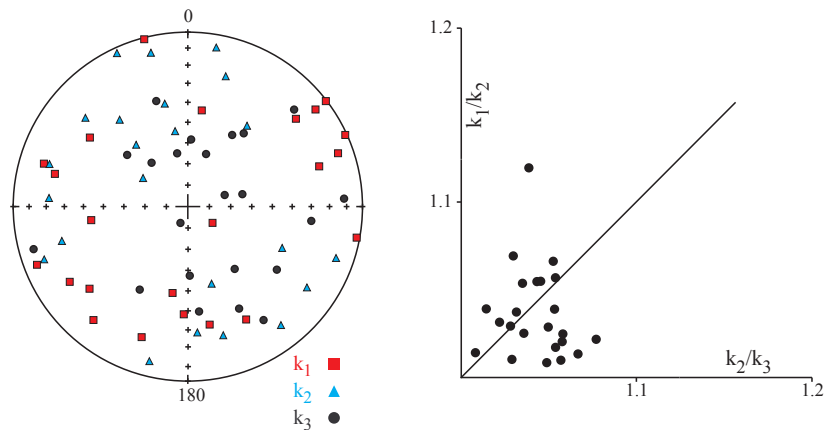


Figure 14 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le fourneau 78.

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est environ 5% (Tableau 3). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée si la différence est supérieure à l'évolution en cours de chauffe. La correction n'a pas d'effet sur la dispersion des archéointensités (Tableau 4).

Résultats

La répartition des directions d'aimantation est présentée sur la Figure 15. Les prélèvements 26 et 33 ont une direction d'aimantation clairement hors-tendance et ne sont pas pris en compte dans le calcul de la statistique de Fisher (Tableau 5). Pour l'archéointensité, l'échantillon 21A22 est considéré comme hors-tendance. L'archéointensité moyenne, calculée pour les cinq autres spécimens acceptés, est pondérée par le nombre d'échantillons et le facteur de qualité (Prévôt, 1985).

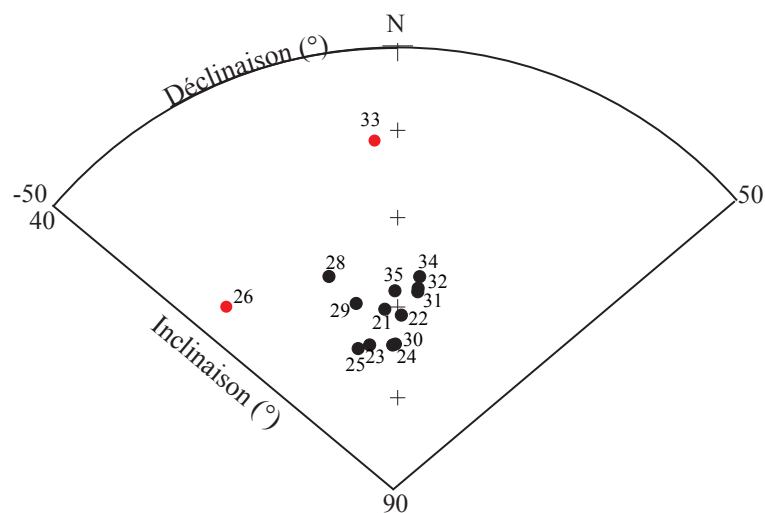


Figure 15 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 78. Les prélèvements 26 et 33 sont hors-tendance.

Moyennes sans correction

$D = -4.7^\circ$ $I = 69.7^\circ$ $N=12, n=12$ $k=405$ $\alpha_{95} = 2.2^\circ$
 $F = 63.3 \pm 4.6 \mu\text{T}$ $N=5, n=5$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -3.6^\circ$ $I = 70.4^\circ$ $N=12, n=12$ $k=349$ $\alpha_{95} = 2.3^\circ$ (non appliquée)
 $F = 63.3 \pm 4.3 \mu\text{T}$ $N=5, n=5$ (appliquée)

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

$F = 61.7 \pm 4.5 \mu\text{T}$ $N=5, n=5$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -3.5 \pm 6.3^\circ$ $I_p = 69.4 \pm 2.2^\circ$ $F_p = 60.9 \pm 4.5 \mu\text{T}$
 $VDM = 9.3 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$ $VADM = 9.5 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$

Tableau 5 : Archéodirection et archéointensité moyennes du fourneau 78 (62382B)

C) Etude du fourneau 24 (62382C)

Description et datation du fourneau

Recoupé par une fosse, le fourneau 24 n'est que partiellement conservé (Figure 16). Le fourneau a une longueur de 1,4 m et une largeur de 0,9m. La rubéfaction des parois est plus faible que pour les autres fourneaux avec une épaisseur de rubéfaction de l'ordre de 6 à 8 cm. L'analyse radiocarbone a été réalisée sur un charbon de bois retrouvé dans le comblement du fourneau. L'intervalle de date à 95% [-370 ; -100] a été utilisé pour le calage chronologique du fourneau. 15 prélèvements ont été réalisés, principalement sur la paroi ouest du fourneau.

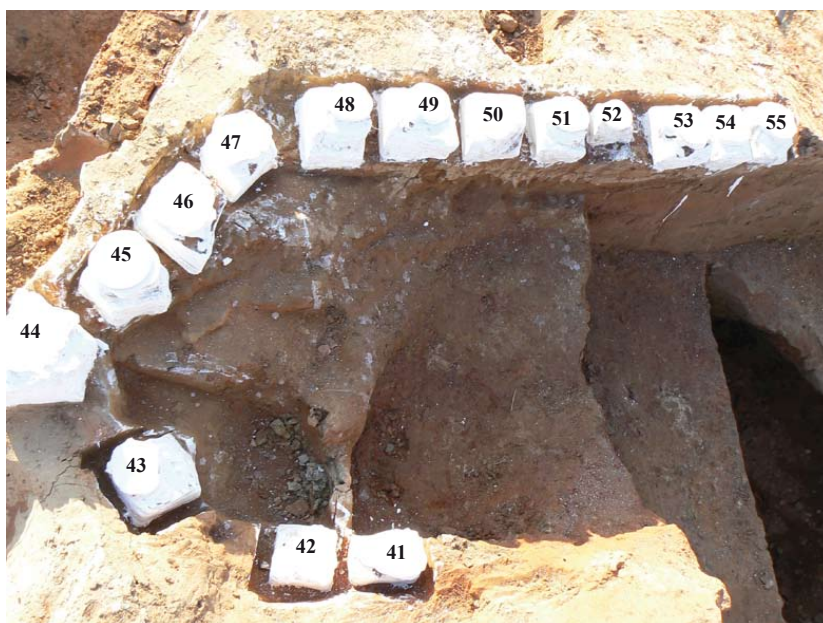


Figure 16 : Le fourneau 24 (vu de l'est) en cours de prélèvement.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Seize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 690°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 470°C.

Minéralogie magnétique

Comme pour les fourneaux 23 et 78, la variabilité de l'intensité de l'ARN (entre 0.01 et 15 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 30 et 1250 10^{-5} SI) reflète la variabilité de la minéralogie magnétique (Figure 17a et b). L'aimantation de quatre échantillons désaimantés thermiquement (42, 50, 51 et 52) est majoritairement portée par l'hématite, alors que pour les autres échantillons les températures de déblocage laissent supposer la prédominance de la magnétite. La relation entre la minéralogie et la position du prélèvement est moins évidente que pour le fourneau 23.

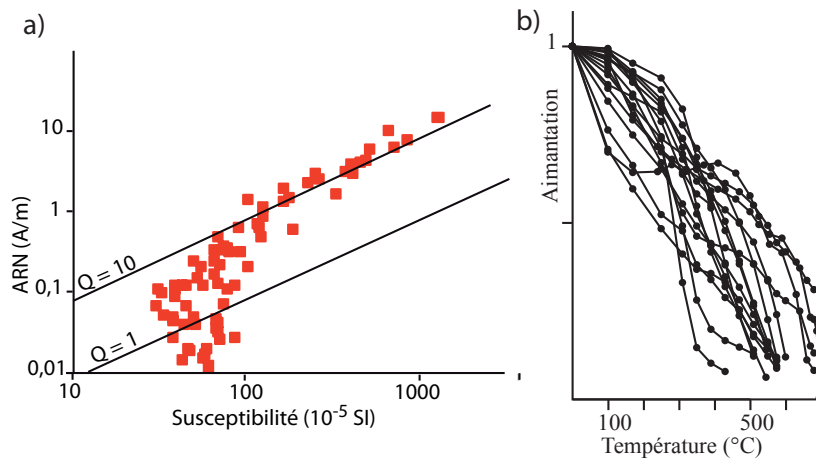


Figure 17 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 23. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. Les rapports de Koenigsberger des échantillons sont compris entre 0.2 et 19. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

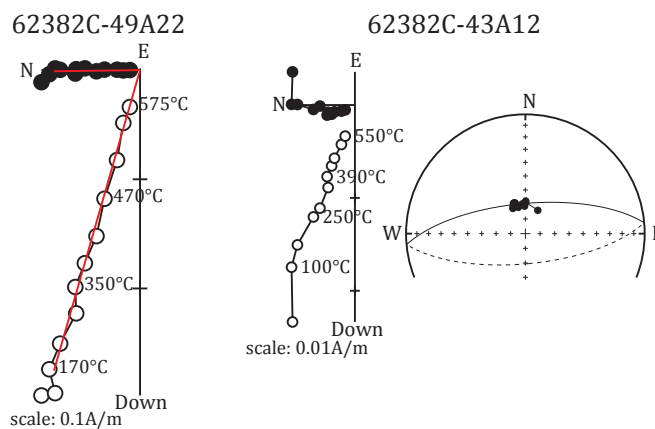


Figure 18 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du fourneau 24. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

tel-00738129, version 1 - 3 Oct 2012

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées pour quatorze échantillons (sur seize) par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 18). Pour les échantillons, 43A12 et 47A12, moins aimantés, la direction d'aimantation a été évaluée par un grand cercle. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 6.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie assez forte avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 4 et 26% (Tableau 6). Les échantillons les plus anisotropes présentent des tenseurs dominés par la foliation (Figure 19). A l'échelle de la structure, l'axe minimal d'anisotropie tend à se rapprocher de la verticale. L'application de la correction d'anisotropie regroupe légèrement les archéodirections (Tableau 7).

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62382C-41A21	1,3E+00	1,3E-03	100 - 545	PCA	ChRM	10	341.5	73.6	0.6	-2.6	1.066	1.061	1.004	335.5	73.8
62382C-42A11	1,5E-01	4,2E-04	100 - 600	PCA	ChRM	12	341.7	71.2	1.0	0.2	1.045	1.033	1.012	339.5	71.3
62382C-43A12	2,5E-02	5,6E-04	100 - 510	GC	ChRM	9	354.8	-20.6	21.3	-2.6	1.044	1.023	1.020	353.9	-20.3
62382C-44A21	1,2E-01	6,8E-04	100 - 575	PCA	ChRM	11	0.7	57.5	1.4	-1.5	1.119	1.006	1.112	357.6	60.0
62382C-45B11	1,2E-01	4,5E-04	170 - 575	PCA	ChRM	10	14.2	65.3	1.2	0.5	1.152	1.073	1.074	8.2	67.9
62382C-46A31	3,1E+00	3,0E-03	170 - 510	PCA	ChRM	8	351.1	69.8	0.7	0.8	1.072	1.033	1.038	348.9	70.1
62382C-47A12	1,4E-02	3,4E-04	170 - 550	GC	ChRM	9	270.8	4.1	13.2	7.3	1.075	1.059	1.015	267.1	3.2
62382C-48A12	3,4E-01	5,8E-04	100 - 575	PCA	ChRM	11	3.9	66.1	1.1	-2.4	1.231	1.031	1.195	356.5	67.3
62382C-49A22	3,1E-01	6,4E-04	170 - 575	PCA	ChRM	10	359.3	74.0	1.0	-3.3	1.184	1.044	1.134	348.4	70.9
62382C-50A12	2,1E-01	4,4E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	351.3	67.7	1.3	0.8	1.124	1.024	1.098	348.2	67.9
62382C-51A12	9,9E-02	2,6E-04	100 - 695	PCA	ChRM	17	1.6	71.4	1.3	-0.3	1.054	1.015	1.038	359.1	71.0
62382C-51B11	8,5E-01	1,0E-03	100 - 510	PCA	ChRM	9	353.4	71.0	0.6	2.5	1.190	1.044	1.140	344.1	69.4
62382C-52B11	4,8E-02	3,0E-04	170 - 680	PCA	ChRM	14	3.7	65.7	1.5	-0.1	1.015	1.011	1.004	3.9	66.1
62382C-53A11	6,6E-02	2,4E-04	100 - 390	PCA	ChRM	6	353.6	69.2	0.9						
62382C-54A12	1,9E+00	1,3E-03	100 - 430	PCA	ChRM	7	348.0	68.6	1.4	1.2	1.145	1.011	1.132	340.5	68.7
62382C-55A11	1,1E+00	1,0E-03	170 - 545	PCA	ChRM	9	350.3	67.0	1.0	-0.2	1.260	1.050	1.201	339.6	65.9

Tableau 6 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) du fourneau 24

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

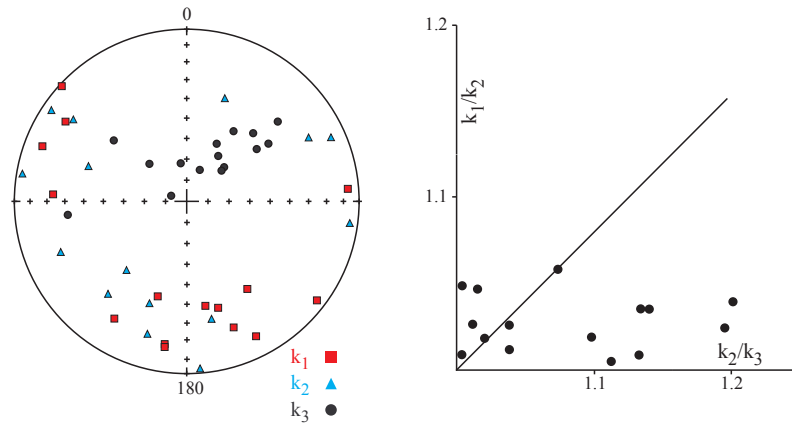


Figure 19 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le fourneau 24.

Résultats

Comme l'illustre la Figure 20, les directions d'aimantation présentent une certaine dispersion (k égal à 250). On ne remarque de relations entre la position du prélèvement et la direction d'aimantation. Tous les échantillons sont utilisés pour le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 7).

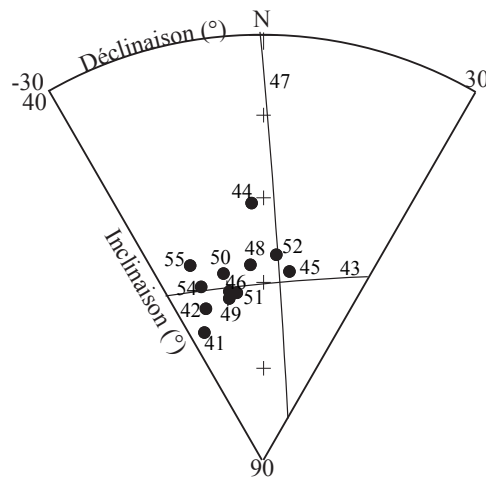


Figure 20 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 24.

Moyennes sans correction

$D = -3.0^\circ$ $I = 68.5^\circ$ $N=15, n=16$ $k=219$ $\alpha_{95} = 2.6^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -8.3^\circ$ $I = 68.8^\circ$ $N=14, n=15$ $k=250$ $\alpha_{95} = 2.5^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -8.0 \pm 6.6^\circ$ $I_p = 67.7 \pm 2.5^\circ$

Tableau 7 : Archéodirection moyenne du fourneau 24 (62382C)

D) Etude du fourneau 60 (62382D)

Description et datation du fourneau

Le fourneau 60 était le plus grand fourneau de l'atelier de saunier avec une longueur totale de 4,4 m. Il n'est cependant conservé que sur une longueur de 1,2m, car l'autre partie du fourneau a été reprise par le fourneau 22 (Figure 21). L'intensité de la chauffe semble avoir été plus faible que pour les autres fourneaux, au vu de la rubéfaction des parois (5 centimètres environ).

Deux analyses radiocarbone ont été réalisées pour ce fourneau :

- La première analyse a été réalisée sur un piquet de construction du fourneau et donne un résultat à 95% de confiance dans l'intervalle [-350 ; -300] ou dans l'intervalle [-210 ; -40].
- La deuxième analyse a porté sur un charbon de bois du comblement inférieur du fourneau. Les intervalles de date [-400 ; -340] et [-320 ; -210], supposés proches du moment de la dernière chauffe du fourneau, ont été choisis pour le calage chronologique.

Dix-neuf prélèvements ont été réalisés sur les parois conservées du fourneau. Un prélèvement (79) a aussi été réalisé à l'extrémité Nord, servant à l'approvisionnement en combustibles.



Figure 21 : Le fourneau 60 (vu de l'est) en cours de prélèvement. Le fourneau est recoupé par le fourneau 22 (à gauche).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400, puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Dix-neuf échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 620°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 450°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à sept

échantillons dans le fourneau MMTD avec un champ laboratoire de $70\mu\text{T}$ appliqué selon l'axe Y des spécimens. Dix chauffes ont été réalisées entre 100 et 530°C . L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 530°C . L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 565°C . Le taux de refroidissement lent a été choisi à $0,6^\circ\text{C}/\text{min}$ (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements du fourneau 78 présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 4 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 23 et $460 \cdot 10^{-5}\text{SI}$), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.3 et 11 (Figure 22a). A l'échelle de la structure, la minéralogie magnétique semble plus homogène que pour les autres fourneaux de Gouy-Saint-André, d'après les températures de déblocage (Figure 22b) et les acquisitions d'ARI (Figure 23).

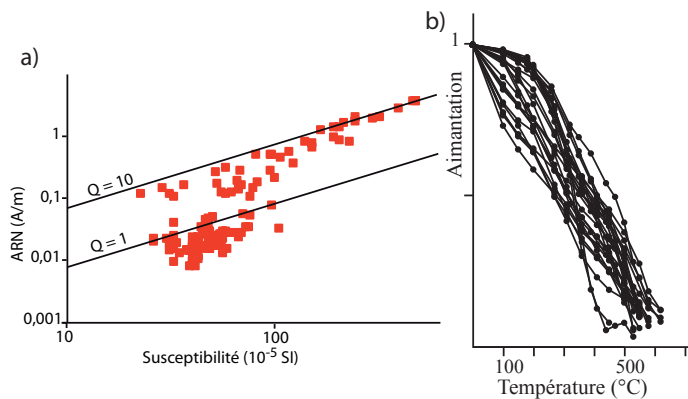


Figure 22 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 60. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Les acquisitions d'ARI montrent la présence de phases de faible coercivité, identifiée comme une titanomagnétite pauvre en titane d'après les courbes thermomagnétiques (les points de Curie sont proches de 585°C , Figure 24), et de plus forte coercivité. Contrairement aux autres fourneaux, cette phase ne peut être attribuée avec certitude comme de l'hématite, puisqu'on n'observe pas de températures de déblocage de l'ordre de 680°C (Figure 22b).

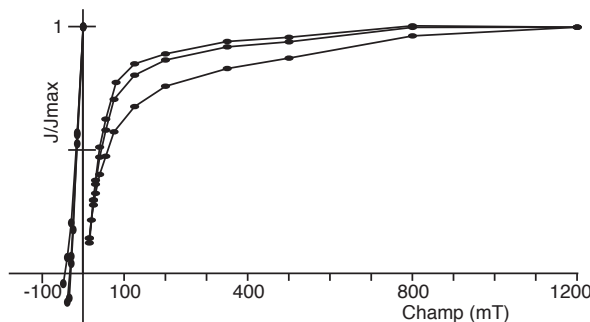


Figure 23 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 3 échantillons du fourneau 60 (70A22, 72A11 et 75A13). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 31, 47 et 34 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 5.5, 4.1 et 4.5 A/m.

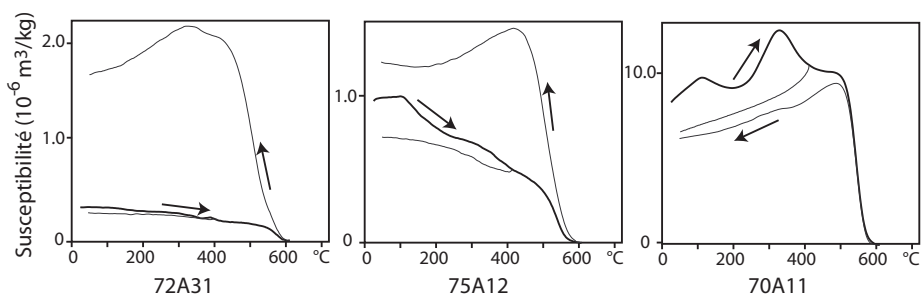


Figure 24 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Treize échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 25). Les six autres échantillons portent deux composantes d'aimantation, la composante secondaire ayant été acquise lors de la dernière chauffe. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 8. La direction d'aimantation de l'échantillon 77A11 est clairement hors-tendance et n'est pas prise en compte dans le calcul de la statistique de Fisher.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM //I ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62382D-61A31	2,8E-01	5,4E-04	100 - 550	PCA	ChRM	10	357.7	76.5	0.7	-0.7	1.062	1.007	1.054	356.1	77.5
62382D-62A11	2,4E-02	3,4E-04	100 - 550	PCA	II ^{re}	10	339.4	74.2	2.2	0.1	1.092	1.079	1.012	341.1	74.7
62382D-63A11	1,5E-01	2,3E-04	200 - 580	PCA	ChRM	9	8.9	78.8	1.1	2.5	1.084	1.065	1.018	1.7	79.0
62382D-64A11	2,8E-02	3,6E-04	200 - 550	PCA	ChRM	8	17.6	62.8	1.2	2.7	1.108	1.075	1.031	16.1	64.1
62382D-65A21	1,6E-02	3,9E-04	200 - 580	PCA	ChRM	9	10.3	66.5	1.5	0.9	1.116	1.086	1.028	8.3	67.3
62382D-66A11	2,9E-02	4,9E-04	100 - 500	PCA	II ^{re}	9	347.6	53.7	3.5	0.1	1.087	1.066	1.020	347.9	54.9
62382D-67A12	2,9E-02	5,2E-04	410 - 620	PCA	ChRM	6	4.0	60.6	2.4	-1.1	1.086	1.055	1.030	4.7	60.3
62382D-68A11	3,6E-02	3,5E-04	100 - 620	PCA	ChRM	12	12.0	65.2	1.3	0.5	1.113	1.071	1.039	9.9	66.1
62382D-69A12	3,8E-01	9,7E-04	100 - 550	PCA	ChRM	10	2.6	73.5	0.9	-2.3	1.109	1.097	1.011	358.9	73.3
62382D-70A12	8,2E-01	1,1E-03	100 - 550	PCA	ChRM	10	346.3	73.3	1.1	-1.2	1.161	1.131	1.026	348.2	72.6
62382D-71A21	6,7E-01	1,2E-03	150 - 550	PCA	ChRM	9	339.1	70.0	0.9	-0.6	1.078	1.057	1.020	337.9	69.1
62382D-72A21	1,3E+00	1,3E-03	100 - 450	PCA	ChRM	8	354.2	59.2	0.9	-2.3	1.176	1.135	1.036	352.7	59.1
62382D-73A21	1,1E-01	2,6E-04	150 - 620	PCA	ChRM	11	357.5	57.1	0.6	-2.5	1.076	1.046	1.028	355.6	57.7
62382D-74A21	1,7E-02	3,3E-04	100 - 550	PCA	II ^{re}	10	359.8	59.4	2.1	-1.7	1.163	1.132	1.027	359.9	60.1
62382D-75A11	1,2E-01	2,5E-04	100 - 580	PCA	ChRM	10	351.3	50.6	0.7	2.4	1.100	1.039	1.058	350.7	51.4
62382D-76A12	1,9E-02	3,2E-04	100 - 580	PCA	II ^{re}	11	347.3	65.6	3.3	0.9	1.107	1.085	1.020	345.7	65.4
62382D-77A11	2,7E-02	4,4E-04	150 - 550	PCA	II ^{re}	9	290.2	53.1	2.6	1.1	1.086	1.074	1.011	290.9	55.2
62382D-78A11	5,6E-01	9,3E-04	100 - 500	PCA	ChRM	9	337.4	72.3	1.2	-2.6	1.157	1.134	1.020	334.6	71.7
62382D-79A21	4,7E-02	3,7E-04	200 - 550	PCA	II ^{re}	8	348.1	62.5	2.1	0.4	1.157	1.109	1.044	348.2	63.2

Tableau 8 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le fourneau 60

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

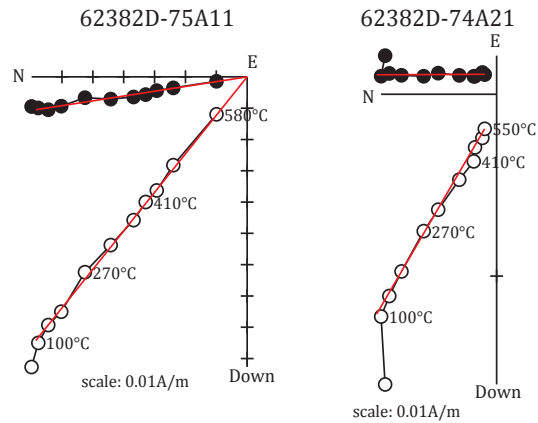


Figure 25 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du fourneau 60. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 6 et 12% (Figure 26 et Tableau 8). A l'échelle de la structure, l'axe minimal d'anisotropie présente des inclinaisons plus élevées que les deux autres axes du tenseur d'anisotropie (Figure 26). La correction d'anisotropie réduit légèrement la dispersion des directions d'aimantation (Tableau 10).

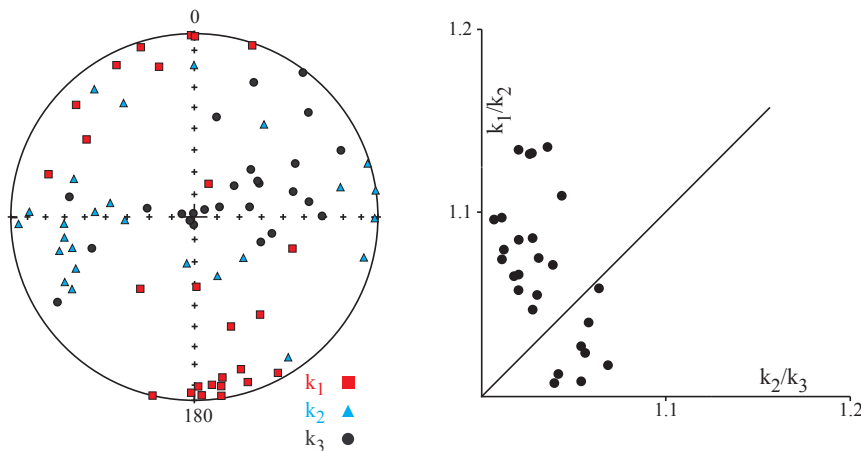


Figure 26 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le fourneau 60.

Protocole de Thellier-Thellier

Les sept échantillons pour le protocole de Thellier-Thellier ont été sélectionnés pour leur forte intensité d'ARN, qui laisse supposer une meilleure stabilité de la minéralogie ferromagnétique. L'estimation d'une archéointensité n'a pu être réalisée pour trois échantillons (Figure 27 à droite) en raison de la forte convexité du diagramme ARN-ATR et de la déviation de la direction de l'ARN en cours de chauffe. Parmi les quatre autres échantillons (Tableau 9), un seul (Figure 27 à gauche) respecte les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Une assez bonne corrélation est observée entre les résultats

d'archéointensité et la réversibilité des courbes thermomagnétiques après la chauffe à 400°C. L'échantillon accepté donne une valeur d'archéointensité de 64.4µT cohérente avec les résultats des fourneaux 78 et 22.

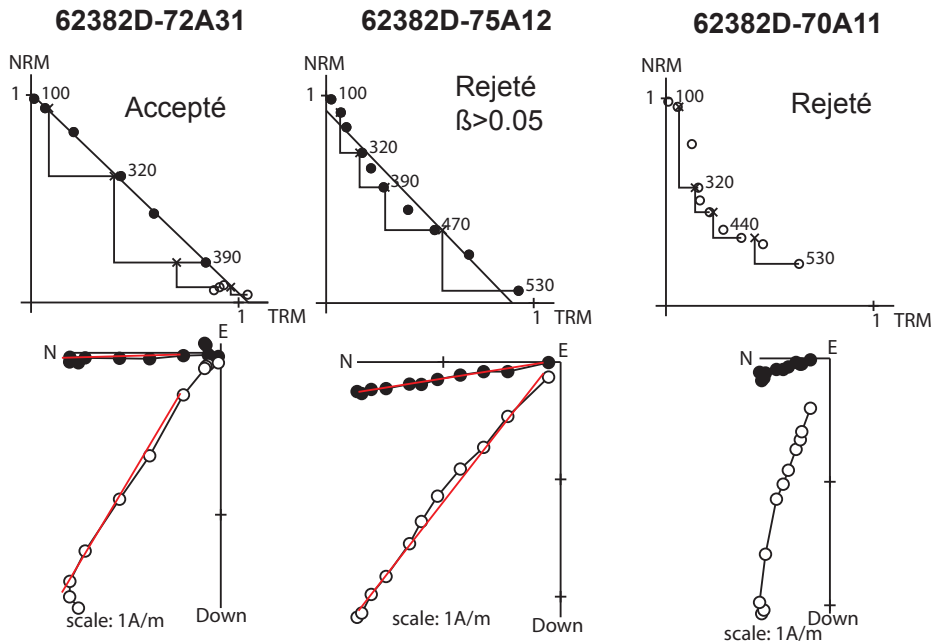


Figure 27 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Seul un spécimen (exemple à gauche) est accepté, alors que les autres doivent être rejetés en raison d'une convexité (plus ou moins prononcée) du diagramme ARN-ATR. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie					Vitesse de refroidissement					
															K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)	$F_a \pm$ std (μ T)	%corr	%evol	$F_{a+c} \pm$ std (μ T)		
62382D-61A21	1,7E-01	3,6E+01	100 530	10	1.4	79.8	53.4 \pm 2.8	4.9	0.6	0.84	0.86	14.0	0.052	3.6	1.046	1.006	1.040	3.0	80.9	52.9 \pm 2.7	12.7	-0.5	46.2 \pm 2.4		
62382D-63A31	1,4E+00	1,9E+02	100 530	10	1.0	77.5	79.9 \pm 4.1	2.0	1.5	0.90	0.88	15.3	0.052	3.3	1.126	1.058	1.064	5.3	77.3	72.9 \pm 3.8	9.7	0.1	65.8 \pm 3.4		
62382D-70A11	2,1E+00	3,1E+02	Rejeté																						
62382D-71A11	7,7E-01	1,5E+02	Rejeté																						
62382D-72A31	1,8E+00	2,4E+02	100 390	6	357.1	56.4	67.3 \pm 1.3	2.5	2.8	0.79	0.76	30.9	0.019	4.7	1.103	1.096	1.007	357.1	56.4	70.5 \pm 1.4	8.7	1.7	64.4 \pm 1.3		
62382D-75A12	2,8E+00	3,9E+02	100 530	10	351.5	49.8	72.4 \pm 5.3	2.7	1.9	1.00	0.86	11.8	0.073	1.9	1.081	1.023	1.056	349.0	50.0	74.3 \pm 5.5	9.5	0.7	67.2 \pm 4.9		
62382D-78A21	3,8E+00	4,5E+02	Rejeté																						

Tableau 9 : Résultats d'archéointensités pour le fourneau 60

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Résultats

La répartition des directions d'aimantation est présentée sur la Figure 28. On observe une relation entre la direction d'aimantation et la position du prélèvement ce qui indique des probables mouvements des parois post-cuisson à l'origine de la dispersion importante des directions d'aimantation. On considère cependant que la direction moyenne est correctement estimée au vu de l'importance de son erreur (Tableau 10).

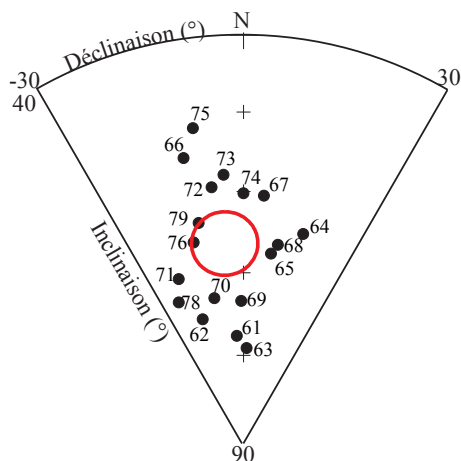


Figure 28 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 60.

Moyennes sans correction

$D = -4.2^\circ$ $I = 66.1^\circ$ $N=18, n=18$ $k=75$ $\alpha_{95} = 4.0^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -5.4^\circ$ $I = 66.3^\circ$ $N=18, n=18$ $k=81$ $\alpha_{95} = 3.9^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -5.2 \pm 9.3^\circ$ $I_p = 65.1 \pm 3.9^\circ$

Tableau 10 : Archéodirection et archéointensité moyennes du fourneau 60 (62382D)

E) Etude du fourneau 22 (62382E)

Description et datation du fourneau

Le fourneau 22, fourneau le plus récent de l'atelier et second état du fourneau 60 (réduit d'un tiers), est en excellent état de conservation (Figure 29). Sa forme est allongée (avec une longueur totale 3m sur une largeur de 1,6m) avec des extrémités rétrécies servant à l'approvisionnement en combustibles. Le fourneau présente la particularité de présenter encore en place les 3 piliers centraux supportant la grille. Les parois sont rubéfiées sur une épaisseur de presque 10cm indicatrice d'une chauffe importante.

L'analyse radiocarbone, réalisée sur un charbon de bois du comblement inférieur du fourneau (associé aux niveaux de destruction du matériel d'enfournement) est associée au début de l'abandon du fourneau. L'intervalle de date à 95% [-390 ; -190] a été utilisé pour le calage

chronologique du fourneau. 23 prélèvements ont été réalisés sur les parois ouest et est du fourneau, ainsi que sur le pilier sud (88 et 89) et le fond de la structure (90, 91 et 92).



Figure 29 : Le fourneau 22 (vu du sud-ouest) en cours de prélèvement.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. 6 fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400, puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Vingt-trois échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 685°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 470°C.

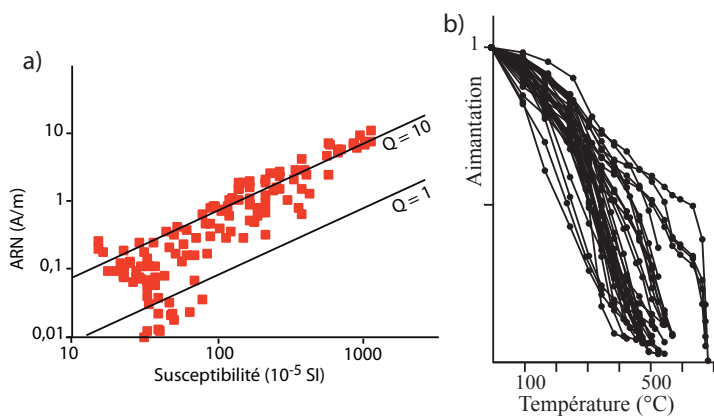


Figure 30 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 22. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à onze échantillons dans le fourneau MMTD avec un champ laboratoire de 70μT

appliqué selon l'axe Y des spécimens. 10 chauffes ont été réalisées entre 100 et 520 ou 530°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 460 ou 530°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480 ou 565°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Comme les fourneaux 23, 24 et 78, les prélèvements du fourneau 22 présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 11 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 15 et 1100 10⁻⁵SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.4 et 22 (Figure 30a). Cette variation reflète l'hétérogénéité de la minéralogie magnétique, mise en évidence par les températures de déblocage (Figure 30b).

Pour la majorité des prélèvements, la phase prédominante est une phase de faible coercivité (Figure 31), probablement une titanomagnétite pauvre en titane d'après les points de Curie proches de 585°C (Figure 32). Les courbes thermomagnétiques mettent aussi en évidence la présence de titanomagnétites avec un point de Curie autour de 350-400°C (exemple du prélèvement 85). Les températures de déblocage montrent la présence très significative d'hématite pour les prélèvements 82, 84, 92 et 103. Les acquisitions d'ARI confirment cette observation pour le prélèvement 82, mais décèlent aussi sa présence dans le prélèvement 98. Comme l'hématite est peu aimantée par rapport à la magnétite, elle n'est pas détectée par les courbes thermomagnétiques de ce même prélèvement. Contrairement au fourneau 23, aucune relation claire ne peut être définie entre la nature des minéraux magnétiques et la position des prélèvements : les quatre échantillons les plus riches en hématite sont situés à des endroits variés dans le fourneau.

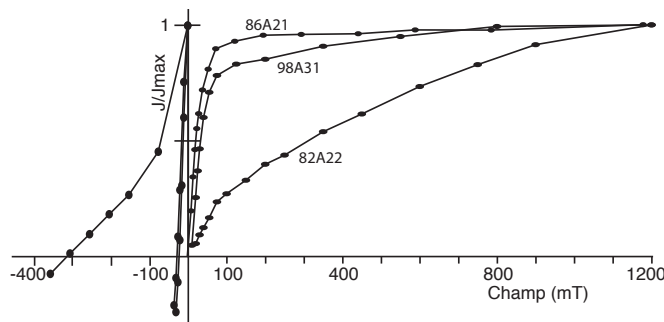


Figure 31 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 3 échantillons du fourneau 22 (82A22, 86A21 et 98A31). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 306, 22 et 27 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 3, 107 et 20 A/m.

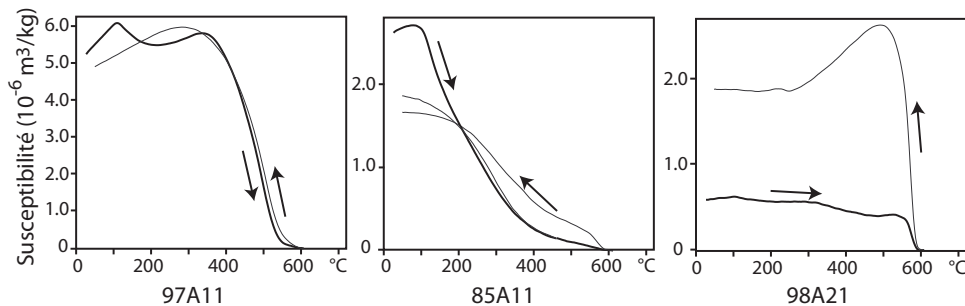


Figure 32 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Presque tous les échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 33). Seul l'échantillon 89A11 porte une seule composante d'aimantation, dont la direction d'aimantation est hors-tendance pour des raisons inexpliquées. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 11.

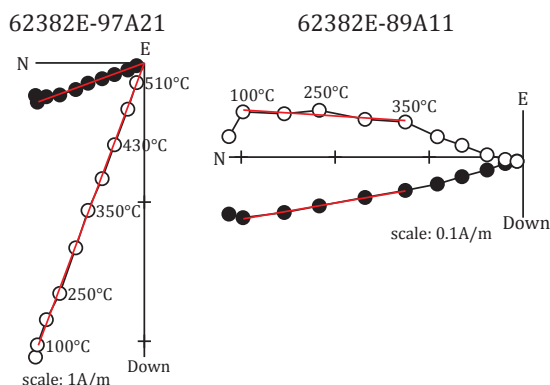


Figure 33 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement du fourneau 22. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62382E-81A11	2,4E+00	4,0E-03	250 - 510	PCA	ChRM	7	329.5	71.5	0.9	1.6	1.043	1.010	1.033	329.1	71.9
62382E-82A12	1,3E-01	2,5E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	356.9	76.1	1.7	1.5	1.080	1.014	1.065	0.0	76.6
62382E-83A21	6,7E-02	3,3E-04	100 - 575	PCA	ChRM	11	350.2	72.5	0.7	-0.2	1.077	1.021	1.055	354.5	73.9
62382E-84A21	1,1E-01	2,3E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	347.1	73.8	0.6	2.5	1.076	1.021	1.054	347.4	75.5
62382E-85A21	6,6E+00	1,0E-02	100 - 470	PCA	ChRM	8	352.3	71.7	0.6	-1.2	1.142	1.109	1.030	343.7	73.4
62382E-86A11	5,9E+00	8,9E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	355.4	75.0	1.0	1.0	1.100	1.027	1.072	359.7	74.5
62382E-87A21	1,0E+00	3,0E-03	170 - 430	PCA	ChRM	6	352.3	78.0	0.9	-3.7	1.042	1.034	1.007	356.1	77.5
62382E-88A11	6,5E-01	3,8E-03	100 - 550	PCA	ChRM	10	354.1	72.0	0.9	-2.4	1.114	1.017	1.095	1.1	73.6
62382E-89A11	3,2E-01	2,1E-03	100 - 350	PCA	II ^{re}	5	350.3	-3.7	2.5	-3.7					
62382E-90A21	4,8E-01	1,8E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	5.0	72.6	0.9	-0.3	1.062	1.028	1.033	9.1	73.7
62382E-91A21	2,8E-01	1,1E-03	100 - 550	PCA	ChRM	10	359.3	68.5	0.9	0.6	1.057	1.011	1.045	0.6	69.6
62382E-92A21	1,1E-01	3,0E-04	100 - 680	PCA	ChRM	15	8.5	63.6	1.0	2.2	1.070	1.030	1.039	9.2	64.7
62382E-93A11	1,1E+00	1,6E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	353.4	69.0	0.8	6.1	1.260	1.107	1.139	9.7	71.8
62382E-94A12	2,3E-01	5,8E-04	250 - 510	PCA	ChRM	7	17.9	70.8	1.3	1.2	1.072	1.020	1.051	21.0	71.1
62382E-95A11	8,9E-01	1,6E-03	100 - 430	PCA	ChRM	7	356.8	69.1	0.6	-1.0	1.032	1.005	1.026	354.7	68.9
62382E-96A11	2,0E+00	2,1E-03	100 - 545	PCA	ChRM	10	4.8	73.1	1.1	-2.8	1.197	1.081	1.107	16.2	72.0
62382E-97A21	2,3E+00	2,6E-03	100 - 510	PCA	ChRM	9	339.9	68.2	0.4	-3.2	1.167	1.035	1.127	349.5	69.0
62382E-98A11	8,5E-01	1,2E-03	100 - 545	PCA	ChRM	10	338.2	68.1	1.1	-12.0					
62382E-99A21	1,5E+00	2,6E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	338.6	67.9	0.7	0.1	1.123	1.032	1.088	341.6	68.3
62382E-100A11	7,2E-01	1,0E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	335.7	67.6	0.8	-4.4	1.150	1.050	1.095	343.8	68.1
62382E-101A31	6,7E-01	2,1E-03	100 - 575	PCA	ChRM	11	335.5	68.8	0.8	-2.3	1.124	1.066	1.054	340.1	68.6
62382E-102A12	6,9E+00	5,6E-03	100 - 470	PCA	ChRM	8	29.3	75.0	0.9	-0.5	1.100	1.045	1.053	33.9	73.4
62382E-103A32	3,6E-01	4,4E-04	100 - 685	PCA	ChRM	16	23.3	74.2	0.7	-1.4	1.037	1.019	1.017	25.4	74.7

Tableau 11 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le fourneau 22

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ;

Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Neuf spécimens (sur onze) respectent les critères définis donnent d'excellents résultats (Tableau 12 et Figure 34) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement rigoureusement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les deux autres échantillons (98A21 et 100A12) sont rejetés, car leur diagramme ARN-ATR a une forme convexe. On observe une bonne cohérence entre l'acceptation ou le rejet des échantillons avec la réversibilité des courbes thermomagnétiques.

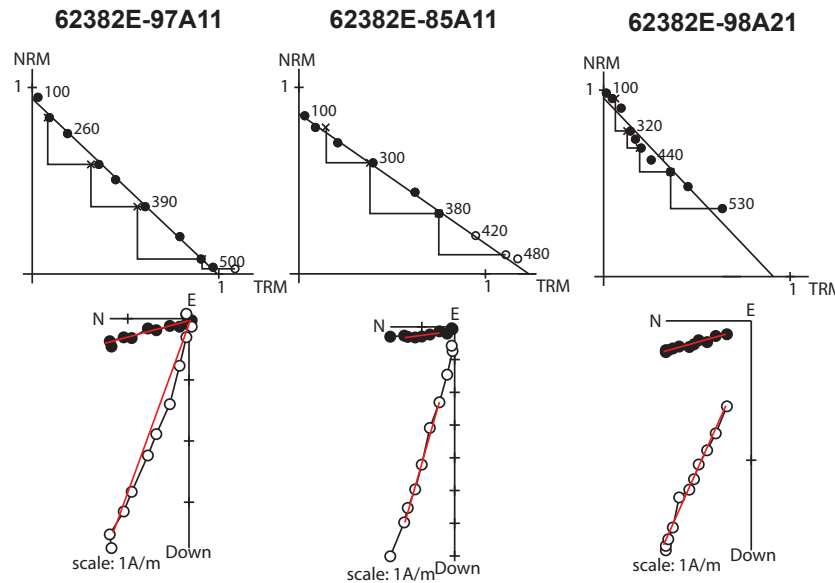


Figure 34 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens à gauche et au milieu sont acceptés par leur linéarité du diagramme ARN-ATR et l'absence de déviation de la direction d'ARN. Pour 85A11, l'archéointensité est calculée entre 100 et 380°C, car une légère déviation de la direction est remarquée après ce seuil de température. A cause de son diagramme ARN-ATR convexe, le spécimen à droite est rejeté. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie					Vitesse de refroidissement				
														Dérive (%)	K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)	$F_a \pm$ std (μ T)	%corr	%evol	$F_{a+c} \pm$ std (μ T)
62382E-81A31	1,1E+01	1,1E+03	170 - 520	9	322.9	72.0	54.0 \pm 1.9	3.2	1.6	0.88	0.84	20.5	0.036	-6.8	1.083	1.041	1.040	319.9	71.4	57.9 \pm 2.1	-3.4	-4.5	
62382E-85A11	7,3E+00	1,1E+03	100 - 380	6	346.8	75.7	48.8 \pm 1.6	2.0	2.3	0.60	0.77	14.4	0.032	-2.7	1.069	1.054	1.014	345.0	76.3	52.0 \pm 1.7	0.7	-2.4	
62382E-93A21	2,1E+00	3,3E+02	100 - 470	8	350.8	75.1	75.7 \pm 2.3	2.6	1.2	0.85	0.83	23.0	0.031	8.2	1.059	1.011	1.048	350.1	74.7	74.0 \pm 2.3	10.3	4.7	66.4 \pm 2.1
62382E-94A11	6,7E+00	8,5E+02	100 - 380	6	22.7	73.1	57.2 \pm 1.2	2.5	2.2	0.60	0.77	22.3	0.021	-2.0	1.111	1.054	1.055	29.5	72.8	60.9 \pm 1.3	2.3	-1.4	59.5 \pm 1.2
62382E-95A21	1,6E+00	2,5E+02	100 - 480	9	352.0	71.0	60.8 \pm 0.8	1.2	1.2	0.90	0.75	53.4	0.013	-2.0	1.088	1.061	1.025	355.7	69.8	62.4 \pm 0.8	0.6	0.2	62.0 \pm 0.8
62382E-97A11	4,0E+00	3,8E+02	100 - 500	9	343.0	71.0	66.3 \pm 1.4	2.7	2.8	0.96	0.86	40.1	0.021	5.7	1.154	1.030	1.121	350.2	72.4	65.7 \pm 1.3	7.4	3.5	60.8 \pm 1.3
62382E-98A21	1,8E+00	1,5E+02	100 - 530	10	339.1	68.3	73.7 \pm 6.2	3.0	3.8	0.66	0.85	6.8	0.085	-3.4	1.194	1.068	1.118	337.4	70.9	86.2 \pm 7.3	3.9	-1.8	82.8 \pm 7.0
62382E-99A11	2,9E+00	3,9E+02	100 - 380	6	326.9	66.1	67.4 \pm 1.5	1.7	4.4	0.59	0.77	20.2	0.023	-7.6	1.223	1.053	1.161	328.5	69.0	67.5 \pm 1.5	1.2	-2.1	
62382E-100A12	7,8E-01	8,8E+01	100 - 530	10	340.8	67.7	83.7 \pm 5.7	3.8	3.2	0.75	0.87	9.5	0.068	-0.2	1.101	1.084	1.015	340.6	68.3	90.6 \pm 6.2	6.1	-2.2	85.1 \pm 5.8
62382E-101A11	2,8E+00	3,4E+02	100 - 500	9	336.1	67.2	77.2 \pm 1.3	2.6	3.2	0.94	0.86	47.6	0.017	6.7	1.102	1.023	1.077	340.1	68.2	79.9 \pm 1.4	12.7	-4.0	69.8 \pm 1.2
62382E-102A11	6,7E+00	5,8E+02	100 - 420	7	6.4	79.7	60.7 \pm 2.6	1.8	0.4	0.62	0.78	11.3	0.043	-3.7	1.151	1.033	1.114	27.0	79.2	58.2 \pm 2.5	0.3	-2.6	

Tableau 12 : Résultats d'archéointensités pour le fourneau 22

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ;

tel-00738129, version 1 - 3 Oct 2012

Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie variable avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 4 et 26% (Tableau 11). La correction d'anisotropie a très peu d'effet sur la dispersion des directions d'aimantation (Tableau 13), mais regroupe significativement les archéointensités. A propos de l'effet de la vitesse de refroidissement, la différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures varie entre 0 et 10% (Tableau 12). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée si elle est inférieure à l'évolution et regroupe considérablement les archéointensités (Tableau 13).

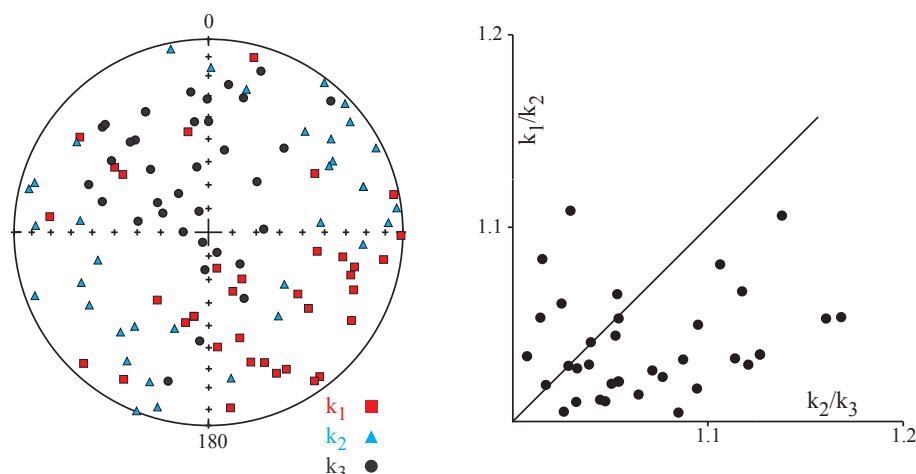


Figure 35 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le fourneau 22.

Résultats

La répartition des directions d'aimantation est présentée sur la Figure 36. L'absence de relation claire entre le position du prélèvement et sa direction d'aimantation ne permet pas d'expliquer la dispersion des directions d'aimantation par des mouvements post-cuisson des parois. Tous les échantillons (sauf 89A11) sont utilisés pour le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 13). L'archéointensité moyenne, calculée pour les neuf spécimens acceptés, est pondérée par le nombre d'échantillons et le facteur de qualité (Prévôt, 1985).

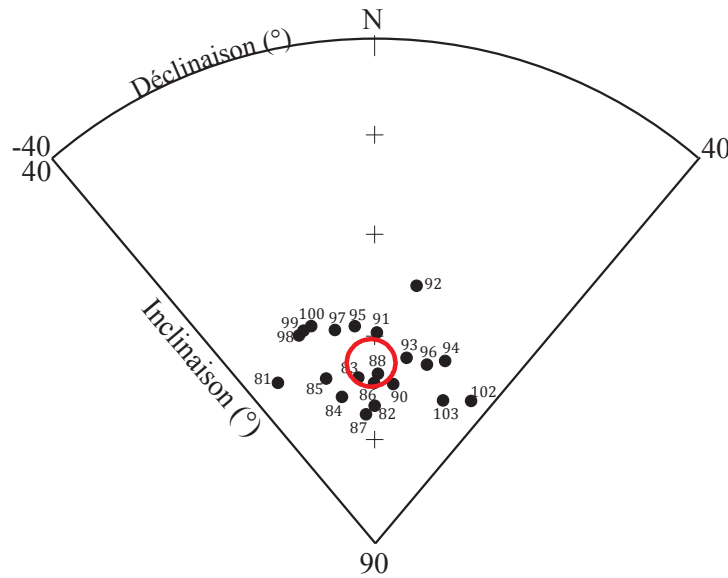


Figure 36 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 22.

Moyennes sans correction

$D = -6.3^\circ$ $I = 71.9^\circ$ $N=22, n=22$ $k=183$ $\alpha_{95} = 2.3^\circ$
 $F = 64.7 \pm 9.5 \mu T$ $N=9, n=9$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -1.3^\circ$ $I = 72.6^\circ$ $N=21, n=21$ $k=187$ $\alpha_{95} = 2.3^\circ$
 $F = 66.0 \pm 8.6 \mu T$ $N=9, n=9$

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

$F = 62.6 \pm 5.6 \mu T$ $N=9, n=9$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -1.2 \pm 7.3^\circ$ $I_p = 71.6 \pm 2.3^\circ$ $F_p = 61.9 \pm 5.6 \mu T$
 $VDM = 9.1 \cdot 10^{22} A.m^2$ $VADM = 9.7 \cdot 10^{22} A.m^2$

Tableau 13 : Archéodirection et archéointensité moyennes du fourneau 22 (62382E)

Synthèse

La Figure 37 présente les directions d'aimantation moyennes des cinq fourneaux de Gouy-Saint-André. En raison de la dispersion importante des moyennes pour chacun des foyers, la variation séculaire n'est pas évidente. La comparaison avec la stratigraphie du fourneau 62832B au fourneau 62382E met peut-être en évidence une diminution puis une augmentation de l'inclinaison entre le IV^{ème} et le II^{ème} siècles av. J.-C.

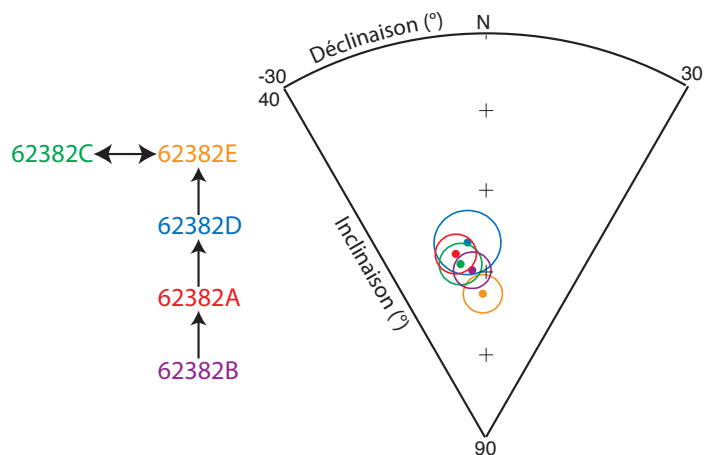


Figure 37 : Diagramme stéréographique des cinq directions d'aimantation moyennes des fourneaux de Gouy-Saint-André et comparaison avec la stratigraphie.

Bibliographie

Masse, A., (dir.), Tachet, N., Chombart, J., Delage, M. & Meurisse-Fort, M., 2011. *Gouy-Saint-André « le Rossignol », Rapport final d'opération de fouille archéologique*, Dainville, Centre départemental d'archéologie, Pas-de-Calais, 232 p.

Prilaux, G., 2000. *La production du sel à l'Age du Fer, contribution à l'établissement d'une typologie à partir des exemples de l'autoroute A16*, Eds Monique Mergoil, AFAN, Coll. Protohistoire européenne, vol 5, 109 p.

Lattes, Saint Sauveur

Code archéomagnétique: 34129A, 34129B, 34129C, 34129D, 34129E, 34129F et 34129G

Le site de Lattes, *Lattara*

Les opérations archéologiques programmées ou préventives montrent une occupation dense du territoire de Lattes, l'antique *Lattara* à l'âge du Fer. Le principal site est l'agglomération portuaire de Saint Sauveur, découvert et étudié dans les années 60 et 70 par Henri Prades et le Groupe Archéologique Painlevé et qui a ensuite fait l'objet de fouilles programmées quasi continuellement depuis 1983 par l'UMR5140 du CNRS.

L'agglomération antique, d'une surface d'environ 3 hectares, était alors située sur une presqu'île à l'embouchure du Lez. Dans l'état actuel de la recherche, sa fondation se place à la fin du VI^{ème} siècle av. J.-C. avec notamment la construction d'un rempart en pierre. Son architecture, ainsi que le mobilier céramique (amphores, *bucchero nero*, graffites), indique la présence d'étrusques sur le site à cette époque (Lebeaupin et Séjalon, 2008). Après l'incendie de cette première agglomération vers 475 av. J.-C., la ville est rapidement reconstruite et acquière progressivement une trame urbaine organisée à la fin du V^{ème} siècle et au IV^{ème} siècle av. J.-C. Le plan en lanières des rues (Figure 1) et les techniques de construction en adobes place montre que *Lattara* est une agglomération indigène. Les contacts commerciaux s'effectuent désormais non plus avec les étrusques, mais avec les grecs, très probablement sous l'influence de *Massalia* (Dietler *et al.*, 2008b). Aux III^{ème} et II^{ème} siècles, une nouvelle phase d'expansion et de développement économique est attestée, notamment par la construction de grandes maisons à cour (Dietler *et al.*, 2008a). La zone 54 (Figure 1), où est localisé le foyer prélevé pour l'archéomagnétisme, est une de ces maisons à cour (Cf *infra*). Durant cette période, *Lattara* apparaît comme une agglomération indigène majeure du Languedoc. Ensuite, les niveaux datés de l'époque romaine, moins bien conservés, montrent une perte d'importance progressive de la ville, intégrée à partir d'Auguste dans la cité des Volques Arécomiques. *Lattara* semble abandonnée au III^{ème} siècle av. J.-C.

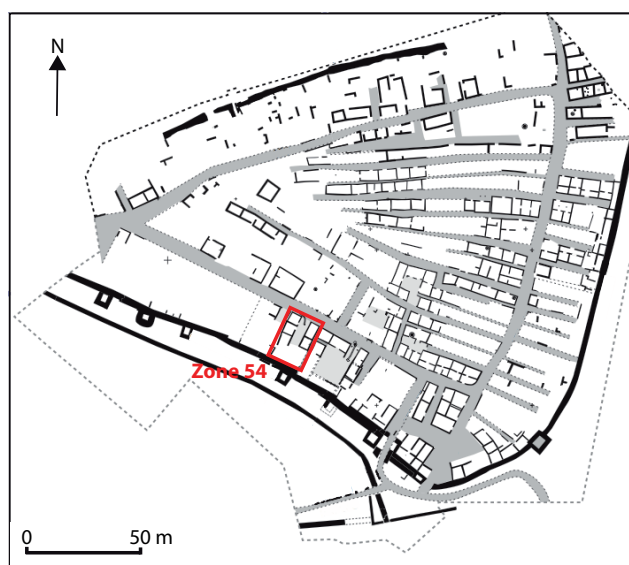


Figure 1 : Plan général de Lattara (structures préaugustéennes) avec localisation de la zone 54. (d'après Py, 2008, Fig. 89, page 126)

Outre les énormes apports méthodologiques en archéologie (Syslat, Py 1997 ; Dicocer, Py (Dir) 1993), l'étude du site de Lattes permet ainsi d'approcher l'évolution d'une ville protohistorique indigène du VI^{ème} siècle av. J.-C. à son intégration dans le monde romain, notamment les contacts avec les commerçants méditerranéens et l'appropriation progressive de leurs innovations (Dietler *et al.*, 2008b, Py 2009).

A) Analyse du foyer 54567 (34129A)

Contexte archéologique du foyer étudié (FY54567)

Le foyer 54567 est situé dans la zone 54 (Latitude 43,565N ; Longitude 3,907E), qui est caractérisée par une grande maison à cour du III^{ème} siècle av. J.-C., la maison 54101. En cours de fouilles depuis 2004, la maison est située au sud-est de la ville (Figure 2) entre le rempart et la rue 116, un des axes de circulation majeure du site. Elle est accolée à une autre maison contemporaine de plus grande taille (52101), également en cours de fouille. Ces maisons à cour, construites avec les méthodes traditionnelles en terre crue sur solins en pierre, montre l'appropriation par les indigènes du modèle de la maison à cour hellénistique (Dietler *et al.*, 2008a ; Moya i Garra et Munos, 2008).

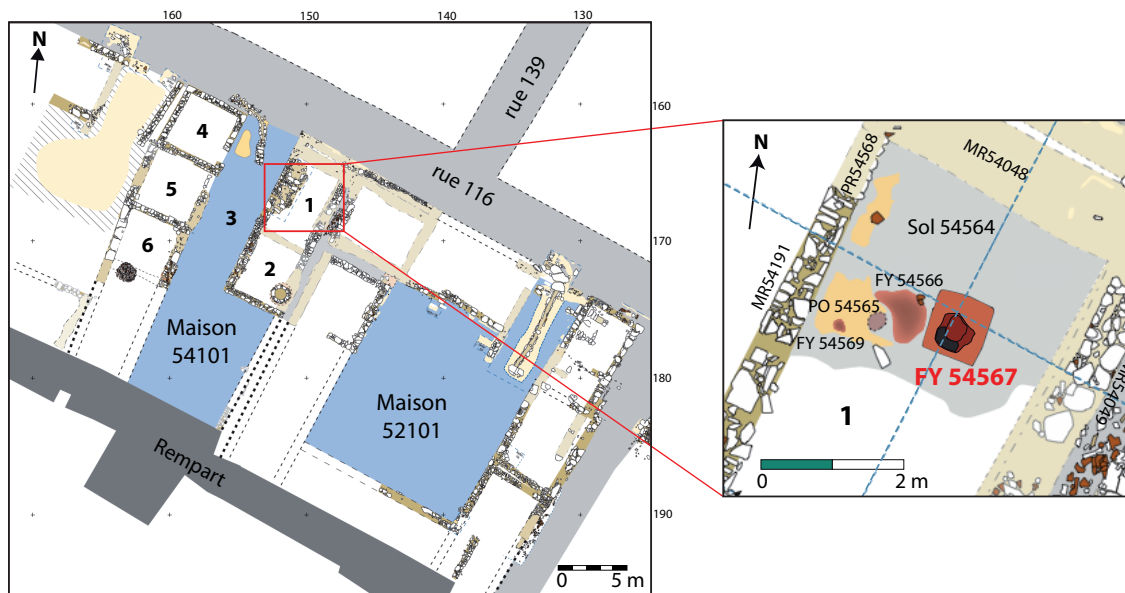


Figure 2 : Plan des zones 52 et 54 et plan détaillé de la pièce 1 de la maison 54101 (état du début du III^{ème} siècle av. J.-C.), où est situé le foyer 54567 prélevé pour l'archéomagnétisme. (d'après Moya i Garra et Munos, 2008)

La maison 54101 a une surface d'environ 300 m² (Figure 2) et s'organise en 5 pièces (1, 2, 4, 5 et 6) autour d'une cour (3). Le foyer 54567 est situé dans la pièce 1. La fouille minutieuse de cette pièce a mis en évidence l'évolution de la fonction de cette pièce. Dans son état le plus récent durant la première moitié du II^{ème} siècle av. J.-C., la pièce était dévolue au stockage des denrées attesté par des fosses à *dolium*. Au III^{ème} siècle, la pièce semble avoir une utilisation en tant que pièce d'habitat avec la présence d'un sol soigneusement aménagé (54564) et de foyers, notamment le foyer décoré 54567 (Moya i Garra et Munos, 2008).

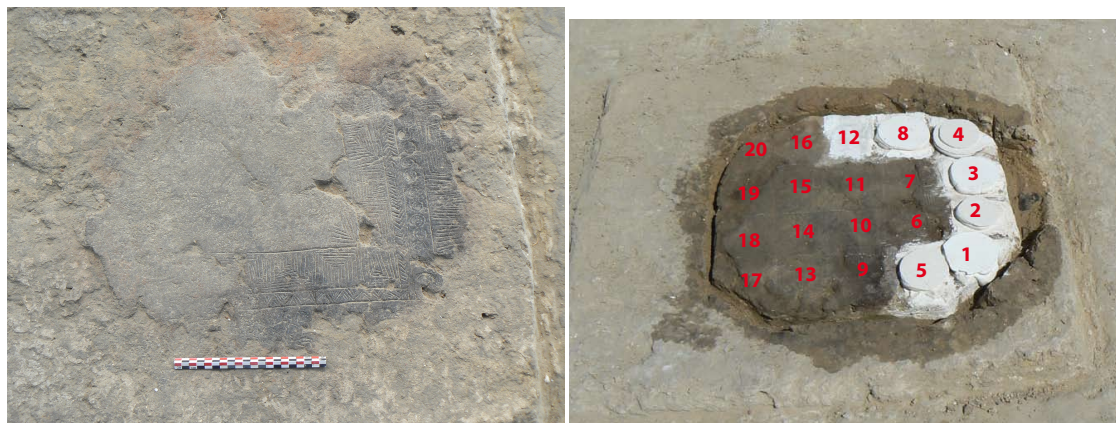


Figure 3 : Photographie du foyer 54567 avant et pendant le prélèvement (vues prise de l'ouest).

Situé au centre de la pièce, le foyer 54567 a un plan rectangulaire de 90 cm sur 75 cm. Il est constitué d'une couche d'argile d'environ 5 cm d'épaisseur construite sur un niveau de tessons. La sole du foyer, très indurée, montre une chauffe importante. La sole présente un décor de motifs incisés en frise, conservé uniquement dans le coin sud-ouest (Figure 3). Ce type de décors est très courant à Lattes, particulièrement au IV^{ème} siècle av. J.-C. (Roux et Raux, 1996). Le fonctionnement du foyer 54567 est daté par le mobilier de la première moitié du III^{ème} siècle av. J.-C. c'est-à-dire dans l'intervalle [-300 ; -250]. Ce foyer est donc le foyer décoré le plus récent actuellement découvert sur le site (Moya i Garra et Munos 2008).

Prélèvement archéomagnétique

Vingt prélèvements (Les prélèvements 1 et 2 ont été perdus par la suite) ont été réalisés sur la sole du foyer (Figure 3) par Elisabeth Schnepf et Gwenaël Hervé le 10 juillet 2009. Tous les prélèvements ont été orientés à la boussole et à l'équerre solaire. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C puis lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour quatre échantillons.

Les désaimantations thermique et par champ alternatif ont été appliquées à respectivement 18 et 16 échantillons. Les chauffes de 100 à 555°C ont été effectuées sur le four MMTD et les désaimantations par champ alternatif au magnétomètre 2G. Pour les échantillons désaimantés thermiquement, le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé à 400°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à treize échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Entre sept et dix chauffes ont été réalisées entre 100 et 530°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 470 ou 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,8°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures).

Minéralogie magnétique

L'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.01 et 0.3 A/m et la susceptibilité en champ faible entre 13 et 86 10^{-5} SI (Figure 4a). Les rapports de Koenigsberger correspondants sont compris entre 0.4 et 4.3. Ces faibles valeurs, homogènes à l'échelle de la structure, indiqueraient une chauffe d'intensité moyenne. Les échantillons les plus faiblement aimantés (3, 4, 17 et 20) sont situés aux extrémités du foyer. Les températures de déblocage sont plutôt faibles avec des Median Demagnetizing Temperatures entre 180 et 300°C (Figure 4b).

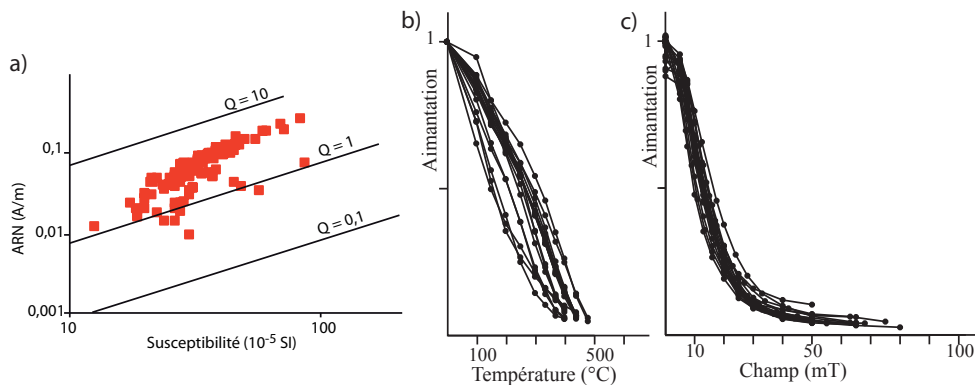


Figure 4 : distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer de Lattes, Saint Sauveur. Trois isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

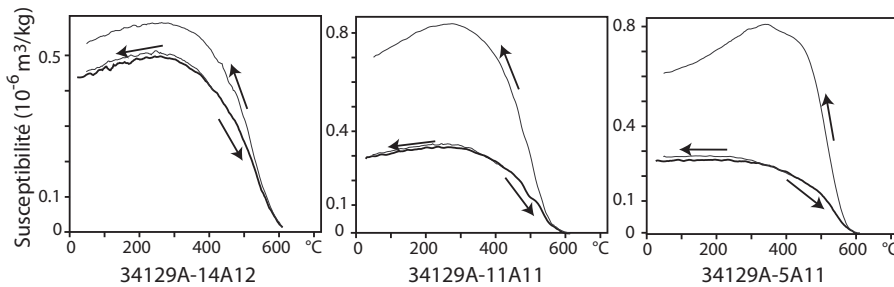


Figure 5 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

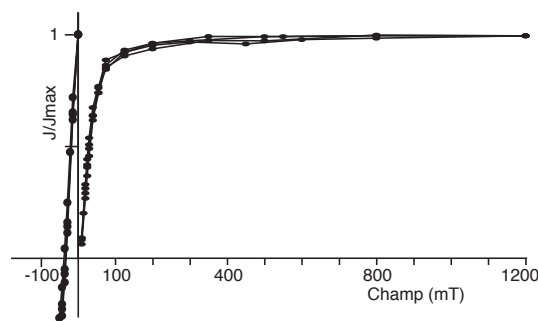


Figure 6 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour quatre échantillons du foyer de Lattes, Saint Sauveur (5A12, 15A14, 16A11, 18A14). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 26, 22, 24 et 23 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 3.8, 2.1, 2.7 et 2.1 A/m.

Les courbes thermomagnétiques (Figure 5), les Median Demagnetizing Field homogènes (entre 9 et 30 mT, Figure 4c) et les acquisitions d'ARI (Figure 6) illustrent l'homogénéité de la

minéralogie à l'échelle du foyer. La saturation des courbes d'acquisition d'ARI montrent l'absence de phases ferromagnétiques de forte coercivité. Les faibles Hcr et les points de Curie entre 540 et 560°C indiquent que l'aimantation est portée par une titanomagnétite pauvre en titane.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

La majorité des spécimens ne porte qu'une seule composante d'aimantation acquise lors de la dernière chauffe du four (Figure 7). Les échantillons, appartenant aux prélèvements 5, 8, 9, 13, 16, 17 et 20 présentent deux composantes d'aimantation. Comme tous ces prélèvements sont situés en bordure du foyer (Figure 3), l'existence de deux composantes d'aimantation est interprétée comme une chauffe insuffisante du foyer. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le tableau 1. Aucune variation de la direction d'aimantation en fonction de la position dans le foyer ne semble observée.

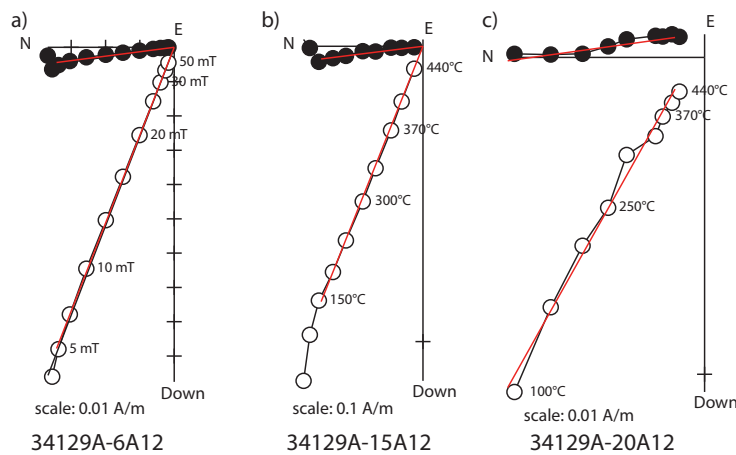


Figure 7 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés par champ alternatif (a) et thermiquement (b et c). Le spécimen (b) porte une seule composante d'aimantation, alors que le spécimen (c) en porte deux. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

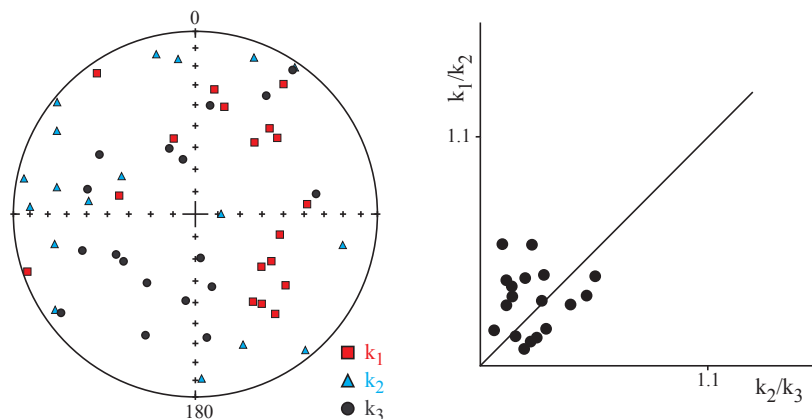


Figure 8 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Annexe 3 : Etude des sites français, Lattes Saint-Sauveur

Les échantillons présentent une faible anisotropie avec des pourcentages d'anisotropie en général de l'ordre de seulement 5% (Tableau 1). Aucune tendance de fabrique ne se devine à l'échelle de la structure (Figure 8). Comme la correction d'anisotropie n'a pas d'effet sur la direction, il a été décidé de ne pas l'appliquer.

Résultats de direction

Les résultats des échantillons désaimantés thermiquement et par champ alternatif sont présentés Tableau 1. La Figure 9 montre la distribution de la direction moyenne par prélèvement. Le regroupement des directions d'aimantation est très bon (facteur k égal à 1711). Les prélèvements 4 et 20 ne sont pris en compte pour le calcul de la direction moyenne, car ils présentent une direction hors-tendance. Les valeurs moyennes obtenues sont, $I = 67.7 \pm 0.9^\circ$ et $D = -2.9 \pm 2.8^\circ$ (Tableau 3).

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	Origine	n	D(°)	I (°)	Mad (°)	Anisotropie						
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
34129A-3A12	5,4E-02	2,6E-04	AF	5 - 55	o	10	3.7	69.1	0.6						
34129A-3B11	6,9E-02	3,0E-04	Th	100 - 400	o	8	4.1	62.9	1.1	-3.2	1.059	1.038	1.020	1.5	62.6
34129A-4A12	2,5E-02	2,9E-04	Th	100 - 400	o	8	359.4	60.5	1.5	-3.9	1.022	1.016	1.006	359.1	60.8
34129A-4A13	1,8E-02	2,3E-04	AF	7.5 - 50	o	9	2.6	62.3	1.3						
34129A-5A13	3,8E-02	2,6E-04	Th	100 - 400	o	8	1.8	69.1	1.5	-2.4	1.068	1.027	1.040	359.8	70.9
34129A-6A12	1,0E-01	4,0E-04	AF	5 - 50	o	10	354.2	68.5	0.5						
34129A-6A13	1,5E-01	5,5E-04	Th	150 - 480	o	9	352.9	66.2	1.5	-3.5	1.027	1.007	1.020	354.6	66.5
34129A-7A11	1,0E-01	4,4E-04	AF	7.5 - 50	o	9	0.7	67.0	0.4						
34129A-7A12	9,9E-02	4,0E-04	Th	150 - 440	o	8	359.7	67.2	1.1	-4.5	1.033	1.011	1.022	1.9	67.5
34129A-8A11	6,3E-02	3,9E-04	Th	100 - 400	o	8	359.5	67.2	1.5	-4.8	1.064	1.053	1.010	3.2	67.8
34129A-8B13	3,7E-02	3,1E-04	AF	5 - 50	o	10	352.5	67.9	1.9						
34129A-9A13	2,4E-02	1,8E-04	AF	5 - 50	o	10	5.5	70.9	1.0						
34129A-9A14	4,3E-02	2,1E-04	Th	100 - 400	o	8	1.3	65.2	1.3	-0.9	1.029	1.013	1.016	0.4	65.5
34129A-10A12	1,0E-01	3,8E-04	Th	100 - 440	o	9	359.0	66.8	1.5	-6.2	1.050	1.038	1.012	1.6	66.3
34129A-10A13	9,0E-02	3,4E-04	AF	5 - 50	o	10	355.5	64.8	0.7						
34129A-11A13	9,6E-02	4,1E-04	Th	100 - 440	o	9	353.7	67.9	1.5	-2.6	1.038	1.012	1.025	355.2	68.8
34129A-11A14	8,7E-02	3,8E-04	AF	5 - 50	o	10	357.5	70.0	0.5						
34129A-12A11	1,9E-01	5,9E-04	AF	5 - 65	o	12	356.7	67.4	0.2						
34129A-12A14	1,3E-01	4,6E-04	Th	100 - 440	o	9	359.8	68.9	1.3	-4.2	1.045	1.030	1.014	359.2	69.6
34129A-13A13	4,9E-02	2,1E-04	Th	100 - 400	o	8	353.0	67.0	1.2	-2.9	1.092	1.039	1.051	352.3	69.1
34129A-13A14	5,2E-02	2,8E-04	AF	5 - 63	o	12	352.5	68.2	1.3						
34129A-14A11	5,0E-02	2,5E-04	AF	9.5 - 65	o	11	359.8	68.8	0.6						
34129A-14A14	1,6E-01	4,6E-04	Th	100 - 480	o	10	358.7	67.8	0.9	-5.3	1.077	1.053	1.023	1.3	69.4
34129A-15A12	1,2E-01	4,1E-04	Th	150 - 440	o	8	352.4	68.1	0.7	-1.2	1.079	1.031	1.047	349.6	69.2
34129A-15A14	9,8E-02	4,1E-04	AF	5 - 50	o	10	348.3	68.0	1.2						
34129A-16A11	1,1E-01	4,3E-04	AF	7.5 - 44	o	10	349.3	69.5	0.7						
34129A-16A13	1,2E-01	4,1E-04	Th	150 - 440	o	8	354.2	67.2	1.4	-3.6	1.039	1.027	1.012	356.0	67.7
34129A-17A11	3,0E-02	2,1E-04	AF	10 - 75	o	12	3.9	66.7	1.3						
34129A-17A12	5,0E-02	2,8E-04	Th	100 - 400	o	8	1.1	68.2	1.4	-0.3	1.046	1.016	1.029	3.3	68.9
34129A-18A11	7,2E-02	2,8E-04	Th	150 - 440	o	8	357.5	68.9	0.9	-3.9	1.049	1.035	1.014	354.4	69.0
34129A-18A14	8,3E-02	3,3E-04	AF	7.5 - 65	o	11	355.7	67.8	0.7						
34129A-19A12	7,0E-02	3,1E-04	Th	100 - 440	o	9	354.4	67.9	1.4	-4.4	1.057	1.029	1.027	350.9	67.2
34129A-19A13	6,2E-02	3,3E-04	AF	7.5 - 68	o	12	343.1	66.6	0.5						
34129A-20A12	1,9E-02	2,8E-04	Th	100 - 440	o	9	352.1	60.5	3.2	-0.9	1.069	1.040	1.028	349.9	60.8

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF); températures entre lesquelles est déterminée la direction ; la composante est une ChRM (o) ou non (présence de plusieurs composantes d'aimantation) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

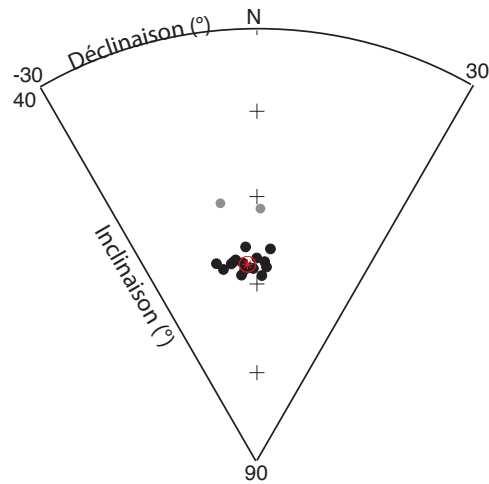


Figure 9 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement. Les prélèvements 4 et 20 (en grisé) ne sont pas pris en compte dans le calcul de la direction moyenne.

Protocole de Thellier-Thellier

Les treize échantillons ont été sélectionnés en fonction du nombre de composantes de leurs spécimens frères et de leur intensité d'aimantation. L'estimation de l'archéointensité n'a pu être réalisée pour deux échantillons (Figure 10 à droite) en raison de la forte convexité du diagramme ARN-ATR et de la très forte déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire. Pour les autres échantillons (Tableau 2), des évolutions minéralogiques apparaissent entre 350 et 400°C. L'évolution se manifeste d'abord par une déviation de la direction d'ARN, puis par un bouclage négatif (Différence entre les deux ATR supérieure à 10%). Par conséquent, l'archéointensité a été calculée sur l'intervalle de température, sur lequel aucune déviation significative de la direction d'ARN n'est observée. Trois échantillons seulement (Figure 10 à gauche) respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$) par la linéarité de leur diagramme ARN-ATR. Les autres échantillons sont rejetés en raison d'une légère convexité de leur diagramme ARN-ATR. Une assez bonne corrélation est observée entre les résultats d'archéointensité et la réversibilité des courbes thermomagnétiques après les chauffes à 400 et 600°C.

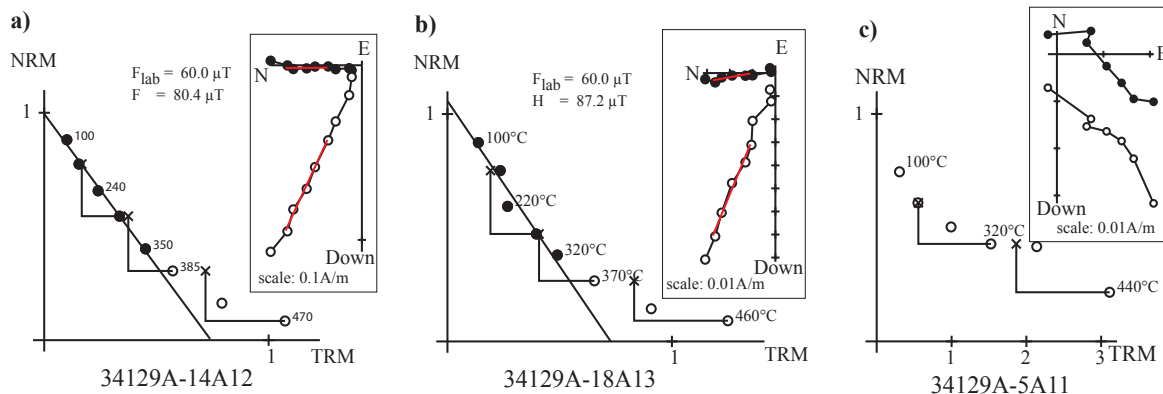


Figure 10 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. a) échantillon accepté, b) échantillon rejeté pour cause de β élevé, c) échantillon rejeté pour cause de grande déviation de la direction de l'ARN. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Annexe 3 : Etude des sites français, Lattes Saint-Sauveur

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures est assez élevée avec des valeurs entre 5 et 15%. La correction de vitesse de refroidissement peut être appliquée pour l'ensemble des échantillons sauf l'échantillon 7A14 pour lequel l'évolution est supérieure à 10% (Tableau 2). L'application de la correction de vitesse de refroidissement réduit considérablement la dispersion entre les archéointensités. L'archéointensité moyenne est estimée avec les trois échantillons acceptés (13A15, 14A12 et 16A12) corrigées de la vitesse de refroidissement (Tableau 3).

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Vitesse de refroidissement		
														%corr	%evol	F _c \pm std (μ T)
34129A-3B14	1,0E-01	3,6E-04	Th - Th 100 - 370	6	0.0	67.6	86.0 \pm 6.0	3.8	1.7	0.61	0.79	7.0	0.069	15.0	3.2	73.1 \pm 5.1
34129A-6A11	1,9E-01	6,1E-04	Th - Th 100 - 350	5	351.1	64.8	77.6 \pm 5.1	3.7	2.4	0.42	0.74	4.8	0.065	9.1	4.6	70.5 \pm 4.5
34129A-7A14	9,4E-02	3,3E-04	Th - Th 100 - 350	5	354.1	65.5	72.6 \pm 4.6	3.0	1.5	0.49	0.74	5.7	0.064	16.0	10.3	
34129A-11A11	2,0E-01	7,1E-04	Th - Th 100 - 370	6	0.2	64.9	82.9 \pm 3.6	6.4	3.8	0.50	0.80	9.1	0.044	11.7	1.8	73.2 \pm 3.2
34129A-12A12	2,8E-01	8,4E-04	Th - Th 100 - 385	6	356.8	67.3	77.8 \pm 5.0	3.5	4.3	0.54	0.80	6.6	0.065	8.2	4.6	71.4 \pm 4.6
34129A-13A15	7,0E-02	2,8E-04	Th - Th 100 - 320	4	355.8	66.1	76.8 \pm 3.3	2.2	3.2	0.50	0.66	7.8	0.043	4.1	3.1	73.7 \pm 3.1
34129A-14A12	1,2E-01	3,9E-04	Th - Th 100 - 350	5	358.1	65.2	80.4 \pm 4.0	3.1	0.7	0.48	0.74	7.2	0.049	13.3	7.9	69.7 \pm 3.4
34129A-15A11	1,3E-01	4,3E-04	Th - Th 100 - 370	6	351.9	67.0	88.0 \pm 5.3	4.2	3.1	0.57	0.79	7.6	0.060	12.8	2.3	76.7 \pm 4.6
34129A-16A12	1,5E-01	5,0E-04	Th - Th 100 - 350	5	353.8	67.2	83.7 \pm 2.9	2.5	2.8	0.52	0.75	11.4	0.034	10.5	5.5	74.9 \pm 2.6
34129A-18A13	8,7E-02	3,3E-04	Th - Th 100 - 320	5	354.1	69.3	87.2 \pm 11.4	3.5	2.7	0.48	0.74	2.7	0.131	13.3	2.7	75.6 \pm 9.9
34129A-19A11	5,5E-02	2,8E-04	Th - Th 100 - 320	4	359.5	64.0	63.9 \pm 3.8	3.9	8.1	0.47	0.65	5.1	0.059	5.1	3.3	60.6 \pm 3.6

Tableau 2 : Résultats d'archéointensité

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse :Thellier-Thellier (Th-Th) ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (12 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction de vitesse de refroidissement

Moyennes sans correction

$$D = -2.9^\circ \quad I = 67.7^\circ \quad N=16, n=31 \quad k=1711 \quad \alpha_{95} = 0.9^\circ$$

$$F = 80.3 \pm 3.5 \mu\text{T} \quad N=3, n=3$$

Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)

$$D = -2.4^\circ \quad I = 68.3^\circ \quad N=15, n=15 \quad k=1319 \quad \alpha_{95} = 1.1^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$$F = 72.8 \pm 2.7 \mu\text{T} \quad N=3, n=3$$

A Paris (VGP et VDM)

$$D_p = -2.9 \pm 2.8^\circ \quad I_p = 71.3 \pm 0.9^\circ \quad F_p = 76.6 \pm 2.7 \mu\text{T}$$

$$\text{VDM} = 10.7 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2 \quad \text{VADM} = 11.5 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du foyer 54467 de Lattes, Saint Sauveur

B) Analyse de lots de tessons (34129B à 34129G)

Choix du matériel

Le choix des tessons s'est porté sur des tessons de céramique commune du site de Lattes. La céramique non tournée du Languedoc oriental, à vocation domestique présente en effet l'intérêt d'être cuite sur le site même ou à proximité immédiate. Il est en effet nécessaire de connaître le lieu de l'acquisition de l'aimantation. Le site de Lattes a été choisi pour la bonne connaissance de sa stratigraphie et de sa chronologie, qui permettent d'estimer avec une bonne fiabilité la date de cuisson de la céramique commune. La chronologie du site permet en plus de travailler sur des lots de tessons du V^{ème} au I^{er} siècle av. J.-C. Six unités stratigraphiques (u.s.), riches en mobiliers archéologiques ont été sélectionnées avec Thierry Janin (Cf. Tableau 4). Onze ou douze tessons ont été prélevés pour chacune des u.s. Les tessons sont généralement de couleur grise, ce qui indique une atmosphère de cuisson principalement réductrice. Au laboratoire, les tessons ont été débités en petits spécimens de quelques millimètres de côté.

Numéro d'u.s.	Code	Localisation	Description	NR	Datation	Nb tessons prélevés
27576	34129B	Secteur 1b, année 2002, phase 27H	Remblai	91	-475/-450	11
27345	34129C	Secteur 2, année 1999, phase 27F3	Remblai de limon	1204	-425/-400	12
27346	34129D	Secteur 9, année 1999, phase 27F3	Remblai de limon	799	-425/-400	12
4796	34129E	Secteur 3, année 1992, phase 4sF2	Remblai	627	-375/-350	12
2956	34129F	Secteur 2	Remblai		-100/-75	12
30118	34129G	Secteur 1, année 1999, phase 30E	Remblai de destruction	310	-100/-75	12

Tableau 4 : Liste des u.s. étudiées. NR est le nombre de tessons céramiques et d'amphores de l'u.s.

Analyses Susceptibilité/Température

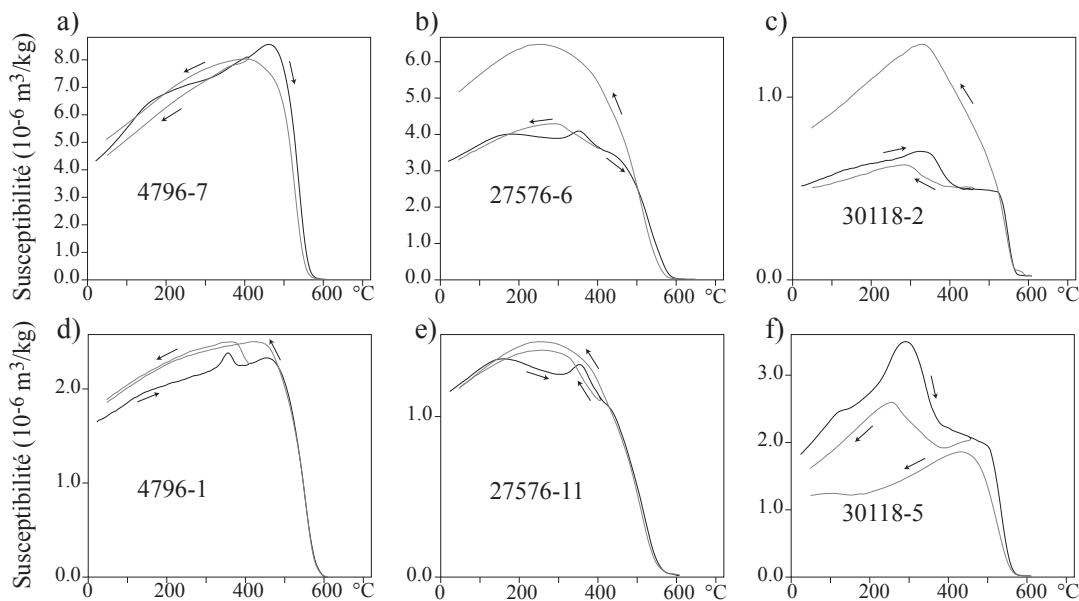


Figure 11 : Evolution de la susceptibilité en fonction de la température. Pour chaque échantillon, l'analyse a été effectuée jusqu'à 400°C puis 600°C. Les variations de la susceptibilité au cours de la chauffe et des refroidissements sont respectivement en noir et en gris.

Quinze fragments de tessons ont été soumis à des analyses de variation de la susceptibilité en fonction de la température. La susceptibilité a été mesurée lors de la chauffe jusqu'à 450°C puis 600°C et lors des refroidissements consécutifs. La quasi-totalité des fragments ne montre pas d'évolutions minéralogiques jusqu'à 450°C (Figure 11). En revanche des évolutions sont attendues au-delà. Les courbes thermomagnétiques montrent également que l'aimantation est portée principalement par une titanomagnétite pauvre en Titane avec des points de Curie entre 550 et 580°C.

Désaimantation thermique

Après mesure de l'aimantation rémanente naturelle (ARN), un échantillon-test de chaque tesson a été soumis à une désaimantation thermique, pour vérifier le nombre de composantes d'aimantation (Tableau 5). La majorité des tessons présentent plusieurs composantes d'aimantation (Tableau 5). La composante primaire est interprétée comme l'aimantation acquise à la cuisson initiale de la céramique. La composante secondaire est probablement acquise en contexte domestique (céramique culinaire). La Figure 11 présente deux exemples caractéristiques d'échantillons avec une et deux composantes d'aimantation. Comme dans le second cas, les résultats du protocole Thellier-Thellier sont plus difficiles à interpréter, le protocole d'archéointensité n'est pas appliqué pour ces tessons.

u.s.	1 composante	Plusieurs composantes
27576	1, 2, 6, 8, 11	3, 4, 5, 7, 9, 10
27345	1, 6, 10, 12	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11
27346	2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12	1, 3, 7, 10
4796	1, 7, 9, 10	2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12
2956	1, 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11	3, 4, 6, 12
30118	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12	4, 9, 10, 11

Tableau 5 : Répartition par u.s. des tessons portant une ou plusieurs composantes d'aimantation

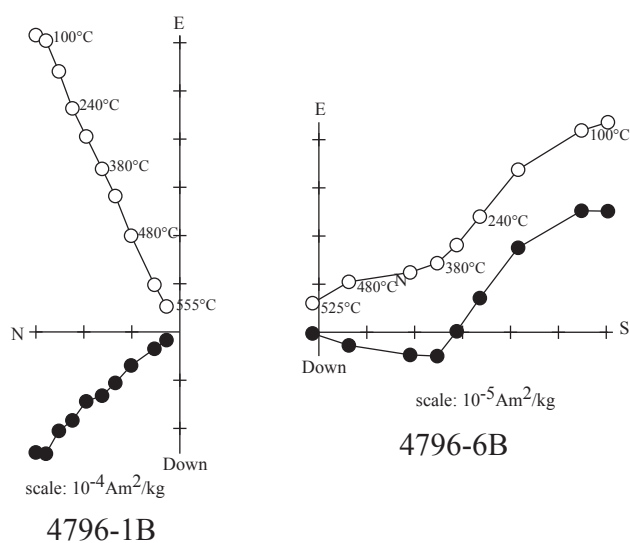


Figure 12 : Exemples de désaimantation thermique (projections orthogonales dites diagrammes de Zijderveld). Les cercles pleins (vides) représentent les projections sur le plan horizontal (vertical). Le tesson de gauche porte une seule composante d'aimantation et le tesson de droite deux composantes d'aimantation.

Résultats d'archéointensité

Le protocole de Thellier-Thellier a été appliqué à 47 spécimens présentant une seule composante d'aimantation. Les expérimentations ont été réalisées dans les fours Ramsès du laboratoire de Rennes, sous air pour 37 échantillons et sous vide pour 10 échantillons. L'intensité du champ magnétique de laboratoire est 60 ou 70 μT . Entre 8 et 13 étapes (de 100 à 610°C) ont été effectuées. Les bouclages sont réalisés toutes les deux étapes. La correction d'anisotropie a été testée pour la quasi-totalité des échantillons. L'archéointensité est corrigée de cet effet, quand la dérive est inférieure à 10%.

La Figure 13 présente des exemples de résultats. L'archéointensité est calculée sur l'intervalle de température, sur lequel les bouclages sont positifs et ne semblent donc pas montrer d'évolutions de la minéralogie magnétique. La majorité des échantillons présente sur cet intervalle une forme convexe du diagramme ARN/ATR associée à une déviation de la direction d'aimantation dans la direction du champ magnétique appliqué au laboratoire (Figure 13f, g et h). Ce comportement est attribué à des évolutions minéralogiques (non détectées par les bouclages), c'est-à-dire à des acquisitions d'aimantation rémanentes chimiques (ARC).

Les critères suivants ont été choisis pour sélectionner les échantillons :

- $\text{MAD} < 5^\circ$ et $\text{DANG} < 5^\circ$. Ces deux paramètres permettent d'éliminer les échantillons présentant une déviation de la direction d'aimantation dans la direction du champ du laboratoire.
- $\beta < 0.05$. Le paramètre β (rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR) quantifie le critère linéaire ou convexe des diagrammes ARN/ATR. Ce critère permet de retenir uniquement le premier cas.
- $f > 0.5$. La fraction d'ARN prise en compte dans le calcul de l'archéointensité doit être importante, pour obtenir une valeur fiable.

Seuls huit échantillons respectent ces critères (Tableau 6 et Figure 13a, b, c et d). Les évolutions minéralogiques, pressenties par les courbes thermomagnétiques pour certains échantillons, sont responsables de ce très faible taux d'acceptation. Aucun tesson des u.s. 27345 et 2956 ne donne de résultats valables. Les u.s. 27576, 4796 et 30118 ont un seul échantillon accepté (corrigé de l'anisotropie). Une archéointensité moyenne ne peut être calculée que pour l'u.s. 27346 avec trois échantillons : $49.3 \pm 4.3 \mu\text{T}$. La moyenne pondérée de Prévôt (pondération par le facteur de qualité q et le nombre d'étapes n , Prévôt 1985) est égale à $49.5 \mu\text{T}$.

En raison de la présence de plusieurs composantes d'aimantation et des évolutions minéralogiques en cours de chauffe, l'étude des tessons s'est avérée beaucoup plus complexe qu'attendue.

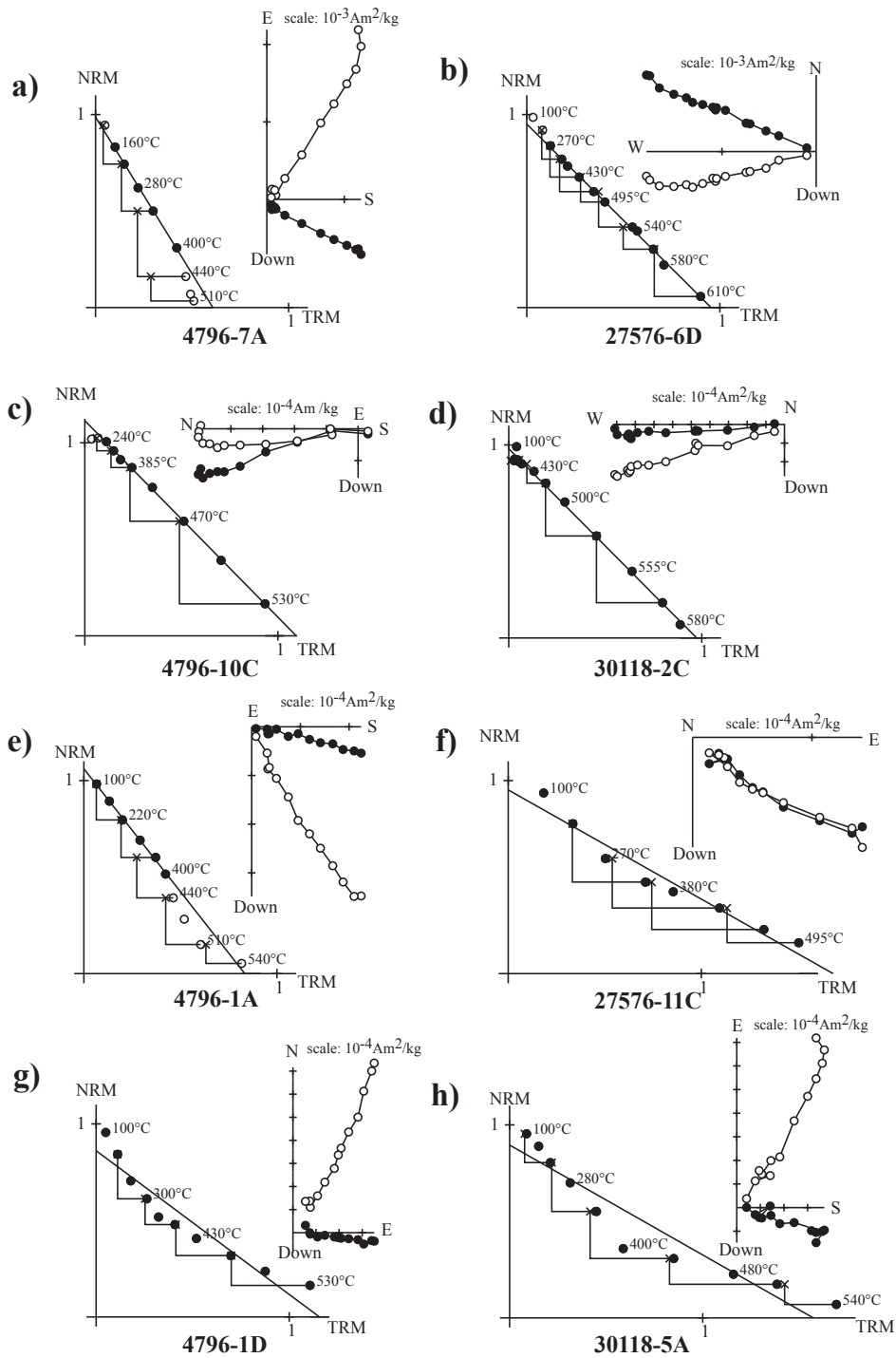


Figure 13 : Résultats d'archéointensité. Pour chacun des échantillons, sont présentés le diagramme ARN/ATR (ou diagramme d'Arai) et le diagramme de Zijderveld correspondant. Les échantillons a/b/c/d respectent les critères d'acceptation fixés. L'échantillon e est rejeté pour cause de facteur f faible. Les échantillons f/g/h sont rejetés pour cause de forme convexe du diagramme ARN-ATR ($\beta > 0.05$).

Annexe 3 : Etude des sites français, Lattes Saint-Sauveur

Ech.	* sous vide		T1 - T2 (°C)	n	F ± std (μT)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie				F _a ± std (μT)
	ARN (A.m ² /kg)	χ (m ² /kg)										Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	
34129B, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 27576																
1D	2.3E-04	1.2E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2D	1.3E-04	2.3E-07	100 - 340	4	52.5 ± 4.1	3.6	23.1	0.22	0.66	1.8	0.079	5.9	1.189	1.031	1.154	48.5 ± 3.7
6D	2.0E-03	2.7E-06	270 - 610	11	69.7 ± 1.0	2.9	1.1	0.82	0.87	49.7	0.014	-6.0	1.255	1.079	1.163	57.2 ± 0.8
8D	9.4E-04	3.2E-06	100 - 580	12	71.0 ± 5.7	3.2	5.7	0.93	0.89	10.4	0.080	-3.5	1.194	1.073	1.114	65.6 ± 5.3
11C	1.9E-04	8.8E-07	100 - 495	8	39.6 ± 3.6	6.8	5.5	0.80	0.85	7.4	0.091	0.2	1.120	1.043	1.074	37.3 ± 3.3
34129C, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 27345																
1C	2.5E-03	4.0E-06	100 - 380	5	87.4 ± 3.1	4.9	9.7	0.44	0.74	9.1	0.035	2.9	1.245	1.049	1.187	76.5 ± 2.7
6C	5.7E-04	1.5E-06	180 - 380	4	95.0 ± 7.7	3.1	5.2	0.39	0.63	3.0	0.082	6.4	1.215	1.038	1.170	82.8 ± 6.4
10C	9.1E-04	2.8E-06	180 - 380	4	55.8 ± 2.4	3.8	15.1	0.39	0.63	5.7	0.043	3.7	1.220	1.068	1.142	47.9 ± 2.1
12B	3.3E-03	4.4E-06	100 - 430	6	86.1 ± 10.7	4.3	3.9	0.59	0.79	3.7	0.124	3.7	1.230	1.042	1.181	74.1 ± 9.2
34129D, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 27346																
2A	6.2E-05	2.4E-07	180 - 430	5	64.0 ± 2.7	2.5	6.8	0.50	0.74	8.6	0.043	2.9	1.090	1.020	1.069	60.9 ± 2.7
4A	2.0E-04	1.2E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5A	9.2E-05	3.1E-07	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6A	2.6E-03	3.9E-06	100 - 430	6	75.1 ± 7.7	7.7	6.3	0.34	0.75	2.5	0.103	-8.2	1.243	1.083	1.147	65.2 ± 6.6
8A	6.6E-04	3.3E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9A	1.2E-03	2.3E-06	270 - 495	6	58.5 ± 2.4	2.1	2.6	0.65	0.72	11.5	0.040	-7.6	1.235	1.049	1.178	51.4 ± 2.1
11A	3.7E-04	1.8E-06	100 - 495	8	58.2 ± 1.2	2.6	1.9	0.73	0.85	30.5	0.020	0.0	1.252	1.052	1.190	52.1 ± 0.9
12A	8.2E-04	2.8E-06	180 - 520	8	48.8 ± 1.4	3.8	0.4	0.68	0.85	20.6	0.028	-1.6	1.180	1.035	1.141	44.3 ± 1.3
34129E, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 4796																
1A*	4.2E-04	8.5E-08	100 - 400	6	76.4 ± 1.9	2.3	6.9	0.43	0.80	13.8	0.025	-20.0	-	-	-	-
1D	8.2E-04	1.5E-06	100 - 530	10	44.7 ± 5.1	3.0	4.1	0.92	0.88	7.0	0.115	-1.8	1.043	1.026	1.017	44.9 ± 5.2
7A*	2.6E-03	3.7E-07	160 - 400	5	97.5 ± 2.0	0.7	4.7	0.53	0.73	18.6	0.021	-21.9	-	-	-	-
7C	1.6E-03	3.3E-06	100 - 350	5	104.7 ± 8.6	3.7	15.2	0.52	0.74	4.7	0.082	3.7	1.194	1.091	1.095	105.0 ± 8.6
9A	2.1E-04	2.9E-08	220 - 540	8	54.4 ± 1.7	2.7	5.0	0.85	0.83	21.8	0.032	-11.8	-	-	-	-
10A*	6.7E-04	9.5E-08	100 - 510	9	123.4 ± 6.9	3.1	0.6	0.84	0.85	12.9	0.056	-18.0	-	-	-	-
10C	5.1E-04	7.0E-07	240 - 530	8	61.0 ± 0.6	3.2	4.5	0.75	0.80	58.3	0.010	-6.3	1.082	1.013	1.068	58.5 ± 0.6
34129F, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 2956																
1B	8.4E-04	1.8E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2B	1.7E-03	3.9E-06	100 - 340	4	71.8 ± 4.8	5.4	4.5	0.45	0.66	4.4	0.067	4.0	1.311	1.071	1.224	59.9 ± 4.5
5B	2.9E-03	5.1E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B	5.1E-03	7.4E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8B	3.1E-03	5.5E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9B	4.1E-03	9.5E-06	180 - 380	4	67.5 ± 5.2	3.4	11.1	0.33	0.65	2.8	0.078	-5.5	1.242	1.031	1.205	58.7 ± 4.6
10B	2.4E-03	4.4E-06	100 - 340	4	87.9 ± 4.1	1.8	14.9	0.35	0.66	4.9	0.047	-2.3	1.233	1.070	1.153	81.7 ± 3.6
11B	2.5E-03	6.1E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34129G, Lattes / Saint Sauveur / u.s. 30118																
1A*	2.1E-03	4.5E-07	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1C	2.1E-03	5.5E-06	100 - 350	5	76.1 ± 4.3	8.4	19.6	0.32	0.75	4.3	0.056	1.8	1.242	1.094	1.135	64.1 ± 3.2
2A*	7.1E-04	6.0E-08	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2C	9.5E-04	4.4E-07	100 - 580	13	60.4 ± 1.3	2.7	1.4	0.91	0.85	36.0	0.021	-10.8	-	-	-	-
3A*	3.6E-03	8.5E-07	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3B	2.8E-03	8.8E-06	Rejeté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5A	8.1E-04	1.4E-07	100 - 340	5	67.0 ± 1.6	5.2	7.4	0.38	0.72	11.9	0.023	-3.5	1.389	1.034	1.343	65.1 ± 1.7
6A	1.1E-03	1.8E-07	100 - 340	5	103.1 ± 12.3	3.6	8.9	0.50	0.75	3.1	0.119	-2.7	1.236	1.076	1.149	96.6 ± 11.8
7A*	7.5E-04	1.6E-07	100 - 340	5	52.5 ± 3.6	5.4	5.0	0.30	0.70	3.1	0.068	-7.4	1.241	1.054	1.178	53.3 ± 3.4
8A*	1.5E-03	3.9E-07	100 - 480	8	69.6 ± 3.3	9.1	11.4	0.53	0.82	9.0	0.0481	-15.4	-	-	-	-
8B	1.5E-03	3.6E-06	100 - 555	11	21.3 ± 1.0	7.9	1.0	0.80	0.86	15.2	0.046	-	-	-	-	-
12A*	3.5E-04	1.3E-07	100 - 340	5	70.2 ± 4.4	7.8	4.7	0.31	0.73	3.5	0.063	-4.6	1.286	1.105	1.165	58.4 ± 2.9

Tableau 3 : Résultats d'archéointensité (Les échantillons en grisé sont retenus.)

Nom de l'échantillon ; Intensité de l'ARN ; Susceptibilité en champ faible ; Températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Archéointensité avec son erreur standard sans correction ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie

Bibliographie du site de Lattes, Saint-Sauveur

Dietler, M., Kohn, A., Moya i Gara, A. & Rivalan, A., 2008a. Les maisons à cour des III^{ème}-II^{ème} siècles av. J.-C. à Lattes, émergence d'une différenciation dans l'habitat indigène, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 111-122

Dietler, M., Janin, T., Lopez, J.B. & Py, M., 2008b. Conclusion, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 201-209

Lebeaupin, D. & Séjalon, P., 2008. Lattara et l'Etrurie, nouvelles données sur l'installation d'un comptoir vers 500 av. J.-C., *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 45-64

Moya i Garra, A. & Munos, S., 2008. Recherche sur l'habitat récent de Lattes, une maison à cour centrale du III^{ème} siècle av. n.è. : la zone 54, *Lattes 2008, Rapport intermédiaire 2008*, UFRAL, Lattes, 115-152

Py (Dir), 1993. *DICOCER : dictionnaire des céramiques antiques (VII^{ème} av. n.è. – VII^{ème} de n.è.) en Méditerranée nord-occidentale (Provence, Languedoc, Ampurdan)*, Lattes, éd. ARALO (coll. Lattara, 6), 624 p

Py, M., 1997. *Syslat 3.1, système d'information archéologique, manuel de référence*, Lattes, éd. ARALO (coll. Lattara, 10), 380 p.

Py, M., 2008. Nouvelles données, nouvelles questions sur l'urbanisme et la société de Lattara protohistorique, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 123-129

Py, M. 2009. *Lattara, Lattes (Hérault), comptoir méditerranéen entre Etrusques, Grecs et Romains*, Errance, Paris, 348 p.

Roux, J.-C. & Raux, S., 1996. Les foyers domestiques dans l'habitat lattois du II^e Age du Fer (IV^e-I^{er} s. av. n.è.), *Lattara*, 9, 401-432

Le Cendre, *Oppidum* de Gondole

Code archéomagnétique: 63069A et 63069B

Contexte archéologique : présentation du site (d'après Deberge *et al.*, 2009)

L'*oppidum* de Gondole (Lat : 45.716°N ; Long : 3.203°E) est situé au sud du bassin de Clermont-Ferrand, à proximité (7 km environ) des autres *oppida* de Gergovie et de Corent. L'*oppidum* a fait l'objet de nombreux travaux de recherche depuis le XIX^{ème} siècle (Figure 1). Les plus récentes sont une opération d'archéologie préventive INRAP entre 2002 et 2005 et une fouille programmée entre 2005 et 2008. Cette dernière fouille, coordonnée par l'association ARAFA et dirigée par Yann Deberge (INRAP) était focalisée sur un secteur à vocation domestique et artisanal de l'*oppidum*.

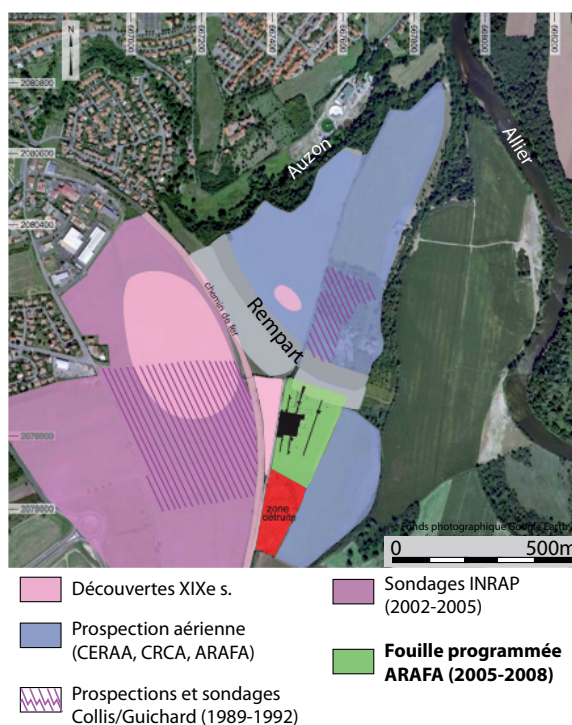


Figure 1 : Présentation de l'*oppidum* de Gondole avec historique des recherches menées. Le four 36 et le puits 209 sont situées dans le secteur en vert. (D'après Deberge *et al.*, 2009, fig.5, p 41, fonds photographique Google Earth)

L'*oppidum* est construit sur un éperon au confluent de l'Allier et de l'Auzon. Sa superficie atteint 70 ha, dont la majorité (42 ha environ) est située en dehors du rempart (Figure 1). Cet espace *extra-muros* comprend des espaces funéraires (dont la très médiatique tombe de 8 hommes accompagnés de 8 chevaux mise au jour en 2002) et un quartier à vocation domestique et artisanale (en vert Figure 1). Ce quartier, situé à 40 mètres au sud du rempart, a notamment mis au jour 7 bâtiments sur cave ou semi-excavés, 5 fours de potier (dont le four 36) et 33 puits (dont le puits 209). Les différentes structures attestent d'un travail sur place des alliages cuivreux, du fer, de l'os et de la céramique. Les nombreux ratés de cuisson (22000) retrouvés sur le site prouvent la production de céramique fine tournée, notamment des cruches à engobe blanc et des imitations d'assiette à enduit rouge interne.

La stratigraphie et l'homogénéité du mobilier céramique (très abondant) sont indicatrices d'une courte période d'occupation à la Tène D2. Le faciès des céramiques d'importation (30% des tessons) est en effet dominé par les céramiques campaniennes et les parois fines pré-augustéennes. Le site ne semble plus occupé à l'époque augustéenne, (*TAQ* vers 20 av. J.-C.), comme les marqueurs typiques de cette période (sigillées italiques, gobelet en parois fines d'Acco) sont absents.

A) Etude du Puits 209 (Code laboratoire 63069A)

Description et datation

Un foyer à vocation domestique était installé dans le comblement du puits 209 (Figure 2). La sole du foyer, d'un diamètre d'environ 50 cm, est construite sur un radier de tessons d'amphores posés à plat. La rubéfaction de l'argile est faible sur une épaisseur de 2 cm environ.

La datation du puits 209 repose sur le mobilier céramique (NR = 313). Le faciès de céramique indigène et d'importation s'intègre dans la sériation des mobiliers du bassin de Clermont-Ferrand à la TD2b (Deberge, communication personnelle) et déborde légèrement sur l'époque augustéenne. Une monnaie arverne (à la légende CICIIDV.BRI/EPAD), en usage au milieu du 1^{er} siècle av. J.-C. confirme cette datation. Pour le calage chronologique en archéomagnétisme, nous avons choisi l'intervalle de date [-60 ; -20].



Figure 2 : Foyer du puits 209 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (cliché P. Paris).

Prélèvement archéomagnétique

Quatorze prélèvements (Figure 2) ont été réalisés par le 30 août 2006 par Pascal Paris (Centre archéologique européen du Mont-Beuvray) sur la sole du foyer. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 2). Certains prélèvements, constitués de tessons d'amphores ont pu être carottés. La numérotation de ces spécimens est du type « Numéro du prélèvement suivi de la lettre A/B/C... ». Le repère du prélèvement 6 a été perdu au cours du carottage.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre spinner Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Quatorze échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 560°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 420 ou 440°C.

Minéralogie magnétique

A cause de la présence de tessons d'amphores, les prélèvements présentent une variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.6 et 7.7 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 200 et 1600 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger entre 2 et 10 (Figure 3). Cette variabilité est notamment expliquée par la présence (ou l'absence) de tessons d'amphores dans les échantillons. Globalement, les échantillons composés partiellement d'amphores ont des valeurs plus élevées (Tableau 1).

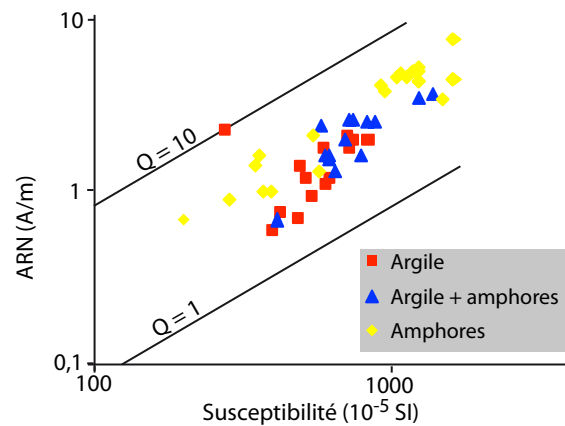


Figure 3 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer du puits 209. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) ou par un grand cercle pour l'échantillon 11A11. Huit échantillons (sur 14) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 4). Il s'agit des échantillons ne présentant pas ou très peu d'amphores. Les 6 autres échantillons, constitués principalement ou totalement d'amphores, présentent deux composantes d'aimantation (Figure 4). Dans ce cas, la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer toute l'aimantation préexistante (acquise ici lors de la cuisson de l'amphore). La température de transition entre les deux composantes d'aimantation est de l'ordre de 300-350°C : les températures atteintes en place restent donc limitées. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

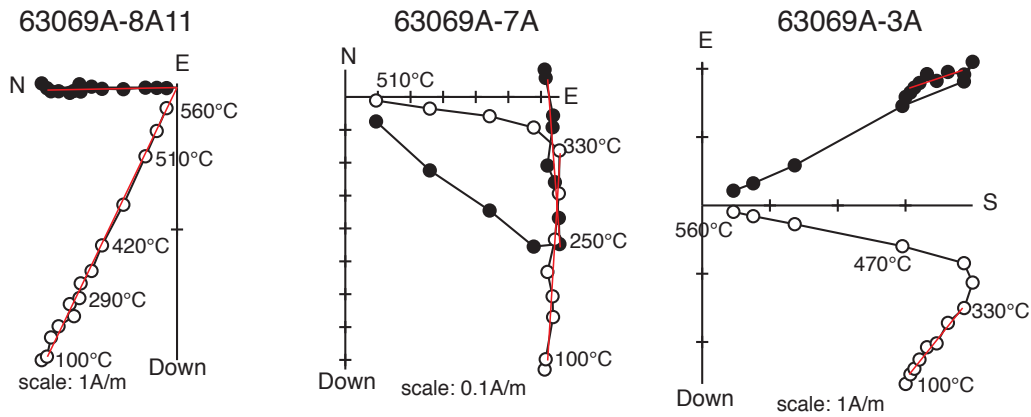


Figure 4 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs du puits 209. Le spécimen à gauche présente une seule composante d'aimantation. Les spécimens au centre et à droite (principalement constitués d'amphores) ont deux composantes d'aimantation. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie forte avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 5 et 24% (Tableau 1). L'anisotropie est élevée pour les échantillons constitués d'amphores (comme il est attendu), mais aussi pour les échantillons constitués d'argile. Pour les échantillons constitués d'amphores, la foliation domine et l'axe minimal d'anisotropie se rapproche de la verticale (Figure 5). Ce comportement est attendu pour de tels tessons posés à plat (Hill *et al*, 2007). Pour les échantillons constitués d'argile, on ne remarque pas la dominance d'une fabrique particulière (Figure 5). L'application de la correction d'anisotropie disperse légèrement les directions : en raison de l'importance des taux d'anisotropie, nous avons choisi d'utiliser les directions corrigées de l'anisotropie pour l'étalonnage (Tableau 2).

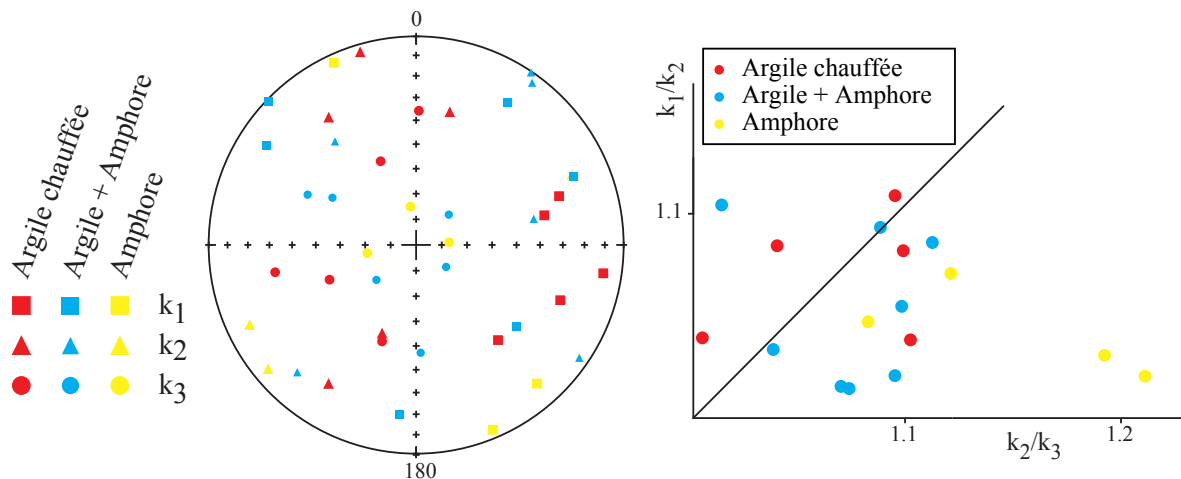


Figure 5 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le puits 209. Les échantillons constitués uniquement d'argile rubéfiée (en rouge) sont distingués de ceux constitués partiellement (en bleu) ou totalement (en jaune) d'amphores.

Nature	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/GCA	ChRM //I ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie					
											K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
63069A-1A11	Arg.	9,5E-01	5,5E+02	100 - 510	PCA	ChRM	11	26.2	51.5	1.2	-5.0	1.129	1.084	1.042	25.9	53.5
63069A-2A11	Arg.	1,8E+00	6,0E+02	100 - 560	PCA	ChRM	13	356.9	61.5	1.0	-5.4	1.149	1.038	1.107	359.8	60.6
63069A-3A	Amph.	4,3E+00	1,3E+03	100 - 330	PCA	II ^{re}	7	341.6	49.5	8.1	-2.6	1.238	1.031	1.201	346.4	53.7
63069A-4A11	Amph.	5,3E+00	1,3E+03	100 - 370	PCA	II ^{re}	8	350.8	62.8	1.3	-0.6	1.137	1.047	1.086	350.1	65.1
63069A-5A11	Arg.+Amph.	2,5E+00	8,4E+02	100 - 420	PCA	II ^{re}	9	350.4	66.8	1.7	-1.2	1.193	1.093	1.092	344.6	68.3
63069A-5A12	Arg.+Amph.	2,5E+00	8,9E+02	100 - 390	PCA	II ^{re}	7	346.8	63.4	1.9	-3.0	1.163	1.055	1.102	346.6	66.2
63069A-7A	Amph.	1,0E+00	4,0E+02	100 - 330	PCA	II ^{re}	7	355.7	50.9	3.7	-0.3	1.206	1.071	1.126	358.3	54.0
63069A-8A11	Arg.	2,1E+00	7,3E+02	100 - 560	PCA	ChRM	13	356.4	64.1	1.0	-5.1	1.193	1.082	1.103	3.0	65.2
63069A-9A11	Arg.	2,0E+00	8,4E+02	100 - 530	PCA	ChRM	12	353.4	63.4	1.1	-1.8	1.218	1.108	1.099	350.5	62.3
63069A-10A14	Arg.+Amph.	1,6E+00	6,0E+02	150 - 555	PCA	ChRM	10	0.4	66.3	0.9	-7.1	1.093	1.015	1.077	6.3	66.0
63069A-11A11	Arg.+Amph.	6,8E-01	4,1E+02	100 - 420	GCA	ChRM	10	152.0	16.2	5.8	-2.9	1.075	1.034	1.040	17.1	153.2
63069A-12A11	Arg.	1,1E+00	6,1E+02	100 - 470	PCA	ChRM	10	357.6	51.3	0.8	-2.2	1.045	1.039	1.005	358.9	50.7
63069A-13A13	Arg.+Amph.	2,0E+00	7,0E+02	100 - 370	PCA	II ^{re}	8	352.4	57.3	2.3	-1.9	1.122	1.021	1.099	352.9	58.5
63069A-14A11	Arg.+Amph.	1,3E+00	6,5E+02	100 - 530	PCA	ChRM	12	357.1	69.4	0.8	-4.9	1.090	1.016	1.073	3.3	69.3

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique) pour le puits 209

Nom de l'échantillon ; Nature : l'échantillon est constitué d'argile (Arg.), d'amphores (Amph.) ou des deux (Arg.+Amph.) ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Archéodirection moyenne

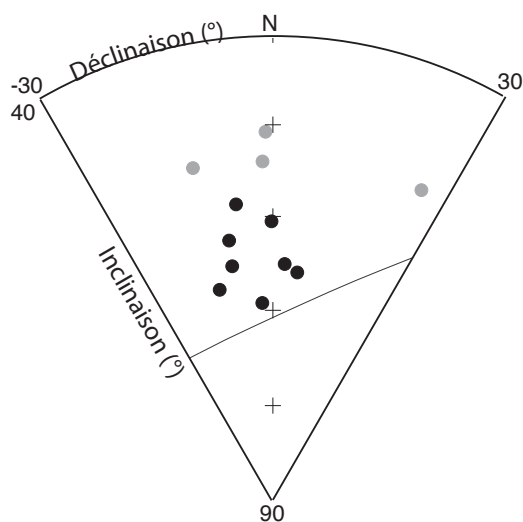


Figure 6 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le puits 209. Les prélèvements en grisé 1, 3, 7 et 12, hors-tendance, ne sont pas pris en compte dans le calcul de la direction moyenne.

La Figure 6 montre le regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement, corrigées de l'anisotropie. Ces directions sont assez dispersées, ce qui pourrait s'expliquer par une instabilité du foyer installé dans le comblement d'un puits. Les directions des prélèvements 1, 3, 7 et 12 apparaissent hors-tendance et sont donc éliminées du calcul de la direction moyenne par la statistique de Fisher. Ces 4 prélèvements, situés sur le côté nord du

foyer, ont des inclinaisons plus faibles, indicatrices peut-être d'un éventuel basculement post-cuisson du sédiment.

Moyennes sans correction

$D = -4.9^\circ$ $I = 64.6^\circ$ $N=9, n=10$ $k=295$ $\alpha_{95} = 3.0^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -3.7^\circ$ $I = 65.1^\circ$ $N=9, n=10$ $k=255$ $\alpha_{95} = 3.3^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -3.9 \pm 8.6^\circ$ $I_p = 67.5 \pm 3.3^\circ$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du puits 209 de l'oppidum de Gondole.

B) Etude du Four 36 (Code laboratoire 63069B)

Description et datation

L'atelier de potier (Figure 7), découvert dans la partie centrale du quartier artisanal, est constitué d'une grande fosse-atelier rectangulaire (fosse 38) et de deux fours (fours 36 et 37). La fosse 38, rectangulaire, a une longueur de 3,8 m et une largeur de 1,8 m. Les fours 36 et 37, de plan circulaire, ont respectivement des diamètres de 1m et 1,30m. Les fours, en excellent état de conservation, sont reliés à la fosse 38, par deux alandiers longs de 0,50 m. Dans les chambres de chauffe, la sole était supportée par un pilier central dans un premier temps, puis dans un second temps par un muret central (ou languette).

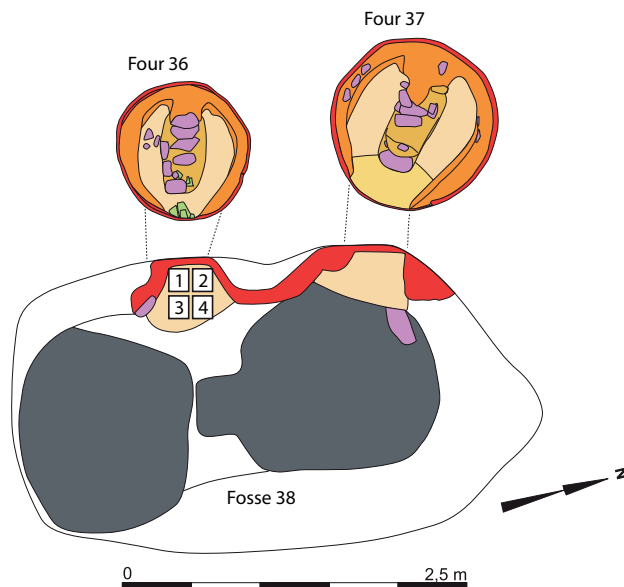


Figure 7 : Plan de l'atelier de potier constitué des fours 36 et 37 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques à la bouche de l'alandier du four 36 (d'après Deberge et al., 2009).

La datation du four 36 dans son second état repose sur un mobilier céramique très abondant (NR = 6732 pour un NMI = 599), retrouvé dans le comblement du four et de la fosse 38. Le faciès céramique et amphorique est proche du faciès du puits 209 (Deberge, communication personnelle). Pour le calage chronologique en archéomagnétisme, nous avons

aussi choisi l'intervalle de date [-60 ; -20]. Il faut noter que la stratigraphie des comblements de la fosse d'accès et des fours permet d'avoir une confiance élevée sur cet intervalle de date. Une monnaie arverne (anépigraphe, variante de Lyon 401-403), antérieure au milieu du I^{er} siècle av. J.-C., provient également du four 36.

Prélèvement archéomagnétique

Quatre prélèvements (Figure 7) ont été réalisés par le 30 août 2006 par Pascal Paris (Centre archéologique européen du Mont-Beuvray) sur la bouche de l'alandier du four 36. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements, constitués d'argile cendreuse, ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. 12 échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 560°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 420°C.

Minéralogie magnétique

L'exemple de la bouche de l'alandier du four 36 illustre la variation des intensités de l'aimantation en fonction du gradient de cuisson. Les prélèvements 1 et 2 plus proches du foyer ont des intensités d'ARN, des susceptibilités en champ faible et des rapports de Koenigsberger Q plus élevés que les prélèvements 3 et 4 plus éloignés (Figure 8).

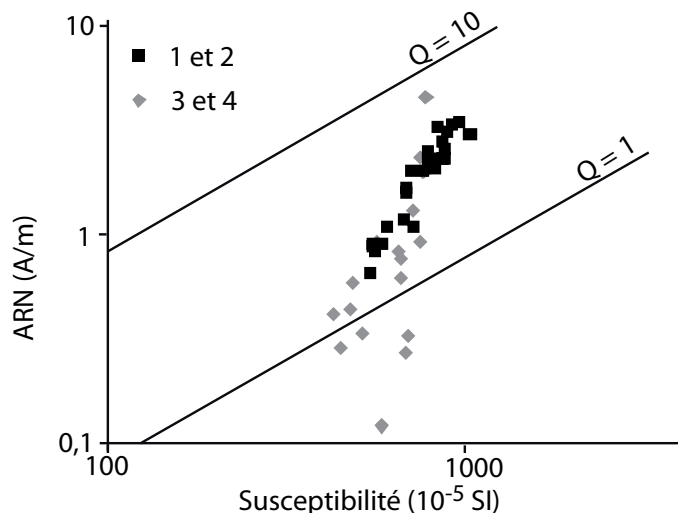


Figure 8 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four 36. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Les échantillons issus des prélèvements 1 et 2, proches de la zone de cuisson, portent une seule composante d'aimantation (Figure 9). Pour les prélèvements 3 et 4, plus éloignés, la chauffe en place n'a pas été suffisante pour effacer toute l'aimantation préexistante : on observe alors deux composantes d'aimantation, facilement séparables (Figure 9). La température de transition entre les deux composantes d'aimantation est de l'ordre de 290-370°C. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 3.

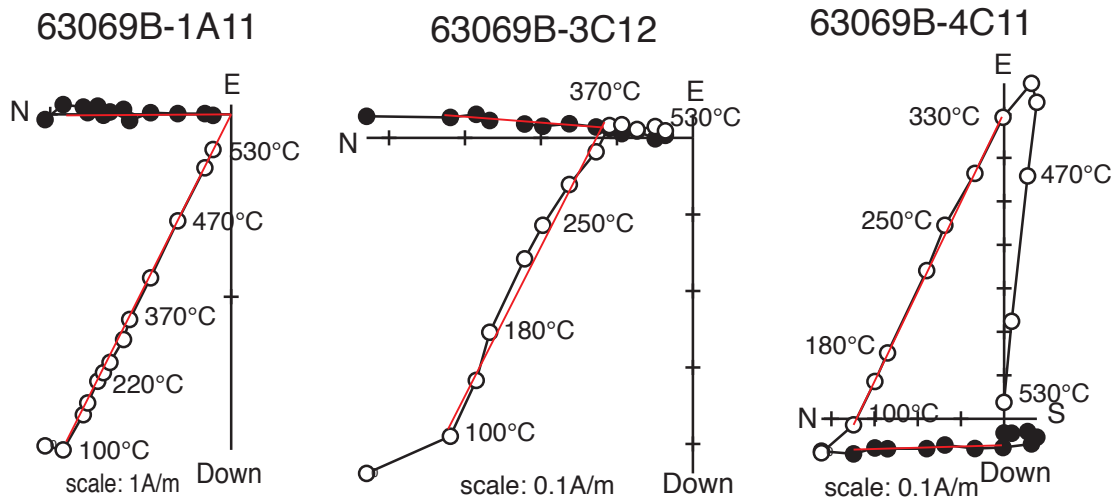


Figure 9 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de l'alandier du four 36. Comme le spécimen à gauche, les spécimens des prélèvements 1 et 2 présentent une seule composante d'aimantation. En revanche, comme les spécimens au centre et à droite, les spécimens des prélèvements 3 et 4, plus éloignés de la zone de chauffe, ont deux composantes d'aimantation. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

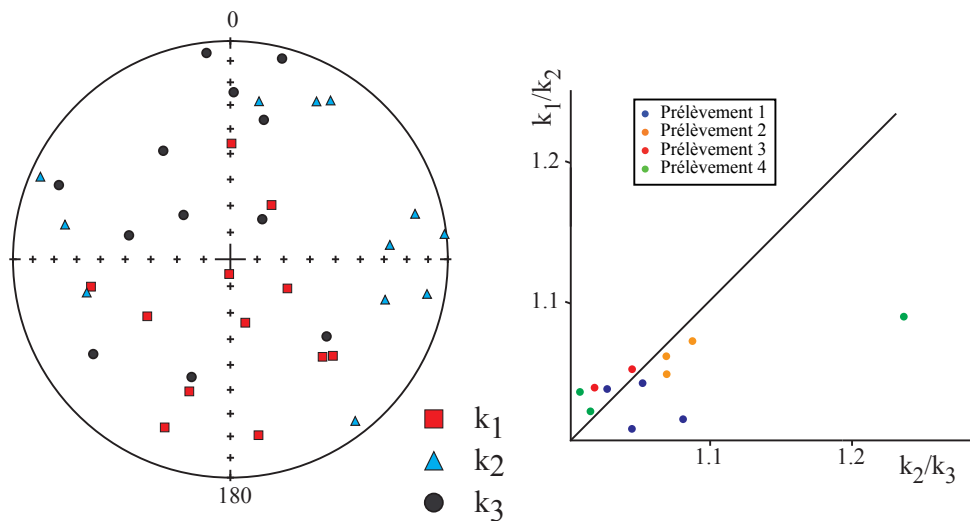


Figure 10 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn pour le four 36.

tel-00738129, version 1 - 3 Oct 2012

Annexe 3 : Etude des sites français, Le Cendre, *Oppidum* de Gondole

Les échantillons présentent une anisotropie en général moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 5 et 13% (Tableau 3). Pour des raisons mal connues, l'échantillon 4C11 présente un taux d'anisotropie beaucoup plus élevé (34%). Aucune fabrique particulière ne semble dominer à l'échelle de la structure (Figure 10). L'application de la correction d'anisotropie améliore considérablement le regroupement des directions d'aimantation (Tableau 4).

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
63069B-1A11	2,0E+00	7,6E+02	100 - 530	ChRM	12	2.6	63.1	0.9	-4.0	1.052	1.008	1.043	4.6	63.5
63069B-1B11	1,7E+00	6,9E+02	100 - 510	ChRM	11	0.0	65.5	0.8	0.0	1.063	1.037	1.026	4.2	65.8
63069B-1C11	3,3E+00	8,4E+02	100 - 530	ChRM	12	358.3	64.6	0.7	-1.9	1.094	1.041	1.051	1.5	66.4
63069B-1D11	3,5E+00	9,6E+02	100 - 530	ChRM	12	1.3	65.0	0.6	-1.4	1.096	1.015	1.080	0.2	66.9
63069B-2A11	2,3E+00	8,5E+02	100 - 530	ChRM	12	11.1	66.4	0.5	-2.0	1.132	1.060	1.068	10.0	66.9
63069B-2B21	8,8E-01	5,5E+02	150 - 510	ChRM	10	355.5	66.6	1.4	-2.9	1.119	1.047	1.068	348.7	65.5
63069B-2C11	2,3E+00	8,8E+02	100 - 530	ChRM	12	4.2	66.2	0.9	-4.8	1.164	1.071	1.087	8.0	64.2
63069B-3A12	2,0E+00	7,6E+02	100 - 290	II ^{re}	6	356.1	62.2	4.7	-6.3	1.055	1.037	1.017	358.3	61.2
63069B-3C12	6,1E-01	6,6E+02	100 - 370	II ^{re}	8	358.0	62.8	3.2	-5.0	1.096	1.051	1.044	2.9	62.6
63069B-4A11	5,8E-01	4,9E+02	100 - 330	II ^{re}	7	358.1	63.4	1.2	-2.5	1.034	1.021	1.014	357.4	64.1
63069B-4B11	9,2E-01	5,6E+02	100 - 370	II ^{re}	8	1.3	66.9	2.9	-0.5	1.041	1.034	1.006	2.9	66.4
63069B-4C11	4,4E-01	4,8E+02	100 - 330	II ^{re}	7	12.6	60.1	1.4	-5.6	1.348	1.088	1.239	359.3	64.1

Tableau 4 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Archéodirection moyenne

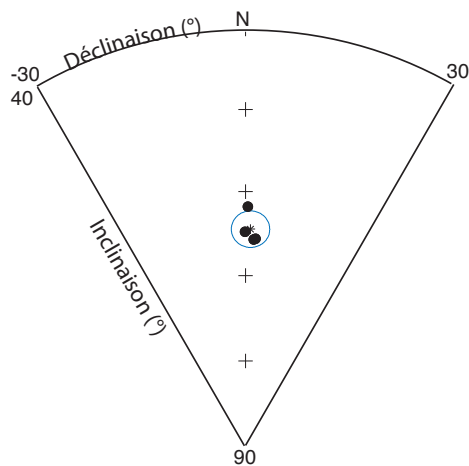


Figure 11 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour l'alandier du four 36 de Gondole.

La Figure 11 montre l'excellent regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement, corrigées de l'anisotropie. La direction d'aimantation moyenne est calculée par

Annexe 3 : Etude des sites français, Le Cendre, *Oppidum* de Gondole

la statistique de Fisher (Tableau 4). Aux erreurs près, la direction de l'alandier du four 36 ne se différencie pas de la direction du foyer du puits 209.

Moyennes sans correction

$$D = 1.3^\circ \quad I = 64.3^\circ \quad N=4, n=12 \quad k=1294 \quad \alpha_{95} = 2.6^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = 1.3^\circ \quad I = 64.6^\circ \quad N=4, n=12 \quad k=1782 \quad \alpha_{95} = 2.2^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = 1.4 \pm 5.6^\circ \quad I_p = 66.9 \pm 2.2^\circ$$

Tableau 4 : Archéodirection moyenne de l'alandier du four 36 de l'oppidum de Gondole.

Bibliographie

Deberge, Y., Cabezuelo, U., Cabanis, M., Foucras, S., Garcia, M., Gruel, K., Loughton, M., Blondel, F. & Caillat, P., 2009. *L'oppidum* arverne de Gondole (Le Cendre, Puy-de-Dôme). Topographie de l'occupation protohistorique (La Tène D2) et fouille du quartier artisanal : un premier bilan, *Revue archéologique du Centre de la France*, 48, 33-130

Lunel, Mas-de-Fourques-II

Code archéomagnétique: 34145A

Contexte archéologique (d'après Ott et Pancin, 2007)

Le site du Mas-de-Fourques-II (Lat : 43.691°N ; Long : 4.135°E) a été fouillé au cours de l'été 2006 par l'INRAP (équipe dirigée par Mathieu Ott) en préalable à la construction d'un lycée à Lunel. Le site est situé à 1,5 km du centre-ville actuel de Lunel. La fouille a principalement mis au jour un établissement agricole gallo-romain, daté entre le troisième quart du premier siècle ap. J.-C. et la fin du second siècle ap. J.-C. Cet établissement se caractérise particulièrement par la découverte d'un chai. En limites d'emprise de la fouille et isolé chronologiquement, le site présente aussi un four de potier protohistorique.

Le four se compose d'une chambre de chauffe, de deux alandiers contigus et d'une aire de chauffe (Figure 1). Seules les parties inférieures de l'alandier et de la chambre de chauffe sont conservées sur une épaisseur de 30 à 50 cm. La chambre de chauffe, circulaire, a un diamètre de 2,55 m. Elle est creusée dans le substrat local, constitué de poudingue (appelée localement taparas). Le sol et les parois de la chambre de chauffe ne présentent pas d'aménagements particuliers. Sous l'action des chauffes successives, le substrat est fortement durci et rubéfié sur environ 10 cm (Bande jaune-beige sur 2 à 3 cm, puis bande rougeâtre sur 6 à 7 cm).

La chambre de chauffe est divisée par un muret central (MR2160, 2,80 m de long pour 0,22 m de large), qui se prolonge dans l'alandier (Figure 1). Il ne reste aucune trace de la sole, qui devait être supportée par ce muret. Le muret est constitué de moellons de calcaire et à son extrémité d'une grande dalle de calcaire. Ses parois ont été enduites d'argile, appliquée horizontalement d'après les traces de doigts. Un enduit similaire couvre les parois de l'alandier, constitué de gros blocs de calcaire. L'aire de chauffe (FS 2145) est conservée sur une profondeur de 1,30 m. Elle présente une forme elliptique, avec une longueur de 5 m et une largeur de 2,5 m (Figure 1). L'aire de chauffe est comblée par des niveaux d'utilisation du four (niveaux cendreux et charbonneux, u.s. 2150, puis u.s. 2155 au-dessus), puis des niveaux d'abandon du four (niveaux très hétérogènes avec des tessons, des blocs de calcaire, des probables restes des superstructures du four...).

Ce four du Mas-de-Fourques-II est actuellement un *unicum* par sa datation et sa forme particulière caractérisée par un double alandier. Le radiocarbone et le mobilier céramique place le fonctionnement de ce four à la fin du III^{ème} siècle av. J.-C. En l'absence de ratés de cuisson, la production du four reste incertaine. Les archéologues supposent que le four aurait servi à la production de céramique modelée, comme les autres catégories de mobilier céramique sont très peu présentes dans le comblement des structures. Les dimensions du four indiquent néanmoins une forte capacité de production. Aucune structure contemporaine n'a été repérée à proximité de cette structure. Le contexte de cet atelier reste donc une question largement ouverte, ainsi que ses contacts avec l'*oppidum* d'Ambrussum situé à seulement 4 kilomètres.

Datation du fonctionnement du four (d'après Ott et Pancin, 2007)

La datation chrono-typologique du four repose sur le mobilier céramique découvert dans les niveaux archéologiques de l'aire de chauffe, correspondant à la phase d'utilisation du four (NR=23 et NMI=11) et principalement à la phase de comblement du four (NR=696, NMI=140).

Annexe 3 : Etude des sites français, Lunel Mas-de-Fourques-II

Sur ces deux phases, les ensembles céramiques présentent un faciès homogène, où domine la céramique non-tournée du Languedoc oriental (CNT-LOR, NR=607, NMI=122). La datation repose sur la campanienne A (NR=16, NMI=7) avec des formes caractéristiques de la phase ancienne (coupe à profil divergent de type CAMPA 27c, coupelle à vasque angulaire et à bord évasé CAMPA 28ab, kylix à lèvre arrondie et à bord légèrement divergent CAMPA 42bc). Cet ensemble est caractéristique du dernier quart du III^{ème} siècle av. J.-C. Les autres catégories céramiques (céramique à pâte claire, céramique grise fine, amphores massaliètes, *dolia*) ne présentent pas d'éléments supplémentaires, porteurs d'information chronologique.

Cette datation au dernier quart du III^{ème} siècle av. J.-C. place le four 2110 comme *unicum* (dans l'état actuel de la documentation) pour cette période dans le sud de la France : le four d'Agde Saint-Michel (Gomez, 2002) date de la fin du II^{ème} siècle ap. J.-C. et les fours de Marseille-Rue Leca (Conche *et al.*, 1998), Béziers ZAC-de-la-Domitienne (Olive *et al.*, 2010), Béziers-place de la Madeleine (Ugolini et Olive, 1987-1988), Aspiran Mas-de-Pascal (Pezin, 1998) sont plus anciens.

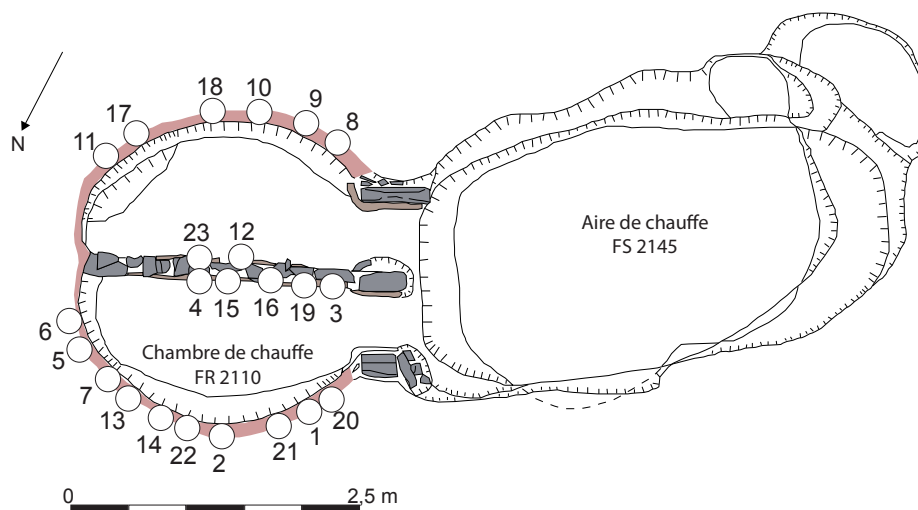


Figure 1 : Photographie (vue de l'est, cliché M. Ott) et plan du four 2110 du Mas-de-Fourques-II à Lunel avec localisation des prélèvements archéomagnétiques. (d'après Ott et Pancin, 2007)

Une datation radiocarbone a également été réalisée sur un charbon de bois provenant de l'u.s. 2150, qui recouvre le fond de l'aire de chauffe à l'aplomb de l'alandier et marque l'utilisation du four. L'analyse a été réalisée par AMS au laboratoire d'Erlangen (échantillon Erl-10154). La calibration de l'âge radiocarbone non calibré (2220 ± 38 BP) donne deux intervalles de date à 95.4% de confiance : $[-386 ; -201]$ à 93.6% de confiance et $[-186 ; -179]$ à 1.8% de confiance (Figure 2). Nettement plus probable, seul le premier intervalle de date **$[-386 ; -201]$** est utilisé pour le calage chronologique du four 2110 en archéomagnétisme. Ce résultat confirme

la datation chrono-typologique, même s'il est large en raison d'un plateau sur la courbe de calibration dendrochronologique des âges ^{14}C .

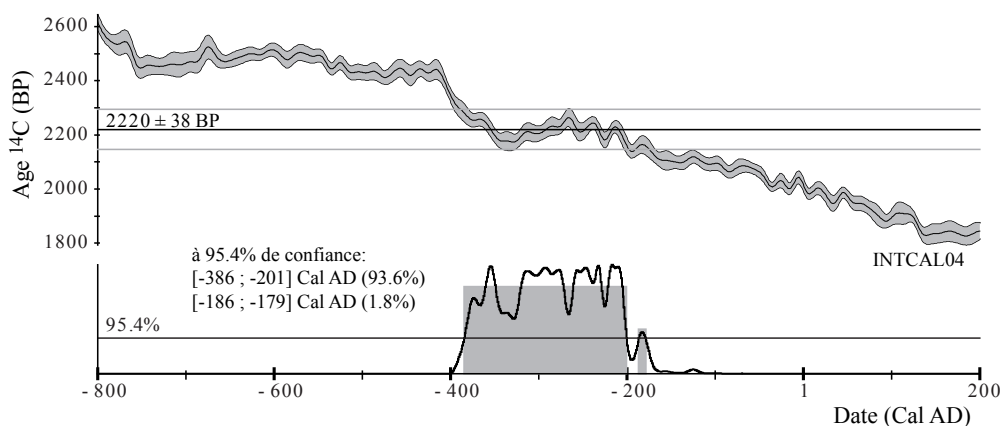


Figure 2 : Datation radiocarbone du charbon de bois prélevé dans l'aire de chauffe. La calibration de l'âge radiocarbone est réalisée avec la courbe INTCAL04 (Reimer et al., 2004) sur le logiciel RenDateModel.

Prélèvement archéomagnétique

Vingt-trois prélèvements ont été réalisés par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 12 décembre 2006. Ils sont situés, sur le sommet des parois et sur le muret central (Figure 3). La plupart des prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Les prélèvements 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17 et 18 n'ont pu être orientés qu'à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Onze fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450 puis 600 ou 650°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Un échantillon de chaque prélèvement a été désaimanté thermiquement. Les chauffes de 100 à 550°C ont été effectuées sur le four MMTD. 21 échantillons (un de chaque prélèvement sauf les numéros 2 et 16) ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 530°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à seize échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 70µT appliqué selon l'axe Y des spécimens (soit quasi perpendiculairement à l'ARN). Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 565°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 470°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 570°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,3°C/min (soit un refroidissement sur environ 24 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Pour le four du Mas-de-Fourques, l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.1 et 12 A/m et de la susceptibilité en champ faible entre 52 et 2070 10^{-5} SI. Ceci correspond à des rapports de Koenigsberger Q assez homogènes entre 2 et 13 (Figure 4a). Ces fortes valeurs suggèrent une minéralogie magnétique stable plutôt portée par des grains mono-domaines. Les prélèvements de la banquette centrale, plus proches du foyer tendant à avoir des intensités d'ARN plus élevées.

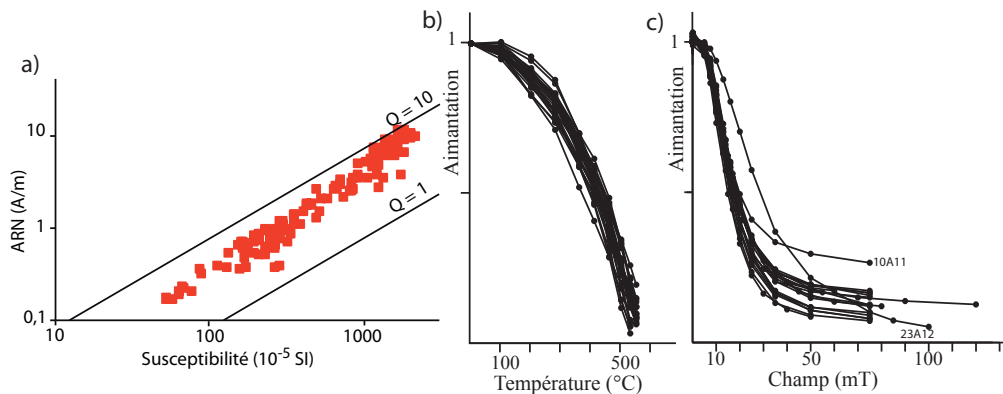


Figure 4 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four du Mas-de-Fourques à Lunel. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif. Les Median Demagnetizing Field (MDF) sont compris entre 14 et 19 mT, sauf le prélèvement 23 (27.5 mT).

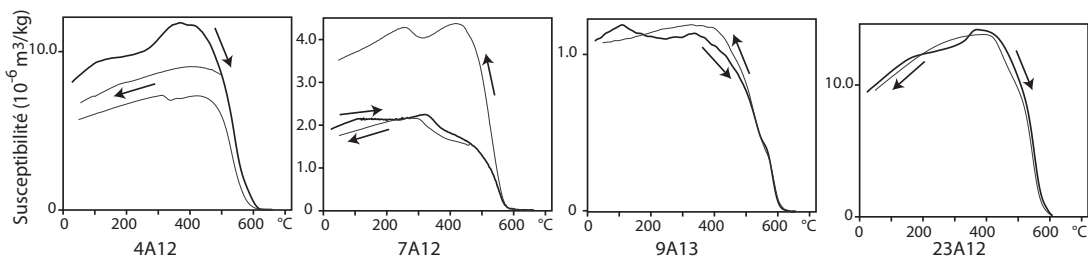


Figure 5 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Les caractéristiques minéralogiques de l'ensemble des prélèvements sont homogènes, comme le montre les températures de déblocage (Figure 4b), les Median Demagnetizing Field (Figure 4c), les courbes thermomagnétiques (Figure 5) et les acquisitions d'ARI (Figure 6). La saturation des courbes d'ARI vers 200mT montre l'absence de phases ferromagnétiques de forte coercivité. Les points de Curie entre 550 et 580°C indiquent que la phase de faible coercivité principale est une titanomagnétite très pauvre en titane. Les effets Hopkinson de la majorité des échantillons (comme 4 et 23) montreraient l'absence d'autres phases ferromagnétiques. Le prélèvement 23, pour des raisons inconnues, présente une minéralogie magnétique différente avec une titanomagnétite de plus forte coercivité et donc par conséquent probablement composés de grains de plus petite taille. L'irréversibilité de certaines courbes thermomagnétiques (Figure 5) indique enfin que des évolutions minéralogiques sont possibles au cours du protocole de Thellier-Thellier.

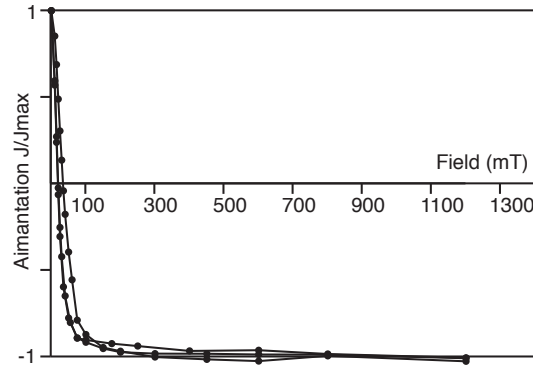


Figure 6 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes « backfield » pour trois échantillons du four de Lunel (3A12, 7A11 et 23A12). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 19, 20 et 34 pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 85, 68 et 225 A/m.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons désaimantés présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 7). Les ChRM déterminées sont récapitulées dans le tableau 1.

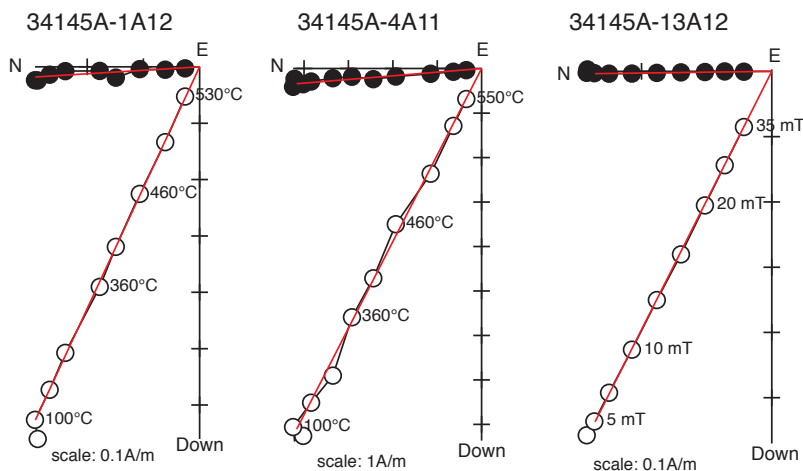


Figure 7 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs d'un spécimen désaimanté thermiquement (à gauche et au centre) et thermiquement (à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Protocole de Thellier-Thellier

Sur seize spécimens, quinze donnent d'excellents résultats (Tableau 1 et Figure 8) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement rigoureusement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.5$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). L'échantillon 23B12 est rejeté, car le diagramme ARN-ATR a une forme convexe. Le prélèvement 23 ne montre pas d'évolutions minéralogiques sur le diagramme Susceptibilité/Température (Figure 5). Le rejet de cet échantillon s'explique par sa minéralogie ferromagnétique différente. Cependant, sa coercivité et

son intensité d'ARN plus élevées indiqueraient des grains plus stables et de plus petite taille, donc en théorie plus propices à l'archéointensité.

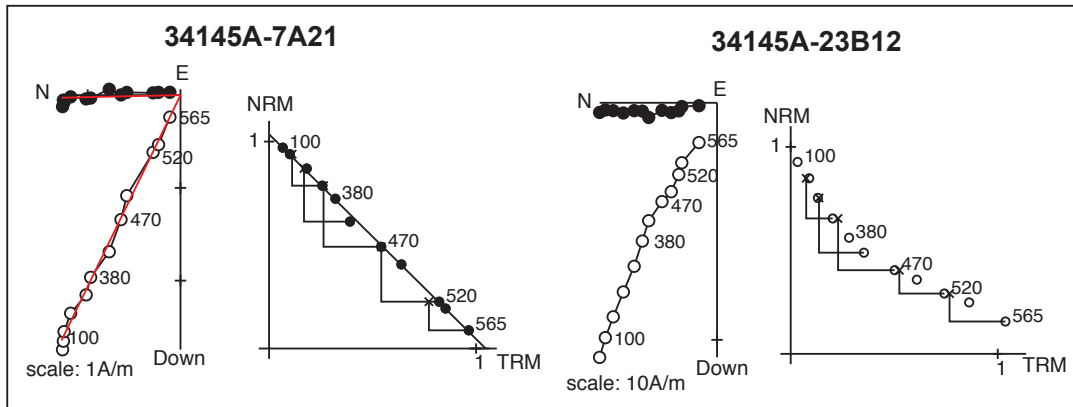


Figure 8 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Le spécimen 7A12 (à gauche) est accepté, alors que le spécimen 23B12 (à droite) est rejeté, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 8% (Tableau 1). Il ne semble pas y avoir de différence entre les prélèvements des parois et les autres prélèvements. Aucune fabrique particulière ne se dessine à l'échelle de la structure. (Figure 9). L'application de la correction d'anisotropie améliore le regroupement des archéodirections, mais pas des archéointensités (Tableau 2).

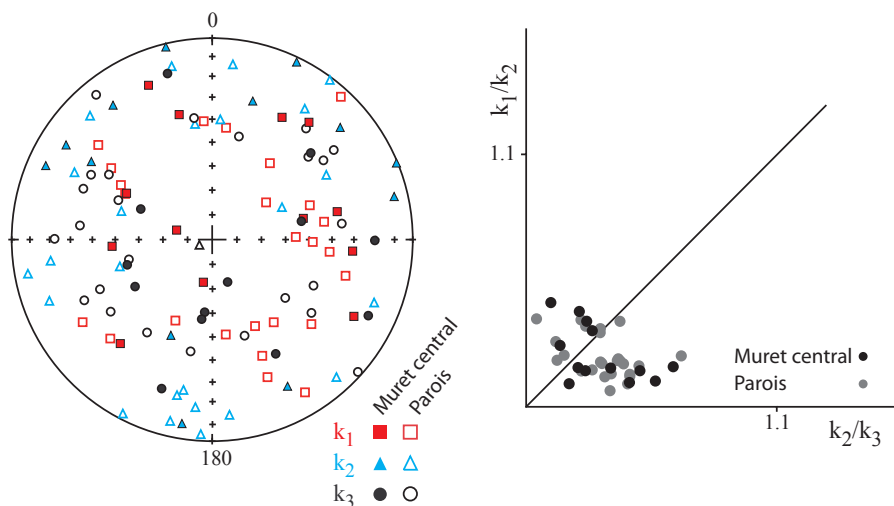


Figure 9 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les échantillons qui proviennent des parois du four sont distingués des échantillons provenant du muret central.

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est comprise entre 5 et 14% (Tableau 1). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à l'ensemble des échantillons et regroupe significativement les archéointensités (Tableau 2).

Annexe 3 : Etude des sites français, Lunel Mas-de-Fourques-II

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mt)	n	D(°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie					Vitesse de refroidissement						
														Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a \pm std (μ T)	%corr	%evol	F _{a+c} \pm std (μ T)		
34145A-1A11	8,3E-01	1,9E-03	Th-Th	100 - 520	9	350.6	65.0	70.9 \pm 1.7	3.0	1.3	0.78	0.86	28.3	0.0238	0.7	1.047	1.013	1.034	347.8	64.7	71.7 \pm 1.7	6.9	-0.5	66.8 \pm 1.6	
34145A-1A12	7,2E-01	1,9E-03	Th	100 - 530	8	356.5	65.0		0.7					0.4	1.061	1.030	1.030	357.3	66.2						
34145A-1B11	3,8E-01	1,3E-03	AF	5 - 50	9	356.3	67.6		0.4																
34145A-2A21	2,6E+00	7,8E-03	Th	100 - 550	9	349.8	62.1		1.1					-0.4	1.055	1.018	1.037	351.7	62.4						
34145A-3A21	8,7E-01	2,8E-03	Th	100 - 550	9	0.1	65.4		1.0					-1.2	1.038	1.014	1.024	359.9	65.2						
34145A-3A12	6,9E+00	1,2E-02	AF	5 - 60	11	2.1	68.9		0.1																
34145A-3A22	8,1E+00	1,4E-02	Th-Th	180 - 520	8	359.1	65.8	78.5 \pm 1.0	1.8	1.8	0.83	0.84	55.1	0.0128	-1.8	1.038	1.024	1.014	0.7	65.0	78.9 \pm 1.0	12.5	7.1	69.0 \pm 0.9	
34145A-4A11	9,2E+00	1,3E-02	Th	100 - 550	9	353.8	62.7		0.9					-0.1	1.062	1.010	1.052	357.2	63.1						
34145A-4A21	7,4E+00	1,1E-02	Th-Th	100 - 520	9	351.2	61.2	77.7 \pm 1.8	2.1	1.3	0.76	0.87	28.7	0.0228	-0.2	1.076	1.016	1.059	355.1	61.7	80.4 \pm 1.9	8.8	0.7	73.3 \pm 1.7	
34145A-4A12	8,4E+00	1,6E-02	AF	5 - 55	9	354.0	63.4		0.4																
34145A-5A21	1,5E+00	4,0E-03	Th	100 - 550	9	356.8	65.2		1.1																
34145A-5A12	1,4E+00	3,4E-03	AF	5 - 120	12	352.8	67.1		0.1					-2.4	1.036	1.020	1.015	358.1	64.8						
34145A-6A11	3,8E+00	8,8E-03	Th	100 - 550	9	355.1	64.9		1.4					-0.2	1.048	1.017	1.031	356.9	64.6						
34145A-6A21	1,9E+00	4,1E-03	AF	5 - 80	11	358.0	62.4		0.1																
34145A-6A12	6,4E+00	1,4E-02	Th-Th	100 - 520	9	0.2	65.2	71.8 \pm 1.3	2.4	1.9	0.74	0.87	36.1	0.0178	-1.4	1.041	1.014	1.027	2.4	65.6	71.1 \pm 1.2	10.2	1.7	63.8 \pm 1.1	
34145A-7A11	4,8E+00	1,2E-02	Th	100 - 550	9	357.7	63.1		1.0																
34145A-7A21	3,0E+00	6,7E-03	Th-Th	100 - 565	11	358.7	64.1	69.3 \pm 1.0	2.4	1.5	0.86	0.88	54.5	0.0138	-2.4	1.044	1.011	1.032	357.7	63.5	69.2 \pm 1.0	11.9	2.0	61.0 \pm 0.8	
34145A-7A12	1,0E+00	3,1E-03	AF	5 - 75	10	356.3	63.0		0.3					0.6	1.048	1.017	1.030	356.0	63.6						
34145A-8A11	3,9E+00	1,2E-02	Th	100 - 550	9	357.6	64.8		1.3					-0.2	1.073	1.034	1.038	2.1	64.6						
34145A-8A21	2,1E+00	5,2E-03	Th-Th	100 - 520	9	350.8	67.0	72.5 \pm 1.3	2.7	2.0	0.78	0.86	36.0	0.0186	-3.9	1.056	1.019	1.037	351.1	67.8	71.8 \pm 1.3	10.6	7.4	64.2 \pm 1.2	
34145A-8A12	6,0E-01	2,6E-03	AF	5 - 75	10	350.0	67.6		0.3																
34145A-9A11	3,9E+00	1,7E-02	Th-Th	180 - 520	8	346.9	63.0	71.1 \pm 2.3	2.7	1.7	0.69	0.85	18.5	0.0318	-0.9	1.038	1.025	1.012	347.2	62.5	71.8 \pm 2.3	9.6	2.7	64.9 \pm 2.1	
34145A-9A12	3,6E+00	1,3E-02	Th	100 - 550	9	357.0	64.0		1.0					-0.3	1.056	1.032	1.024	356.2	64.6						
34145A-9A13	7,0E-01	1,7E-03	AF	5 - 75	10	355.2	64.7		0.2																
34145A-10A11	3,2E+00	8,1E-03	AF	mal-75	9	354.9	66.4		1.2					-1.0	1.039	1.035	1.004	356.8	66.5						
34145A-10A12	1,1E+00	2,9E-03	Th	100 - 550	10	354.0	66.7		0.6					0.1	1.040	1.006	1.034	358.7	65.2						
34145A-11A11	3,6E+00	8,3E-03	Th	100 - 550	9	359.9	64.9		0.2																
34145A-11B11	1,8E+00	4,1E-03	AF	5 - 75	10	0.3	64.0		0.2																
34145A-12A11	1,1E+01	1,7E-02	Th	100 - 550	9	352.2	66.2		1.6					2.1	1.059	1.034	1.024	354.5	66.2						
34145A-12A21	1,1E+01	1,9E-02	Th-Th	100 - 520	9	357.1	67.9	77.7 \pm 2.0	2.9	1.5	0.80	0.87	27.3	0.0254	-0.9	1.050	1.015	1.034	358.7	68.4	77.1 \pm 1.9	13.0	2.0	67.1 \pm 1.7	
34145A-12A33	9,6E+00	1,9E-02	AF	5 - 75	10	355.8	67.1		0.2																
34145A-13A11	2,1E+00	5,7E-03	Th	100 - 550	9	358.7	63.3		1.3					-0.4	1.056	1.017	1.039	1.3	62.6						
34145A-13A12	6,3E-01	1,7E-03	AF	5 - 35	8	359.3	63.2		0.2																
34145A-14A11	6,3E+00	1,5E-02	Th	100 - 550	9	358.3	63.6		0.9																
34145A-14A12	2,9E+00	6,4E-03	Th-Th	100 - 565	11	0.6	63.8	71.2 \pm 1.3	2.7	1.9	0.86	0.87	40.2	0.0185	-3.7	1.031	1.018	1.013	359.7	64.0	71.1 \pm 1.3	7.2	0.5	66.0 \pm 1.2	
34145A-14B11	1,2E+00	2,8E-03	AF	5 - 75	9	353.1	66.1		0.2																
34145A-15A11	5,1E+00	8,8E-03	Th	100 - 550	9	357.5	65.1		1.0					-2.1	1.051	1.009	1.042	358.0	64.9						
34145A-15A12	1,0E+01	1,7E-02	Th-Th	100 - 520	9	2.4	65.4	79.3 \pm 1.5	2.0	1.0	0.77	0.87	35.5	0.0187	-1.3	1.060	1.038	1.021	0.3	66.6	79.5 \pm 1.5	10.2	8.5	71.4 \pm 1.4	
34145A-15A13	8,1E+00	1,6E-02	AF	5 - 75	10	357.4	63.9		0.2																
34145A-16A11	7,5E+00	1,1E-02	Th-Th	100 - 520	9	359.1	64.7	76.2 \pm 0.8	1.9	1.3	0.84	0.86	69.8	0.0104	-1.0	1.057	1.030	1.027	359.3	65.1	78.6 \pm 0.8	15.0	5.9	66.8 \pm 0.7	
34145A-16A12	8,3E+00	1,4E-02	Th	100 - 530	8	356.8	63.5		1.3					0.8	1.037	1.015	1.021	358.1	64.2						
34145A-17A11	6,3E+00	1,3E-02	Th	100 - 550	9	1.8	62.4		1.2					0.0	1.060	1.029	1.030	1.0	63.4						
34145A-17A21	5,7E+00	1,1E-02	Th-Th	100 - 565	11	4.7	64.0	71.3 \pm 1.2	1.5	0.7	0.79	0.88	42.5	0.0163	0.2	1.055	1.012	1.042	2.2	64.7	72.1 \pm 1.2	8.2	4.8	66.2 \pm 1.1	
34145A-17A12	3,4E+00	6,7E-03	AF	5 - 75	10	5.6	61.8		0.1																
34145A-18A11	2,7E+00	8,3E-03	AF	5 - 75	9	358.9	65.1		0.9																
34145A-18A12	7,5E-01	1,5E-03	Th	100 - 550	10	355.1	65.7		0.3					-5.3	1.083	1.020	1.062	353.7	64.6						
34145A-19A11	7,5E+00	1,3E-02	Th	100 - 530	8	359.0	66.0		1.0					0.1	1.027	1.009	1.017	0.2	65.9						
34145A-19A21	6,5E+00	1,1E-02	Th-Th	180 - 520	8	359.2	65.1	76.5 \pm 1.0	1.7	2.0	0.85	0.84	56.8	0.0126	-1.7	1.060	1.014	1.046	356.1	65.2	76.5 \pm 0.9	14.2	0.8	65.6 \pm 0.8	
34145A-19A12	2,7E+00	4,8E-03	AF	5 - 75	10	354.3	68.8		0.1																
34145A-20A11	2,3E-01	6,6E-04	Th	100 - 530	8	355.6	65.3		1.0					0.1	1.036	1.014	1.022	353.9	65.8						
34145A-20A22	1,8E-01	5,2E-04	AF	5 - 75	10	354.5	67.1		0.1																
34145A-21A11	1,3E+00	4,8E-03	Th	100 - 550	9	359.7	65.1		1.2					0.2	1.057	1.034	1.022	359.1	65.7						
34145A-21A21	2,6E+00	8,1E-03	Th-Th	100 - 520	9	354.0	64.2	76.2 \pm 0.9	2.2	0.9	0.82	0.87	61.8	0.0115	-1.4	1.050	1.009	1.041	354.9	65.1	75.4 \pm 0.9	5.5	-1.1	71.3 \pm 0.9	
34145A-21A12	6,0E-01	1,6E-03	AF	5 - 75	10	358.1	65.5		0.1																
34145A-22A11	6,4E+00	1,5E-02	Th	100 - 530	8	355.2	66.1		2.0					0.7	1.062	1.016	1.045	354.7	65.3						
34145A-22A12	6,7E+00	1,4E-02	Th-Th	180 - 520	8	355.7	63.1	73.8 \pm 1.1	3.7	2.2	0.74	0.85	40.9	0.0154	-2.8	1.054	1.012	1.042	358.2	62.9	76.0 \pm 1.2	12.2	1.4	66.7 \pm 1.0	
34145A-22A13	2,8E+00	6,6E-03	AF	5 - 75	10	354.4	67.1		0.1																
34145A-23A11	1,1E+01	1,7E-02	Th	100 - 550	9	356.1	67.4		1.1					1.8	1.0										

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne par prélèvement est d'abord calculée (Direction déterminée par le protocole de Thellier-Thellier et direction déterminée par désaimantation thermique ou par champ alternatif), puis la direction moyenne des prélèvements (Tableau 2). La Figure 10 montre le très bon regroupement des directions d'aimantation.

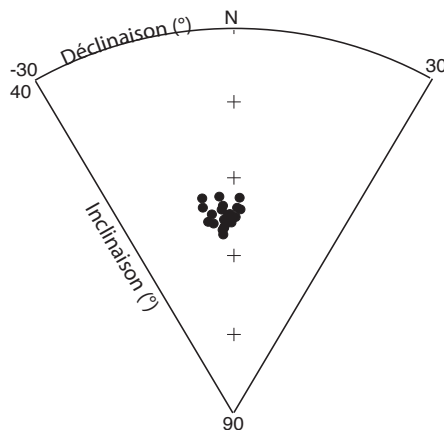


Figure 10 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction d'anisotropie.

Moyennes sans correction

$D = -3.5^\circ$ $I = 65.1^\circ$ $N=23, n=59$ $k=1497$ $\alpha_{95} = 0.8^\circ$
 $F = 74.6 \pm 3.3 \mu\text{T}$ $N=15, n=15$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -2.9^\circ$ $I = 64.9^\circ$ $N=23, n=38$ $k=1943$ $\alpha_{95} = 0.7^\circ$
 $F = 75.1 \pm 3.7 \mu\text{T}$ $N=15, n=15$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$F = 67.0 \pm 3.2 \mu\text{T}$ $N=15, n=15$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -3.1 \pm 1.9^\circ$ $I_p = 68.7 \pm 0.7^\circ$ $F_p = 70.4 \pm 3.2 \mu\text{T}$
 $VDM = 10.7 \cdot 10^{22} \text{A.m}^2$ $VADM = 11.1 \cdot 10^{22} \text{A.m}^2$

Tableau 2 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four du Mas-de-Fourques-II à Lunel

Bibliographie du site

Ott, M. & Pancin, S., 2007. *Mas de Fourques II à Lunel (Hérault), Rapport final d'opération de fouille archéologique*, SRA Languedoc-Roussillon, Montpellier, 158 p.

Lyon, Vaise, 4-6 rue du Mont-d'Or

Code archéomagnétique: 69123L

Contexte archéologique (d'après Carrara *et al.*, 2009)

Dans le 9^{ème} arrondissement de Lyon, des fouilles ont été menées en septembre et octobre 2008 par le Service archéologique de la ville de Lyon au 4-6 rue du Mont-d'Or (Lat : 45.78°N ; Long : 4.81°E). Sur 600 m², ont été mis au jour principalement des vestiges de bâtiments du Premier âge du Fer, mais aussi des structures fossoyées du Second âge du Fer et des bâtiments gallo-romains. Pour l'occupation du Premier âge du Fer, cinq bâtiments construits en matériaux périssables sont avérés et l'existence de 3 autres bâtiments est supposée. Le site pourrait donc être un « quartier d'habitat de l'agglomération de Lyon-Vaise » (Carrara *et al.*, 2009).

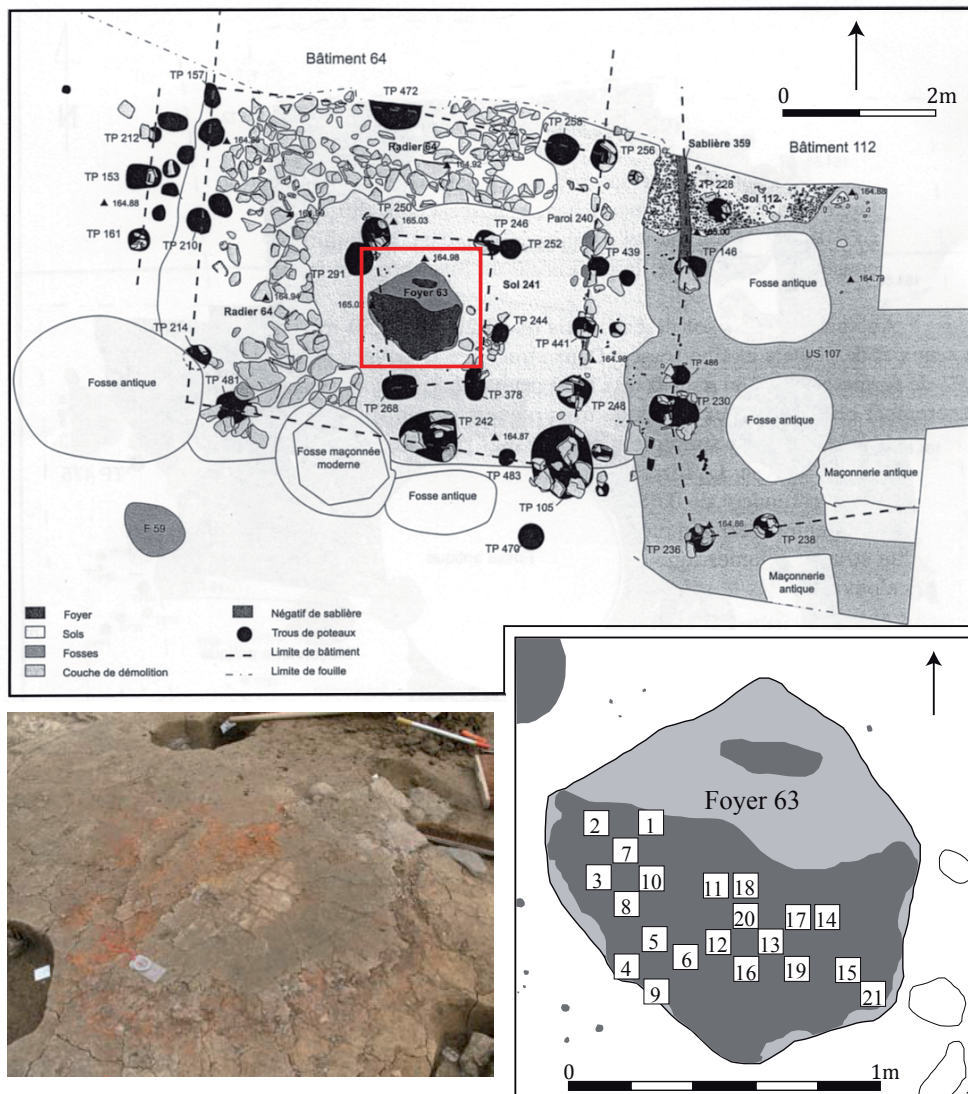


Figure 1 : Plan des bâtiments 64 et 112 (d'après Carrara *et al.*, 2009) et photographie et plan du foyer 63 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (cliché H. Savay-Guerraz).

Les bâtiments sont particulièrement bien conservés dans la partie nord du site, où la stratigraphie a mis en évidence deux états successifs de bâtiments. Le premier état comprend un bâtiment 113, recouvert ensuite par les bâtiments 64 et 112. Ces bâtiments sont à vocation domestique ou de stockage. Le bâtiment 64, à deux nefs et d'une taille probable de 8,4m sur 5,4m, présente un sol construit (241) constitué de terre battue sur un radier de blocs de gneiss (Figure 1). Le foyer 63, associé à ce sol, a été prélevé pour l'archéomagnétisme. C'est un foyer quadrangulaire de taille importante (1,1m sur 1m). Le foyer est constitué d'une sole d'argile d'environ 6 cm d'épaisseur sur un radier de galets installé dans le sol 241. La sole présente une importante rubéfaction. Le foyer est entouré de 7 trous de poteaux, organisés selon un plan trapézoïdal (Figure 1), qui marquent peut-être l'existence d'une construction particulière liée à la structure foillère (cheminée ?).

Datation du foyer 63 (d'après Carrara *et al.*, 2009)

La datation de l'occupation repose sur l'abondant mobilier céramique et amphorique (NR = 6205 et NMI = 866). Les amphores de Marseille et étrusques et la céramique attique (5% en NMI) permettent de dater les vestiges de la fin du I^{er} âge du Fer (Hallstatt D3) et du début du II^{ème} âge du Fer (La Tène A1). Le foyer 63 a donc été calé chronologiquement dans l'intervalle [-500 ; -400].

Prélèvement archéomagnétique

Vingt-et-un prélèvements ont été réalisés sur la sole du foyer 63 par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 6 octobre 2008 (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements très fragiles ont été découpés après induration en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilitémètre Bartington MS2. 5 fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600 et éventuellement 680°C, ainsi que pendant les refroidissements. Les courbes « backfield » d'aimantation rémanente isotherme (ARI) ont également été acquises pour quatre échantillons (prélèvements 6, 7, 13 et 20).

Vingt-deux échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 600°C ont été effectuées sur le four MMTD. Dix-sept échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400 et 565°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à quatorze échantillons dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 60 ou 70µT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Treize chauffes ont été réalisées entre 100 et 605°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 530 ou 560°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 565°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,8°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.03 et 9.40 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 40 et 2000 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger entre 0.5 et 8.5 (Figure 3a). Cette variabilité illustre la variabilité de la chauffe : les échantillons les moins aimantés sont situés en périphérie du foyer (2, 3, 4, 9, 15, 19 et 21).

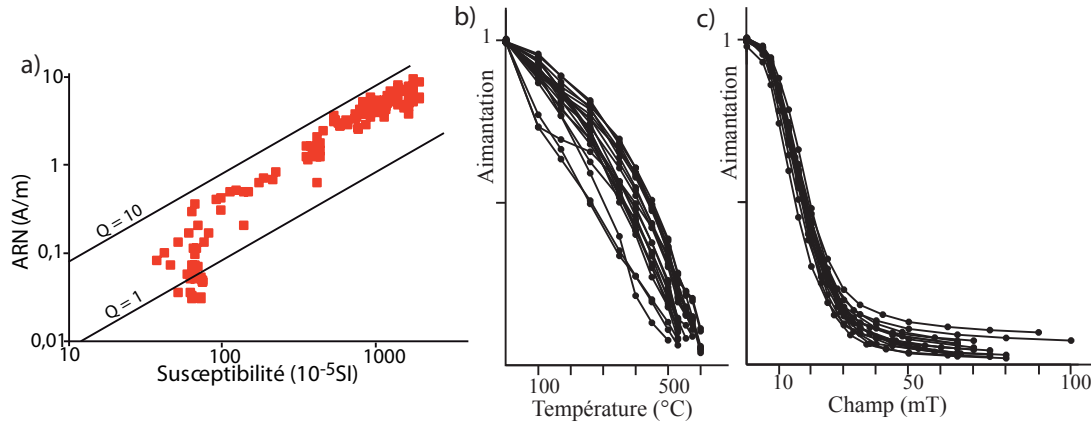


Figure 3 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer de Lyon-Vaise. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

L'aimantation est débloquée à des températures et des champs homogènes à l'échelle de la structure (Figure 3b et c). Les Median Demagnetizing Field (MDF) entre 15 et 20 mT marquent la prédominance d'une phase de faible coercivité. Les courbes thermomagnétiques (Figure 4) indiquent que cette phase ferromagnétique est une magnétite pauvre en titane (Sur cinq échantillons, quatre ont un point de Curie entre 560 et 580°C). Les courbes montrent aussi la présence d'autres phases ferromagnétiques, comme une phase de basse température de Curie (échantillons 7, 16 et 20 par exemple). Cette phase non réversible n'est probablement pas la phase identifiée par McIntosh *et al.* (2011). Deux échantillons (6 et 20) ont un point de Curie compris entre 600 et 610°C, ce qui indique probablement la présence de titanomaghémites ou de titanomagnétites partiellement oxydées. Les courbes thermomagnétiques de chauffe et de refroidissement sont assez réversibles après une chauffe à 400°C, mais montrent des importantes évolutions à haute température, ce qui illustre l'instabilité de la minéralogie ferromagnétique probablement à cause d'une chauffe insuffisante.

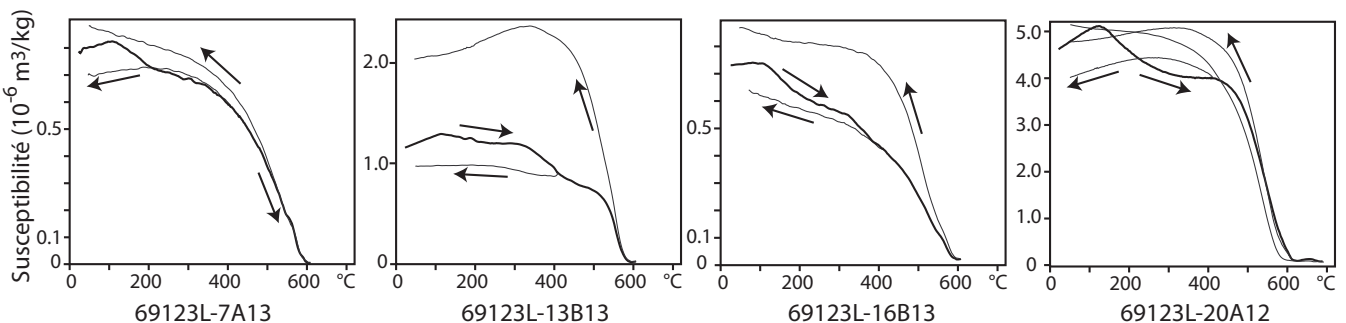


Figure 4 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

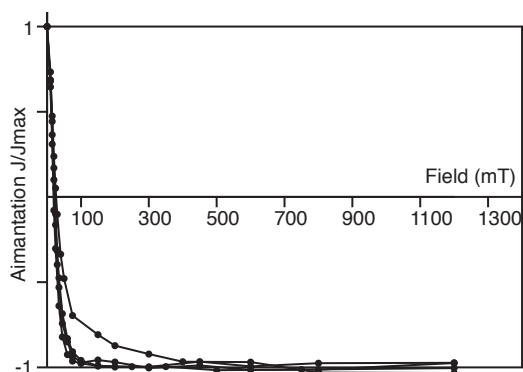


Figure 5 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes « backfield » pour 4 échantillons de Lyon-Vaise (6B12, 7A12, 13A12, 20A12). Contrairement aux autres échantillons, l'aimantation de 7A12 n'est pas saturée par des champs d'environ 200mT, ce qui montre la présence d'une autre phase ferromagnétique de plus forte coercivité.

Les acquisitions d'ARI (Figure 5) confirment les courbes thermomagnétiques avec la prédominance de la magnétite : les champs coercitifs rémanents sont compris entre 19 et 27 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} entre 6 et 137 A/m. Pour trois échantillons (6, 13 et 20), la saturation des courbes d'acquisition d'ARI démontre l'absence d'une phase ferromagnétique de forte coercivité (comme l'hématite ou la goéthite). La présence de telle phase de plus forte coercivité comme pour l'échantillon 7 n'est en général pas détectée par les courbes thermomagnétiques. En admettant l'homogénéité de la minéralogie magnétique, la phase de basse température bien identifiée pour l'échantillon 20 n'est donc probablement pas une goéthite mais plutôt une titanomagnétite.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Tous les échantillons (sauf un) portent une seule composante d'aimantation (Figure 6), dont la direction a été déterminée par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). L'échantillon 4A11, situé en périphérie du foyer, porte 2 composantes d'aimantation peu distinctes : la direction d'aimantation a donc été analysée par un grand cercle (Figure 6 à droite). Les directions d'aimantation sont récapitulées dans le tableau 1.

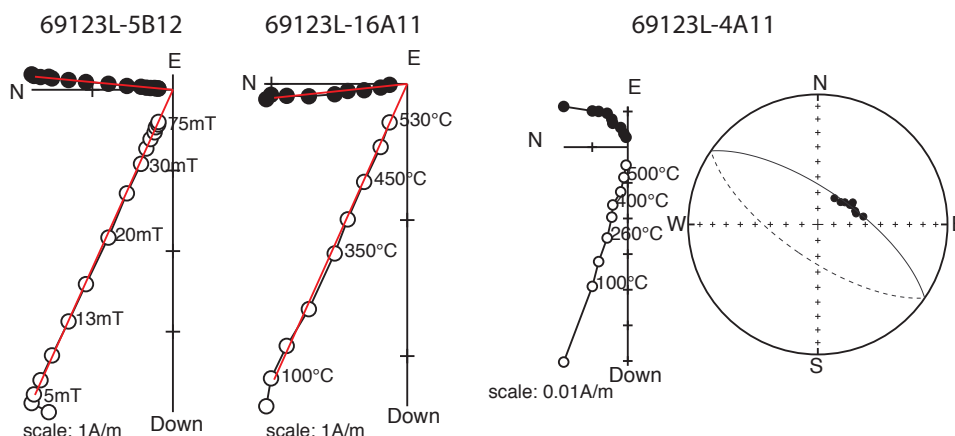


Figure 6 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs d'échantillons désaimantés par champ alternatif (à gauche) et thermiquement (au centre et à droite). La quasi-totalité des échantillons portent deux composantes d'aimantation, sauf 4A11. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/ GCA	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie						
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
69123L-1A11	1,7E+00	4,4E+02	Th	350 - 530	PCA	5	349.6	77.0	1.2	-2.7	1.051	1.017	1.033	350.2	76.4
69123L-1A12	1,6E+00	3,8E+02	AF	5 - 100	PCA	13	359.5	77.6	0.3	-6.8	1.072	1.022	1.019	354.6	77.9
69123L-2A22	7,0E-02	6,6E+01	Th	100 - 530	PCA	8	356.8	60.9	2.1	1.4	1.107	1.038	1.066	352.2	62.3
69123L-3A11	1,2E+00	4,4E+02	Th	100 - 530	PCA	8	7.5	70.5	0.8	0.3	1.094	1.033	1.058	5.9	70.4
69123L-3B11	6,1E-01	4,1E+02	AF	5 - 65	PCA	12	2.4	67.3	0.3	-2.8	1.037	1.013	1.024	1.8	67.4
69123L-4A11	6,4E-02	6,8E+01	Th	100 - 530	GCA	8	214.4	21.4	15.1	-0.4	1.046	1.009	1.037	215.3	21.5
69123L-5A11	7,3E+00	1,4E+03	Th	100 - 600	PCA	11	3.3	64.8	0.9	-2.6	1.085	1.040	1.044	1.2	65.5
69123L-5B12	4,3E+00	9,0E+02	AF	5 - 90	PCA	14	5.4	65.5	0.3	-2.3	1.083	1.019	1.062	2.2	66.6
69123L-6A11	5,1E+00	8,3E+02	Th	100 - 600	PCA	11	4.9	64.6	0.9	-6.2	1.093	1.075	1.016	2.5	62.8
69123L-6B11	5,8E+00	9,1E+02	AF	5 - 80	PCA	14	6.0	69.6	0.3	-4.5	1.071	1.007	1.063	3.4	71.1
69123L-7A11	5,0E-01	1,2E+02	Th	350 - 530	PCA	8	3.1	72.6	1.0	-0.3	1.070	1.017	1.052	358.9	73.6
69123L-7B11	2,5E+00	7,6E+02	AF	5 - 70	PCA	13	6.8	67.8	0.4	-1.6	1.063	1.014	1.048	6.7	68.7
69123L-8A11	3,4E+00	1,1E+03	Th	100 - 530	PCA	8	358.9	68.8	1.0	-1.6	1.041	1.010	1.031	358.7	69.5
69123L-8A12	3,8E+00	1,1E+03	AF	5 - 75	PCA	12	3.1	66.0	0.3	-1.2	1.063	1.016	1.046	1.4	67.5
69123L-9A11	1,6E-01	8,3E+01	Th	100 - 530	PCA	8	351.3	62.9	1.1	-4.2	1.039	1.014	1.025	353.1	63.5
69123L-10A11	5,3E+00	1,8E+03	Th	100 - 600	PCA	11	3.8	66.9	1.1	-5.3	1.037	1.018	1.018	3.3	66.8
69123L-10B11	4,4E+00	1,6E+03	AF	5 - 70	PCA	11	357.9	72.1	0.4	-4.5	1.066	1.011	1.054	353.5	72.4
69123L-11A11	8,4E+00	1,9E+03	Th	100 - 600	PCA	11	1.7	67.5	1.1	-6.8	1.064	1.038	1.025	3.7	67.7
69123L-11B11	3,6E+00	1,6E+03	AF	5 - 65	PCA	11	8.5	66.0	0.3	-3.8	1.052	1.001	1.051	9.8	67.3
69123L-12A11	3,7E+00	8,0E+02	Th	100 - 600	PCA	11	0.4	63.6	0.9	-4.6	1.071	1.032	1.037	358.5	64.2
69123L-12A12	6,6E+00	1,6E+03	AF	5 - 65	PCA	11	0.5	63.8	0.3	-7.2	1.110	1.025	1.083	358.9	65.4
69123L-13A11	4,4E+00	1,2E+03	Th	100 - 575	PCA	10	351.5	70.1	1.0	-5	1.041	1.009	1.031	350.0	70.5
69123L-13B12	5,9E+00	1,2E+03	AF	5 - 65	PCA	11	354.1	65.5	0.3	-8.4	1.102	1.017	1.084	350.2	67.4
69123L-14A11	7,0E+00	1,5E+03	Th	100 - 600	PCA	11	357.4	63.9	1.2	-4.2	1.064	1.048	1.015	359.4	64.1
69123L-14B11	3,4E+00	7,5E+02	AF	5 - 65	PCA	11	344.7	67.0	0.2	-6.8	1.060	1.024	1.035	344.8	67.0
69123L-15A11	6,8E-01	1,9E+02	Th	100 - 530	PCA	8	342.8	65.7	1.1	0.7	1.069	1.016	1.052	340.4	66.3
69123L-15A13	4,7E-01	1,5E+02	AF	5 - 70	PCA	13	348.1	66.3	0.4	-5.7	1.078	1.026	1.051	347.7	68.3
69123L-16A11	2,6E+00	7,6E+02	Th	100 - 530	PCA	8	353.5	65.6	0.8	-2	1.054	1.028	1.026	352.3	66.2
69123L-16B12	3,9E+00	9,8E+02	AF	5 - 80	PCA	13	356.1	67.0	0.3	-4.8	1.063	1.018	1.044	355.0	67.3
69123L-17A11	4,0E+00	1,1E+03	Th	260 - 575	PCA	8	352.2	64.5	0.8	-3.6	1.029	1.011	1.017	351.7	65.1
69123L-17A12	5,0E+00	1,6E+03	AF	5 - 75	PCA	14	355.5	67.3	0.2						
69123L-18A11	5,7E+00	1,9E+03	Th	100 - 600	PCA	11	359.2	65.0	1.1	-5.6	1.043	1.030	1.012	358.8	65.3
69123L-18B11	5,2E+00	1,6E+03	AF	5 - 65	PCA	12	358.0	68.7	0.3	-4.8	1.086	1.032	1.052	354.7	70.1
69123L-19A11	4,9E+00	1,2E+03	Th	100 - 575	PCA	10	0.1	63.1	1.1	-1.3	1.082	1.037	1.044	0.7	63.9
69123L-19B11	4,4E+00	1,0E+03	AF	5 - 65	PCA	11	354.9	64.1	0.2	-4.2	1.092	1.029	1.061	354.3	64.5
69123L-20A11	9,4E+00	1,8E+03	Th	170 - 600	PCA	10	3.9	66.1	0.9	-4.4	1.072	1.050	1.021	2.4	66.3
69123L-20B11	5,2E+00	1,1E+03	AF	5 - 75	PCA	12	1.9	64.8	0.4	-6.8	1.071	1.013	1.057	0.6	66.0
69123L-21A13	1,1E+00	3,6E+02	Th	170 - 530	PCA	7	351.8	66.1	0.9	1.1	1.096	1.072	1.023	352.5	67.6
69123L-21B11	8,0E-01	2,3E+02	Th	100 - 500	PCA	7	356.6	61.7	1.2	7.7	1.128	1.021	1.105	356.8	64.3

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantations thermique et par champ alternatif)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Les quatorze échantillons, sélectionnés par leur forte intensité d'aimantation rémanente naturelle, présentent des archéointensités dispersées entre 58 et 93 μ T (Tableau 2). Aucun d'entre eux ne présente de bouclages négatifs (la différence limite entre les ATR acquises a été fixée à 10% de l'ATR acquise) ou une déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire, c'est-à-dire l'axe Y. Les diagrammes ARN-ATR ont une forme linéaire (Figure 7 à gauche et au milieu) ou légèrement convexe (Figure 7 à droite). évoluent minéralogiquement généralement à partir de 450°C, voire 350°C (échantillon 16A13). Ces acquisitions d'aimantation rémanente chimique sont plus détectées par la déviation de la

direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire que par les pTRM checks. L'absence de variation de la direction d'ARN est le critère principal pour déterminer la composante d'aimantation.

Six échantillons respectent les critères d'acceptation $f > 0.4$, $Mad < 5^\circ$, $Dang < 5^\circ$, $\beta < 0.05$. La légère convexité peut-être expliquée par une taille plus élevée des grains ferromagnétiques ou par des évolutions minéralogiques en cours de chauffe. En l'absence d'analyses minéralogiques plus complètes sur la taille des grains (comme des courbes d'hystérésis ou des FORC), il est difficile de départager ces deux hypothèses. Les MDF et les Hcr des échantillons acceptés n'apparaissent cependant pas plus élevés que ceux des échantillons rejetés. Les résultats d'archéointensité sont présentés Tableau 2. Les échantillons acceptés tendent à avoir des courbes thermomagnétiques plus réversibles que les autres échantillons.

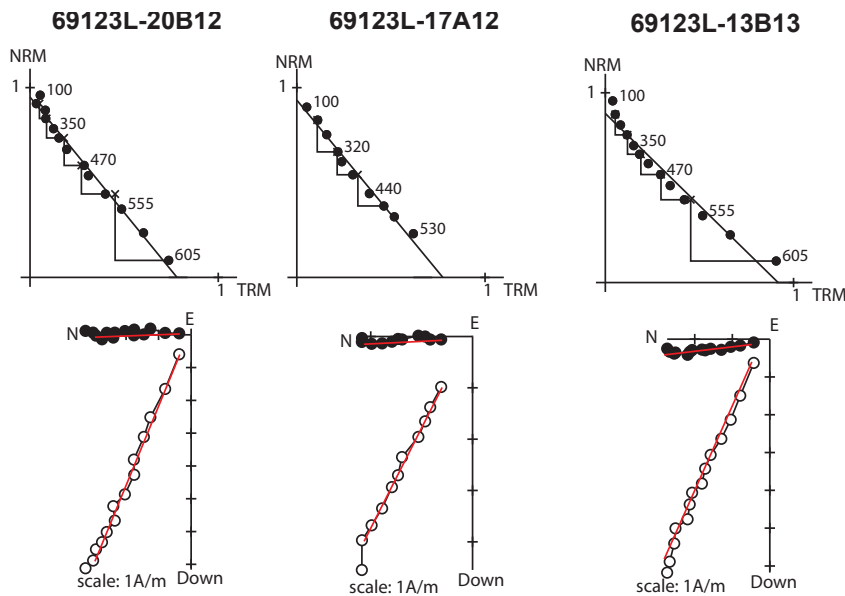


Figure 7 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens a et b sont acceptés car ils respectent les critères. L'échantillon c est rejeté car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 2 et 12% (Tableaux 1 et 2). A l'échelle de la structure, l'axe minimal du tenseur d'anisotropie est proche de la verticale (Figure 8), comme il est couramment observé pour les foyers. L'application de la correction d'anisotropie améliore légèrement le regroupement des archéodirections et des archéointensités (Tableau 3).

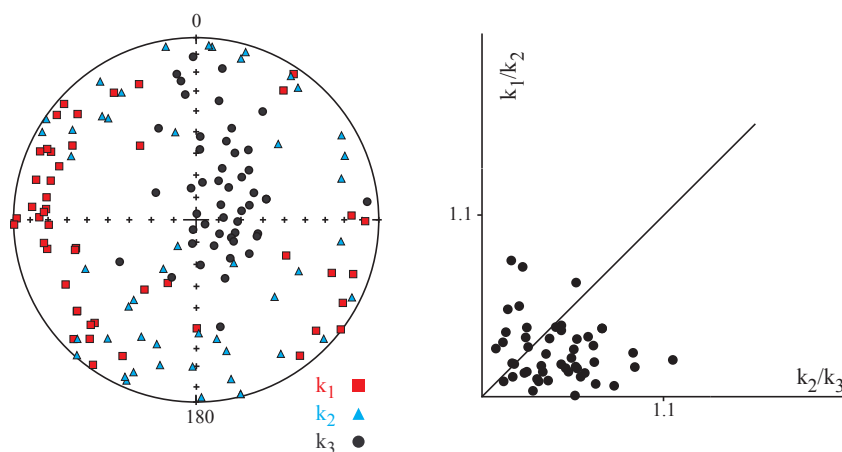


Figure 8 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à seulement deux échantillons (Tableau 2). La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures est faible avec des valeurs inférieures à 5%. La correction est appliquée si elle est supérieure à l'évolution minéralogique intervenue au cours de l'expérimentation.

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie					Vitesse de refroidissement				
														Dérive (%)	K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)	$F_a \pm$ std (μ T)	%corr	%evol	$F_{a+c} \pm$ std (μ T)
69123L-5B13	5,1E+00	8,4E+02	100 - 490	7	0.1	66.4	83.5 \pm 5.6	3.0	2.2	0.65	0.82	8.0	0.067	7.6	1.076	1.027	1.048	358.9	65.8	81.7 \pm 5.4	1.2	0.6	80.7 \pm 5.3
69123L-6A12	3,5E+00	5,3E+02	100 - 605	13	1.0	64.3	66.4 \pm 3.5	1.6	0.8	1.02	0.90	17.4	0.053	-3.2	1.048	1.014	1.034	0.6	65.1	67.1 \pm 3.5	4.6	-1.3	64.0 \pm 3.4
69123L-7A13	3,0E+00	5,3E+02	100 - 605	13	357.5	72.0	69.8 \pm 3.1	1.5	1.0	0.99	0.90	20.3	0.044	-3.4	1.036	1.019	1.017	357.6	72.4	71.6 \pm 3.1	2.4	2.0	69.9 \pm 3.1
69123L-8B11	5,7E+00	1,4E+03	100 - 490	7	0.6	67.7	86.5 \pm 5.9	3.1	1.8	0.77	0.82	9.2	0.069	2.1	1.041	1.026	1.015	359.6	67.1	84.9 \pm 5.8	2.8	-0.4	82.5 \pm 5.6
69123L-10A13	5,4E+00	1,8E+03	100 - 530	10	358.6	70.0	84.2 \pm 4.0	3.4	2.2	0.71	0.88	13.2	0.047	4.8	1.081	1.039	1.041	355.7	70.7	81.1 \pm 3.8	2.0	-1.6	79.5 \pm 3.7
69123L-11A12	6,7E+00	1,8E+03	100 - 490	7	358.3	66.6	86.1 \pm 4.4	4.2	0.5	0.51	0.82	8.3	0.051	-1.9	1.058	1.047	1.011	355.3	66.5	88.2 \pm 4.4	-0.6	0.5	88.7 \pm 4.4
69123L-12B12	6,9E+00	1,6E+03	100 - 490	7	357.3	63.7	77.8 \pm 5.3	3.9	2.9	0.57	0.82	6.9	0.068	0.1	1.086	1.032	1.052	354.4	64.6	81.6 \pm 5.5	0.0	-1.8	-
69123L-13B13	6,8E+00	1,2E+03	100 - 605	13	351.1	64.0	58.2 \pm 3.7	2.5	2.0	0.95	0.88	13.1	0.064	-6.0	1.080	1.006	1.073	350.3	65.3	58.7 \pm 3.8	1.9	-0.8	57.6 \pm 3.7
69123L-14A12	7,4E+00	1,6E+03	100 - 490	7	351.4	64.0	86.0 \pm 4.9	3.4	0.6	0.51	0.82	7.4	0.057	-0.9	1.050	1.017	1.033	352.0	63.4	84.8 \pm 4.8	-0.7	-2.2	-
69123L-16B13	3,1E+00	6,4E+02	100 - 605	13	354.8	63.1	60.9 \pm 2.4	1.9	1.2	0.96	0.89	22.3	0.039	-5.3	1.058	1.033	1.024	353.9	63.3	63.9 \pm 2.5	1.3	-4.5	-
69123L-17A12	5,0E+00	1,6E+03	100 - 530	10	357.4	61.3	84.3 \pm 3.7	2.9	1.7	0.72	0.88	14.4	0.044	5.2	1.032	1.004	1.028	356.5	61.9	86.1 \pm 3.8	1.5	-2.5	-
69123L-18B12	5,4E+00	1,9E+03	100 - 500	9	358.3	64.1	93.0 \pm 2.2	4.4	2.7	0.55	0.86	19.9	0.024	6.0	1.035	1.027	1.008	356.6	64.0	92.0 \pm 2.2	1.0	-1.3	-
69123L-19A12	5,2E+00	1,0E+03	100 - 490	7	355.5	64.6	81.3 \pm 6.7	2.9	3.3	0.64	0.82	6.5	0.082	-1.4	1.078	1.055	1.022	353.9	63.6	82.0 \pm 6.7	3.7	0.4	79.0 \pm 6.5
69123L-20B12	7,8E+00	1,4E+03	100 - 605	13	0.6	66.4	73.0 \pm 2.7	3.0	1.6	0.90	0.88	21.9	0.036	-6.8	1.021	1.009	1.012	0.9	66.5	72.7 \pm 2.6	-	-	-

Tableau : Résultats d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (12 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées après désaimantation thermique et par champ alternatif. Les archéodirections sont bien regroupées avec un facteur k égal à 683 (Figure 9 et Tableau 3). Le prélèvement 1, qui présente une direction d'aimantation hors-tendance, n'a pas été pris en

compte dans le calcul de la direction moyenne. L'archéointensité moyenne est calculée avec les six spécimens acceptés et est pondérée par le facteur de qualité q et le nombre d'étapes (Prévôt, 1985).

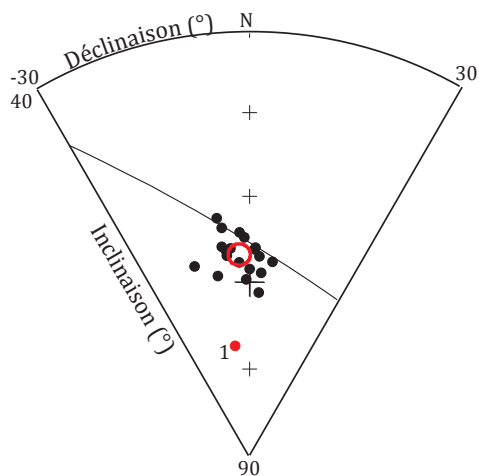


Figure 9 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction d'anisotropie. Le prélèvement 1 est rejeté.

Moyennes sans correction

$D = -1.8^\circ$ $I = 66.0^\circ$ $N=20, n=37$ $k=608$ $\alpha_{95} = 1.3^\circ$
 $F = 77.3 \pm 11.7 \mu T$ $N=6, n=6$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -2.9^\circ$ $I = 66.8^\circ$ $N=20, n=37$ $k=683$ $\alpha_{95} = 1.3^\circ$
 $F = 77.8 \pm 10.4 \mu T$ $N=6, n=6$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$F = 77.3 \pm 10.5 \mu T$ $N=6, n=6$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -2.8 \pm 3.6^\circ$ $I_p = 68.7 \pm 1.3^\circ$ $F_p = 79.6 \pm 10.5 \mu T$
 $VDM = 12.5 \cdot 10^{22} A.m^2$ $VADM = 12.1 \cdot 10^{22} A.m^2$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du foyer 63 du 4-6 rue du Mont-d'Or à Lyon.

Bibliographie

Carrara, S., Monin, M., Bertrand, E. & Mège, C., 2009. Les habitats de la fin du VI^{ème} et du V^{ème} s. av. J.-C., rue du Mont d'Or à Lyon-Vaise (Rhône), *Bulletin de l'association française pour l'étude de l'âge du Fer*, 27, 13-18

Marlenheim, Maison-Apprederis

Code archéomagnétique: 67282A

Contexte archéologique (d'après Châtelet 2006)

Le site de la Maison-Apprederis à Marlenheim (Lat : 48.62°N ; Long : 7.5°E) a été fouillé au cours de l'été 2008 par l'INRAP (équipe dirigée par Madeleine Châtelet). Sur une surface de 2243 m², deux phases d'occupation ont été identifiées, la première datée de la Tène finale et la seconde médiévale. La phase laténienne est caractérisée par un habitat avec des puits, des fosses et deux fours de potiers. Les deux fours, dénommés ST 70 (four 1) et ST 71 (four 2), partagent une aire de chauffe commune (Figure 1). Si le four 1 est entièrement conservé, seule la partie ouest du four 2 a été préservée.

Le four 1 (ST 70) est un four à deux alandiers opposés, et en conséquence deux aires de chauffe (Figure 1), selon un modèle assez courant en Alsace (exemple du site de Dambach-la-Ville). C'est un four à plateforme (c'est-à-dire sans sole) : ce type de four est aussi appelé « four à un volume ». La plateforme centrale a un diamètre d'environ 90 cm. Les parois du four et la plateforme sont creusées dans le substrat argileux, qui est rubéfié sur une épaisseur de 4 à 5 centimètres environ. La rubéfaction est plus importante sur la plateforme.

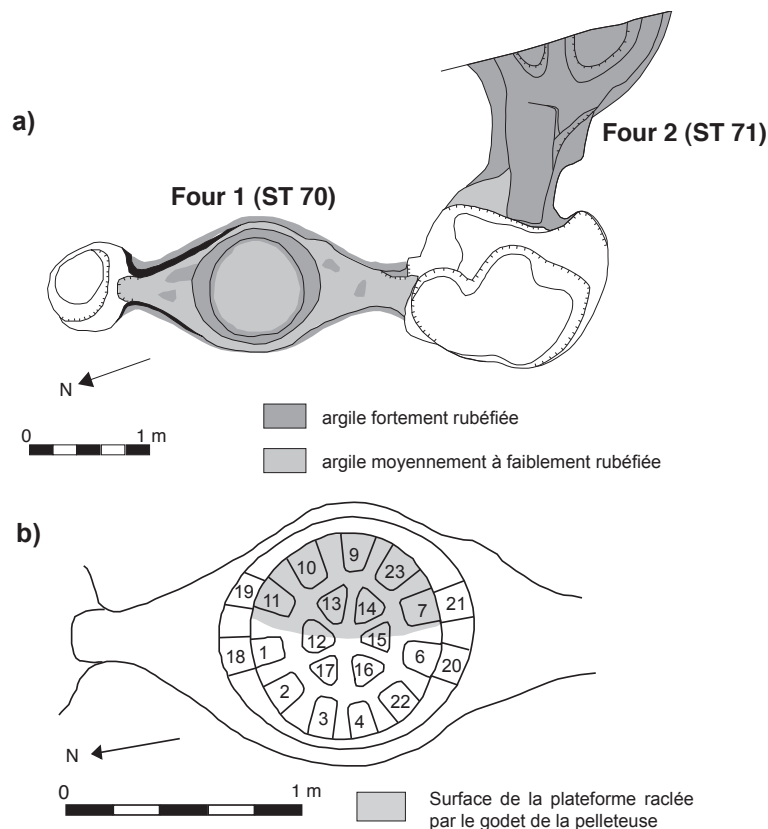


Figure 1 : a) Plan des fours 1 et 2 du site de la Maison-Apprederis à Marlenheim et b) plan de localisation des prélèvements archéomagnétiques. (d'après Châtelet, 2006)

D'après les ratés de cuisson, dans ce four (mais aussi dans le four 2) ont principalement été produits des *dolia* du type de Zürich-Lindenhof. Le mobilier céramique retrouvé dans les

fours et l'aire de chauffe, notamment les *dolia* du type Zürich-Lindenhof, permettent de proposer une datation à La Tène D2, c'est-à-dire plus précisément dans l'intervalle de date [-60 ; -30].

Prélèvement archéomagnétique

Dix-neuf prélèvements ont été réalisés par Fabrice Charlier le 6 août 2003. Ils sont situés sur la partie sommitale de la plateforme et sur ses parois dans l'axe des alandiers (Figure 1). Il faut noter que la moitié est du sommet de la plateforme a été raclée par le godet de la pelleuse lors du décapage. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Neuf fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450 puis 600 ou 650°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Vingt-trois échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 520°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à neuf échantillons dans les fours « maisons » avec un champ laboratoire de 60µT appliqué selon l'axe Y des spécimens (soit quasi perpendiculairement à l'ARN). Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 570°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 530°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 550°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,3°C/min (soit un refroidissement sur environ 24 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Pour le four du Marlenheim, l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.08 et 8 A/m et de la susceptibilité en champ faible entre 50 et 1200 10⁻⁵SI. Ceci correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 1 et 9 (Figure 2a). Ces fortes valeurs suggèrent une minéralogie magnétique stable. Les prélèvements les plus aimantés (1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11 et 23) proviennent du pourtour extérieur de la plateforme centrale, pour laquelle la chauffe aurait donc été plus intense.

Les caractéristiques minéralogiques de l'ensemble des prélèvements sont homogènes, comme le montre les températures de déblocage (Figure 2b), les courbes thermomagnétiques (Figure 3) et les acquisitions d'ARI (Figure 4). Les points de Curie entre 575 et 580°C indiquent que la phase de faible coercivité principale est une titanomagnétite très pauvre en titane. La non-saturation des courbes d'ARI vers 200mT montre également la présence (en faible proportion néanmoins) de phases ferromagnétiques de forte coercivité. Le prélèvement 10, pour des raisons inconnues, a des températures de déblocage plus faibles. L'irréversibilité de certaines courbes thermomagnétiques (Figure 3) indique enfin que des évolutions minéralogiques sont possibles au cours du protocole de Thellier-Thellier.

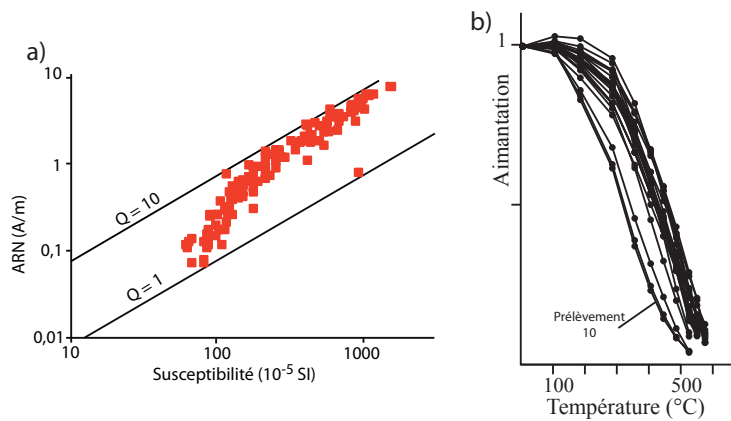


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de la maison Apprederis à Marlenheim. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

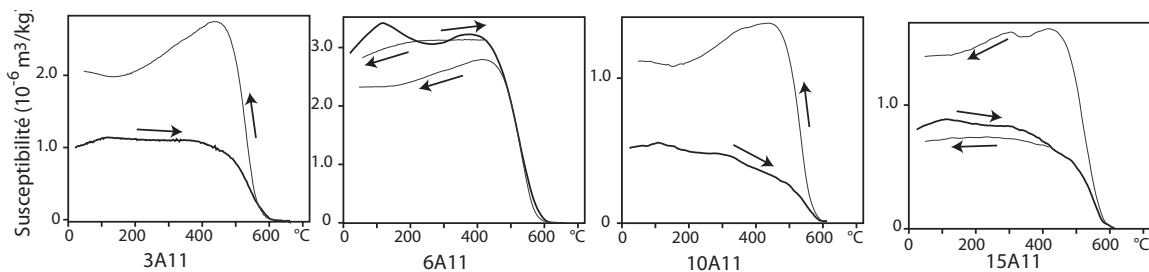


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

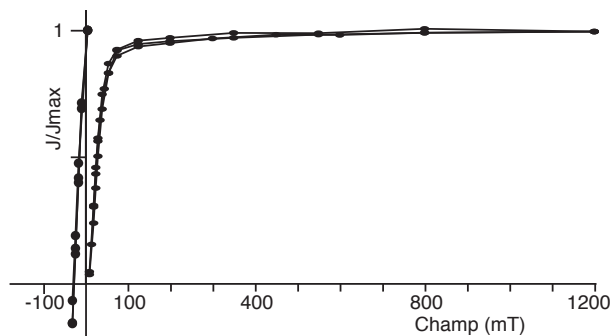


Figure 4 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et « backfield » pour trois échantillons du four de Marlenheim (3A22, 15A13 et 18A12). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 22.1, 23.7 et 22.1 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 16.3, 18.9 et 19.0 A/m.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Dix-neuf échantillons (sur 23) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Pour les autres, la composante déterminée ne passe pas par l'origine, ce qui indique que la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer les aimantations acquises précédemment. On peut remarquer que ces prélèvements 6, 7, 15 et 23 proviennent tous de la partie sud de la plateforme, qui aurait donc

subi une chauffe plus modérée que l'autre moitié de la plateforme. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le tableau 1.

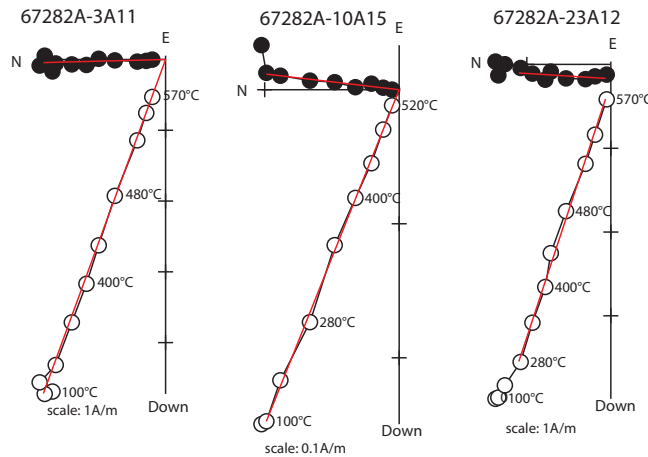


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Les spécimens à gauche et au centre présentent une seule composante d'aimantation. Pour le spécimen de droite, la composante d'aimantation déterminée ne passe pas par l'origine. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Protocole de Thellier-Thellier

Sur neuf spécimens, huit donnent de bons résultats (Tableau 1 et Figure 6) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.5$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). L'échantillon 15A12 est rejeté, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe et une déviation importante de l'ARN dans la direction du champ appliqué en laboratoire. Comme le prélèvement 15 ne semble pas avoir une minéralogie magnétique différente des autres échantillons (Figures 3 et 4), ce comportement peut être associé à une chauffe insuffisante de l'argile pour stabiliser la minéralogie magnétique.

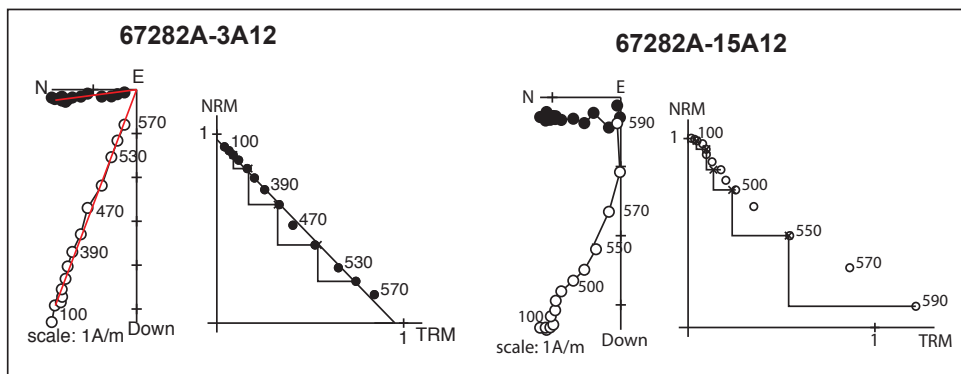


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Le spécimen 3A12 (à gauche) est accepté, alors que le spécimen 15A12 (à droite) est rejeté, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages qui varient entre 2 et 11% (Tableau 1). A l'échelle de la structure, l'axe minimum d'anisotropie tend à se

Annexe 3 : Etude des sites français, Marlenheim Maison-Apprederis

rapprocher de la verticale (Figure 7). L'application de la correction d'anisotropie améliore le regroupement des archéodirections et des archéointensités (Tableau 2).

La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est comprise entre 4 et 11% (Tableau 1). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à l'ensemble des échantillons, mais ne regroupe pas significativement les archéointensités (Tableau 2).

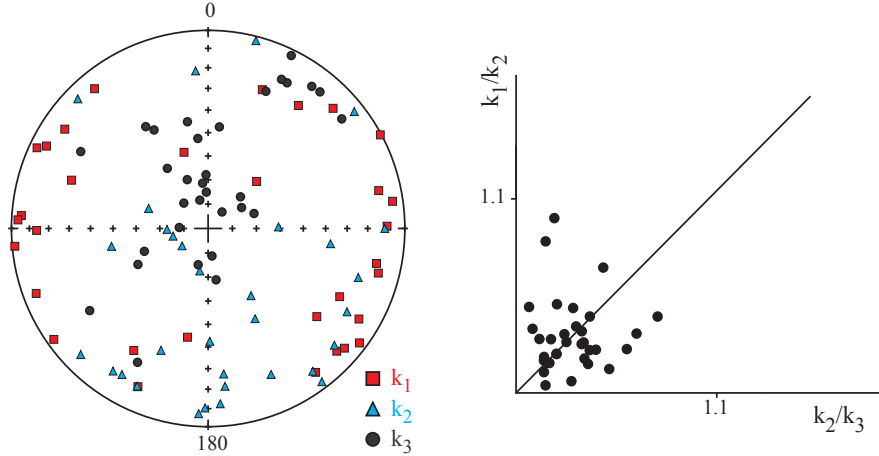


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM /II ^{re}	n	D(°)	I(°)	F ± std (μT)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie					Vitesse de refroidissement						
															Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a ± std (μT)	%corr	%evol	F _{a+c} ± std (μT)		
67282A-1A21	3,0E+00	4,6E+02	Th	100 - 545	ChRM	9	356.1	67.7	1.2						7.0	1.061	1.022	1.038	354.1	67.3						
67282A-1A12	4,3E+00	5,8E+02	Th-Th	100 - 570	ChRM	13	354.2	68.4	69.1 ± 1.7	2.5	1.0	0.88	0.88	31.0	-0.025	1.0	1.051	1.043	1.007	355.4	67.2	69.4 ± 1.7	11.5	0.1	61.4 ± 1.5	
67282A-2A21	6,2E+00	1,1E+03	Th	280 - 520	ChRM	6	357.4	68.1	0.8						1.9	1.020	1.004	1.016	357.5	68.0						
67282A-2A12	4,5E+00	8,8E+02	Th-Th	100 - 550	ChRM	12	357.4	68.0	68.8 ± 1.4	2.1	0.4	0.87	0.89	37.5	-0.020	1.1	1.056	1.030	1.025	358.8	67.1	70.5 ± 1.4	7.8	1.2	65.0 ± 1.3	
67282A-3A11	5,0E+00	8,3E+02	Th	280 - 570	ChRM	8	357.7	70.3	0.5						5.7	1.067	1.045	1.021	356.9	69.7						
67282A-3A12	5,7E+00	9,1E+02	Th-Th	100 - 570	ChRM	13	352.7	69.0	61.2 ± 1.2	2.4	1.0	0.82	0.90	36.2	-0.020	0.4	1.053	1.026	1.026	353.4	68.6	63.5 ± 1.3	7.4	0.1	58.8 ± 1.2	
67282A-4A11	4,8E+00	8,0E+02	Th	100 - 520	ChRM	8	1.3	68.4	0.5						1.7	1.094	1.030	1.062	355.2	67.8						
67282A-4A12	6,6E+00	1,2E+03	Th-Th	100 - 550	ChRM	12	356.1	68.0	66.4 ± 1.6	2.1	0.2	0.81	0.89	29.8	-0.024	-0.5	1.053	1.017	1.035	356.5	67.6	69.3 ± 1.7	4.4	-0.1	66.3 ± 1.6	
67282A-6A11	2,5E+00	6,5E+02	Th	280 - 570	ChRM	8	350.0	70.5	1.0						2.7	1.031	1.016	1.015	350.0	70.1						
67282A-6A15	1,2E+00	2,9E+02	Th	280 - 545	II ^{re}	7	13.1	70.8	2.3						2.5	1.114	1.039	1.073	4.4	71.4						
67282A-7A11	1,3E+00	2,3E+02	Th	280 - 520	II ^{re}	6	358.8	70.9	1.9						5.8	1.074	1.043	1.030	353.4	71.7						
67282A-9A11	1,4E+00	2,6E+02	Th	280 - 545	ChRM	7	2.6	70.2	0.7						6.3	1.052	1.015	1.037	359.3	70.1						
67282A-9A12	3,5E+00	6,0E+02	Th-Th	100 - 530	ChRM	11	357.4	70.2	71.6 ± 3.1	3.0	1.2	0.74	0.88	14.8	-0.044	4.6	1.042	1.032	1.009	0.6	70.5	71.0 ± 3.1	10.3	2.2	63.7 ± 2.8	
67282A-9A13	5,5E+00	9,1E+02	Th	100 - 570	ChRM	10	357.4	69.6	0.8						7.6	1.061	1.012	1.048	355.1	68.7						
67282A-10A11	8,1E-02	8,0E+01	Th	280 - 520	ChRM	6	8.4	65.6	1.1						10.8	1.066	1.031	1.034								
67282A-10A15	2,7E-01	9,9E+01	Th	100 - 520	ChRM	8	6.8	68.1	0.7						9.4	1.059	1.025	1.034	3.9	68.4						
67282A-11A11	1,5E+00	2,6E+02	Th	100 - 570	ChRM	10	355.1	69.8	1.0						1.8	1.078	1.039	1.038	355.0	70.6						
67282A-11A13	4,4E+00	1,0E+03	Th-Th	100 - 550	ChRM	12	349.8	67.5	68.6 ± 1.9	2.5	0.4	0.82	0.90	26.2	-0.028	0.3	1.061	1.026	1.035	349.8	66.8	71.4 ± 2.0	4.2	-0.1	68.4 ± 1.9	
67282A-12A11	3,1E-01	1,8E+02	Th	280 - 545	ChRM	7	352.6	69.8	1.1						5.9	1.033	1.015	1.017	351.1	69.8						
67282A-13A11	1,8E+00	3,6E+02	Th	280 - 570	ChRM	8	356.5	68.2	1.2						6.9	1.040	1.027	1.012	354.3	68.6						
67282A-13A21	1,4E-01	6,6E+01	Th	280 - 520	ChRM	6	354.6	70.8	1.8						11.7	1.080	1.022	1.057								
67282A-14A11	4,2E-01	1,5E+02	Th	280 - 545	ChRM	7	357.3	70.5	0.9						4.9	1.035	1.006	1.029	355.3	70.7						
67282A-15A11	3,1E-01	1,2E+02	Th	280 - 520	II ^{re}	6	0.4	71.1	4.1						4.3	1.111	1.063	1.045	355.0	71.5						
67282A-15A12	3,5E+00	5,8E+02	Th-Th	Rejeté																						
67282A-16A11	2,7E-01	1,3E+02	Th	280 - 545	ChRM	7	359.6	70.2	0.8						5.3	1.033	1.018	1.015	358.7	70.4						
67282A-18A11	3,5E+00	7,3E+02	Th	280 - 570	ChRM	8	358.4	67.9	1.4						5.4	1.046	1.027	1.018	356.1	68.3						
67282A-18A21	3,2E+00	8,6E+02	Th-Th	100 - 500	ChRM	10	358.1	68.3	66.8 ± 2.5	2.3	1.1	0.72	0.87	17.0	-0.037	2.4	1.093	1.077	1.016	358.4	68.1	70.9 ± 2.7	5.2	0.7	67.2 ± 2.5	
67282A-19A21	2,4E+00	5,3E+02	Th	280 - 570	ChRM	8	348.2	68.9	1.3						7.1	1.066	1.034	1.031	347.1	69.6						
67282A-21A21	2,2E+00	4,3E+02	Th	100 - 545	ChRM	9	355.7	71.5	0.7						3.9	1.025	1.011	1.015	355.5	71.2						
67282A-22A11	6,5E-01	1,4E+02	Th	180 - 570	ChRM	9	356.7	69.6	0.8						1.3	1.032	1.015	1.016	358.8	69.7						
67282A-23A12	4,2E+00	8,5E+02	Th	280 - 570	II ^{re}	8	3.7	71.7	2.4						2.6	1.041	1.020	1.021	1.9	71.7						
67282A-23A13	4,1E+00	8,1E+02	Th-Th	150 - 550	ChRM	10	1.4	71.7	59.8 ± 1.3	2.4	0.6	0.82	0.87	32.2	-0.022	1.6	1.064	1.022	1.041	2.1	70.7	61.9 ± 1.3	4.5	0.8	59.1 ± 1.2	

Tableau : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ou protocole de Thellier-Thellier (Th-Th) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ;

Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne par prélèvement est d'abord calculée (Direction déterminée par le protocole de Thellier-Thellier et direction déterminée par désaimantation thermique), puis la direction moyenne des prélèvements (Tableau 2). La Figure 8 montre le très bon regroupement des directions d'aimantation.

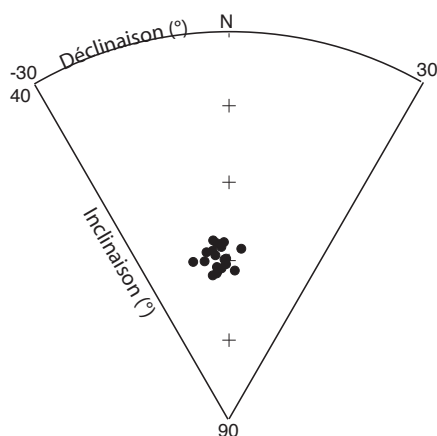


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction d'anisotropie.

Moyennes sans correction

$D = -2.5^\circ$ $I = 69.6^\circ$ $N=19, n=31$ $k=1620$ $\alpha_{95} = 0.8^\circ$

$F = 66.0 \pm 4.1 \mu T$ $N=8, n=8$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -4.0^\circ$ $I = 69.6^\circ$ $N=19, n=28$ $k=1782$ $\alpha_{95} = 0.8^\circ$

$F = 67.9 \pm 3.7 \mu T$ $N=8, n=8$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$F = 63.3 \pm 3.6 \mu T$ $N=8, n=8$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = -3.3 \pm 2.3^\circ$ $I_p = 69.9 \pm 0.8^\circ$ $F_p = 63.5 \pm 3.6 \mu T$

$VDM = 9.6 \cdot 10^{22} A.m^2$ $VADM = 10.0 \cdot 10^{22} A.m^2$

Tableau 2 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four de la Maison-Apprederis à Marlenheim

Bibliographie

Châtelet, M. (dir.), 2006. *Marlenheim « Maison Apprederis » (Bas-Rhin). Du premier âge du Fer à l'époque médiévale : à l'origine du village actuel*, Document Final de Synthèse, INRAP Grand Est Nord, Strasbourg

Marseille, 9 rue Leca

Code archéomagnétique: 13055K

Contexte archéologique

Le site du 9 rue Jean-François Leca (Lat : 43.50°N ; Long : 5.62°E) est situé sur le versant nord de la butte des Moulins, au pied de la Vieille Charité, au nord de la ville grecque. Les fouilles de sauvetage, se sont déroulées entre août 1994 et février 1995, dirigées par Frédéric Conche (AFAN, puis INRAP Méditerranée). Sur une emprise de 1400 m², une occupation longue de huit siècles entre la fin du VI^{ème} siècle av. J.-C. et le II^{ème} siècle ap. J.-C. a été mise en évidence (Conche, 2001).

La vocation du site est d'abord artisanale, avec notamment un atelier de production d'amphores, mais aussi une activité métallurgique. Durant cette phase, le site est situé extra-muros, près d'une voie principale et au pied d'un puissant mur, qui pourrait être le rempart archaïque primitif. Au milieu du IV^{ème} siècle av. J.-C., la trame urbaine est profondément remaniée. Le site, désormais compris à l'intérieur de l'enceinte de la ville (Conche, 2001), devient un établissement thermal. Sans changement significatif du réseau urbain, les thermes sont remplacés à la fin du III^{ème} siècle av. J.-C. par une maison à cour hellénistique, puis une maison romaine au milieu du I^{er} siècle av. J.-C. En plus des bâtiments exceptionnels qu'elle a livré (four à amphores, balnéaire hellénistique, maison hellénistique), cette fouille a eu un impact important sur notre connaissance de l'évolution urbaine de Marseille grecque (Rothé et Tréziny, 2005).

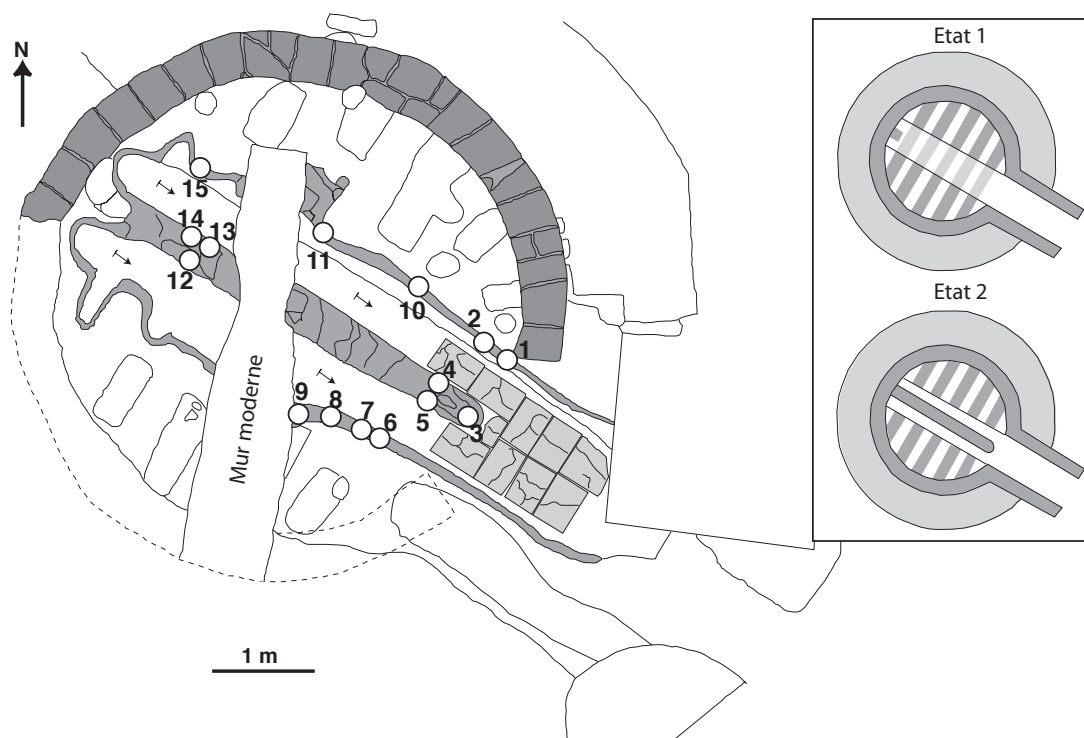


Figure 1 : Plan du four 1 du 9 rue Leca avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Rothé et Tréziny, 2005) et schéma des deux états successifs du four (d'après Hermary et al., 1999, page 72)

La phase de vocation artisanale du site est divisée en trois états successifs entre le début du V^{ème} et le milieu du IV^{ème} siècle av. J.-C.. Le premier état n'est connu que par deux fosses comblées par des rejets d'activité métallurgique (scories) et des rebuts de cuisson d'amphores (101 tessons d'amphore globulaire de type Bertucchi 1). Le second état, le mieux documenté, consiste principalement en un four de production d'amphores (de type Bertucchi 2), le four 1, qui a été prélevé pour l'archéomagnétisme. Les autres aménagements de cet atelier ne sont connus que par quelques portions de murs et peut-être une aire de préparation de l'argile (Hesnard *et al.*, 1999, page 92). Vers 400 av. J.-C., un nouveau four, très mal conservé est construit à l'emplacement du précédent. Ce four était vraisemblablement dévolu à la production d'amphores de type Bertucchi 3 (Rothé et Tréziny, 2005).

La chambre de chauffe est conservée sur environ 25cm. Les parois, conservées seulement pour la moitié nord, sont construites en adobe (c'est-à-dire en briques de terre crue). Le diamètre interne de la chambre de chauffe atteint 4,4m (Figure 1). L'alandier du four, qui a une longueur de 2m pour une largeur de 1,1m, est partiellement détruit par les constructions postérieures. L'aire de chauffe du four n'est attestée que par une légère dépression comblée par des couches cendreuse et charbonneuses. Il faut noter que la taille et l'ancienneté de ce four à amphores ont justifié son moulage, actuellement conservé au musée d'histoire de Marseille.

Les aménagements intérieurs des supports de la sole permettent de différencier deux états du four (Figure 1).

- Dans le premier état, la sole est soutenue par cinq arceaux en plein cintre, construit en briques d'adobe de part et d'autre du canal central. Des conduits secondaires sont également construits.
- Dans un second temps, le canal de chauffe est divisé par un muret axial ou languette (également construit en adobe) se substituant aux arceaux d'origine (Figure 1). Les conduits secondaires ne sont cependant pas modifiés. Le débouché de l'alandier est doté d'un dallage composé de dix briques rectangulaires en adobe. Le muret central et le canal de chauffe central portent aussi les traces d'un rechapage.

Les briques d'adobe constituant ces supports de sole ont subi des chauffes très importantes : l'argile cuite, très compacte, présente par exemple des traces de vitrification pour le muret central. Les fortes températures permettent de supposer que le moment d'acquisition de l'aimantation est commun pour l'ensemble des briques d'adobe du four, c'est-à-dire lors de la dernière cuisson d'amphores.

Les rejets de cuisson, découverts dans les couches de destruction du four, montrent une production principale d'amphores sphériques de type Bertucchi 2. Les lèvres de ces amphores sont principalement du type Py3 et Py4. Des mortiers à pâte claire de type Bats 623 à 626 ont également été produits.

Datation du four 1

La datation du fonctionnement du four repose sur les nombreux mobiliers céramiques découverts dans le four, particulièrement la vaisselle fine (étude de L.-Fr. Gantès) et les amphores (étude de J.-Chr. Sourisseau). La construction du four serait vers 470-460 av. J.-C., d'après un bord de coupe attique à vernis noir de type B et les amphores Bertucchi 2 à lèvres de type Py3 (Rothé et Tréziny, 2005). Les niveaux de destruction du four sont datés par la vaisselle (notamment 5 tessons identifiables de coupes attiques) entre 450 et 400 av. J.-C. L'étude des amphores fournirait un *TAQ* au fonctionnement du four vers 420-410, comme les amphores de type Bertucchi 2 ne sont pas retrouvés après cette date dans les autres contextes marseillais (la place du général de Gaulle par exemple, Rothé et Tréziny, 2005). Par précaution, nous avons cependant calé chronologiquement la fin du fonctionnement du four dans l'intervalle **[-470 ; -**

400]. Par cette datation, le four de la rue Leca est donc le plus ancien four à amphores connu dans l'état de la documentation actuelle dans le sud de la France et le seul à être construit sur le modèle à arceaux.

Prélèvement archéomagnétique

Quinze prélèvements ont été réalisés par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 9 mars 1995. Ils sont situés, sur les parois du canal de chauffe central et de la languette (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté. Aucune induration n'a été nécessaire. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre Molspin ou au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Huit fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Quatorze échantillons (un de chaque prélèvement sauf le 10) ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Cinq échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à 26 échantillons dans le four MMTD avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe X des spécimens. Douze chauffes ont été réalisées entre 100 et 560°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 420 ou 470°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,3°C/min (soit un refroidissement sur environ 24 heures), au vu des dimensions du four.

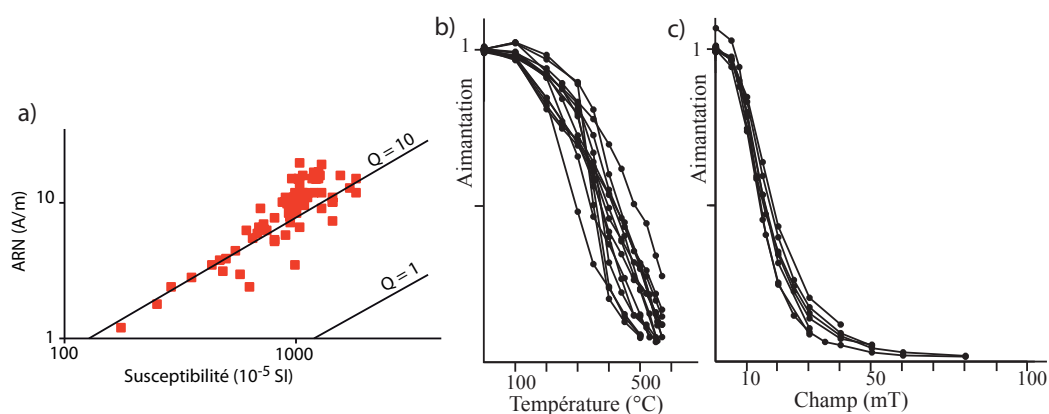


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de la rue Leca à Marseille. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements du four de la rue Leca à Marseille présentent de fortes intensités d'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 2 et 20 A/m), de fortes susceptibilités en champ faible (entre 175 et 1750 10^{-5} SI), et par conséquent des rapports de Koenigsberger Q élevés entre 5 et 25 (Figure 2a). Ces fortes valeurs présupposent une minéralogie magnétique stable.

Les températures de déblocage de l'ensemble des échantillons sont assez variées (Figure 2b) avec des Median Demagnetizing Temperatures (MDT) entre 300 et 500°C. Pour la majorité des échantillons (Figure 2c), les Median Demagnetizing Field (MDF) compris entre 13 et 18 mT marquent la prédominance d'une phase de faible coercivité. Les courbes thermomagnétiques et les acquisitions d'ARI (Figures 3 et 4) indiquent que cette phase ferromagnétique est une magnétite pauvre en titane : les points de Curie principaux sont compris entre 530 et 585°C, et les champs coercitifs rémanents H_{cr} entre 16 et 24 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} entre 45 et 120 A/m. La saturation vers 200mT des courbes « backfield » montrent l'absence de phases ferromagnétiques de forte coercivité.

Les courbes thermomagnétiques illustrent aussi la variabilité de la minéralogie magnétique, comme certains échantillons présentent également des points de Curie plus faibles entre de 300°C et 400°C (pour 2, 6, 9, 12 et 14 par exemple). En revanche, les courbes thermomagnétiques des prélèvements 7 et 11, qui se désaimantent principalement dans cette gamme de températures, ne présentent pas de tels points de Curie.

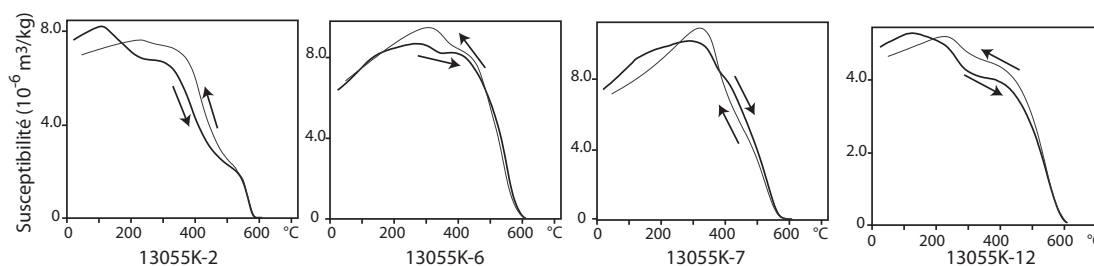


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

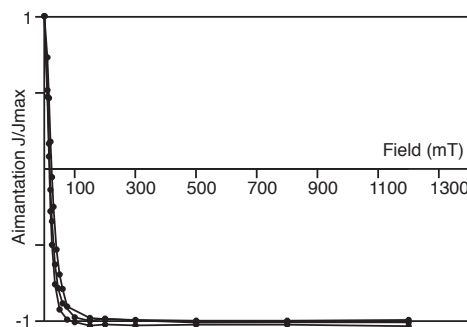


Figure 4 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes « backfield » pour 3 échantillons du four de la rue Leca (6P21, 12P11 et 15P22).

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons désaimantés présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le tableau 1.

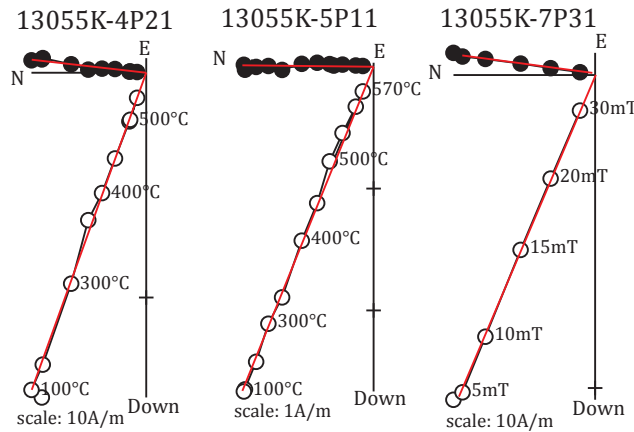


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs d'un spécimen désaimanté thermiquement (à gauche et au centre) et par champ alternatif (à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
13055K-1P12	1,1E+01	1,4E+03	AF 5 - 40	6	1.4	68.4	0.4	3.9	1.058	1.051	1.007	358.9	69.4
13055K-1P22	1,2E+01	1,8E+03	Th 100 - 570	11	2.5	69.8	1.1	-6.4	1.088	1.067	1.020	2.9	68.7
13055K-2P11	3,5E+00	9,6E+02	Th 100 - 570	11	1.3	68.9	1.2	-7.5	1.073	1.023	1.049	359.8	68.0
13055K-3P12	4,4E+00	5,4E+02	Th 100 - 555	9	2.9	68.3	0.9	-5.6	1.073	1.012	1.060	3.5	68.1
13055K-4P21	1,5E+01	1,2E+03	Th 100 - 530	8	6.5	70.0	0.7	-2.9	1.065	1.036	1.029	3.9	69.4
13055K-5P11	3,0E+00	5,6E+02	Th 100 - 570	10	0.7	66.5	0.8	-4.1	1.093	1.078	1.014	0.6	67.9
13055K-6P11	6,3E+00	7,3E+02	AF 5 - 50	8	4.9	67.0	0.1	3.6	1.116	1.056	1.056	7.5	68.2
13055K-6P31	6,4E+00	7,1E+02	Th 100 - 570	11	6.2	67.6	0.9	-5.9	1.099	1.095	1.003	3.1	67.2
13055K-7P21	9,9E+00	8,9E+02	Th 100 - 550	10	6.9	66.2	0.9	-6.9	1.051	1.026	1.025	4.9	66.3
13055K-7P31	1,1E+01	9,5E+02	AF 5 - 30	5	7.4	66.3	0.2	4.1	1.073	1.03	1.041	7.1	68.0
13055K-8P32	8,9E+00	9,5E+02	Th 100 - 500	7	4.8	66.4	0.9	-3.4	1.039	1.022	1.017	3.8	66.6
13055K-9P11	2,4E+00	2,9E+02	Th 100 - 500	7	0.3	67.3	0.5	-2.9	1.084	1.041	1.042	2.6	68.2
13055K-10P21	1,2E+01	1,8E+02	AF 5 - 50	9	1.0	71.5	0.3	-8.0	0.121	1.032	1.087	359.2	71.0
13055K-11P22	1,0E+01	1,0E+03	Th 100 - 500	7	357.5	69.3	0.8	-1.6	1.034	1.010	1.023	358.8	69.9
13055K-12P31	5,5E+00	6,4E+02	Th 250 - 570	9	354.2	70.4	1.3	-3.3	1.166	1.093	1.066	353.6	70.0
13055K-13P32	1,2E+01	9,6E+02	Th 100 - 550	10	0.8	67.3	0.8	-5.6	1.073	1.042	1.030	2.7	67.4
13055K-14P31	1,1E+01	1,1E+03	Th 100 - 570	11	4.5	66.9	1.6	-3.5	1.176	1.090	1.079	5.6	69.7
13055K-14P22	1,7E+01	1,2E+03	AF 5 - 30	5	7.3	67.6	0.2	-2.3	1.066	1.051	1.015	4.9	67.3
13055K-15P12	1,5E+01	1,1E+03	Th 100 - 555	9	354.5	69.4	0.7	-2.2	1.053	1.037	1.016	351.0	70.2

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique et par champ alternatif)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Sur les vingt-six échantillons, on observe une dispersion importante des archéointensités entre 40 et 110 μ T (Tableau 2) : ces archéointensités sont estimées sans critères d'acceptation spécifiques en prenant en compte uniquement les pTRM-checks positifs (la différence entre les

ATR acquises est inférieure à 10% de l'ATR acquise). L'application de critères d'acceptation stricts ($f > 0.5$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$) réduit cette dispersion en acceptant seulement 17 échantillons. Ces échantillons donnent a priori d'excellents résultats (Tableau 2 et Figure 6) avec aucune déviation de la direction d'ARN, des bouclages positifs et un comportement rigoureusement linéaire sur les diagrammes ARN-ATR. Les autres échantillons sont rejetés car ils présentent soit une légère déviation de la direction d'ARN (MAD ou $DANG > 5^\circ$), soit un comportement convexe sur les diagrammes ARN-ATR ($\beta > 0.05$, Figure 6).

Ce relatif succès des analyses d'archéointensité semble contradictoire avec la réversibilité de l'ensemble des courbes thermomagnétiques (Figure 3) et les fortes intensités d'ARN. Les spécimens rejetés tendent à avoir des MDF et des Hcr plus élevés que les spécimens acceptés, qui auraient donc des grains ferromagnétiques de plus grande taille, moins propices en théorie pour l'archéointensité. L'insuccès des échantillons ne semble donc pas être un effet de la taille des grains et on peut plutôt proposer que l'aimantation est une aimantation rémanente thermo-chimique (TCRM) et non une ATR (Draeger *et al.*, 2006).

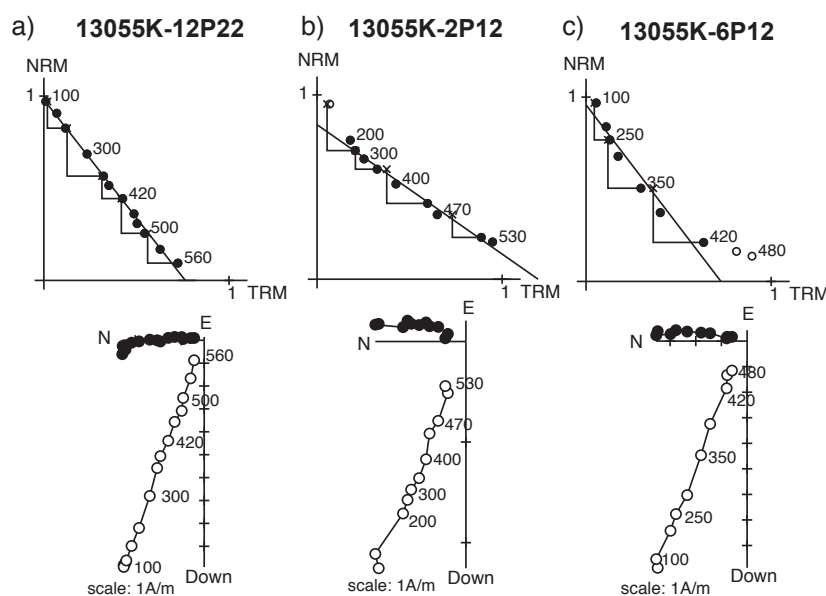


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens a et b sont acceptés car ils respectent les critères. L'échantillon c est rejeté car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 1 et 9% (Tableau 1). Aucune fabrique particulière ne se dessine à l'échelle de la structure. (Figure 7). L'application de la correction d'anisotropie améliore significativement le regroupement des archéodirections et des archéointensités (Tableau 3). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à seulement deux échantillons (Tableau 2). La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est en général comprise entre 0 et 2,5% et inférieure à l'évolution minéralogique intervenue au cours de l'expérimentation.

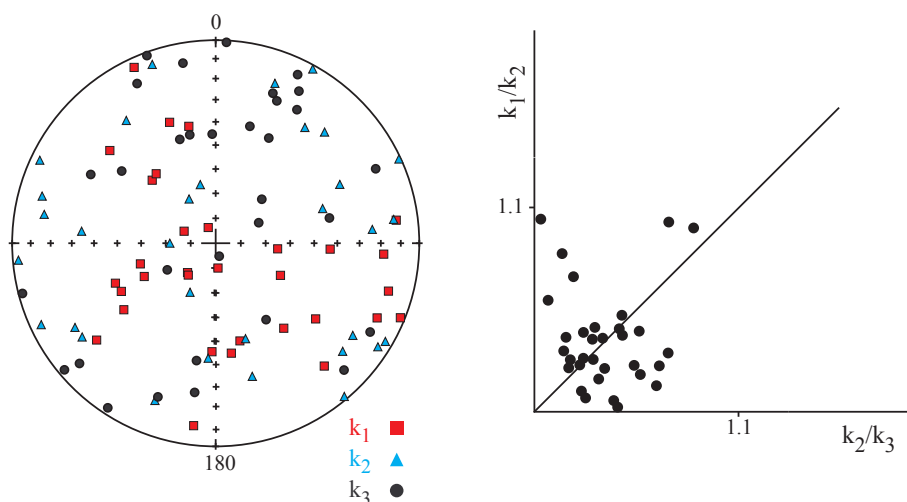


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} Si)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie			$F_a \pm$ std (μ T)	% corr	% evol	$F_{a+c} \pm$ std (μ T)	
															K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3					
13055K-1P21	1,1E+01	1,1E+03	250 - 560	10	8.7	68.8	43.6 \pm 0.9	6.4	2.9	0.49	0.85	20.3	0.020									
13055K-1P31	1,0E+01	1,4E+03	250 - 560	10	8.6	70.4	43.2 \pm 1.0	6.6	3.5	0.58	0.86	21.7	0.023									
13055K-2P12	2,4E+00	6,1E+02	200 - 530	9	19.0	69.1	42.1 \pm 1.9	4.8	1.7	0.65	0.84	12.1	0.045	-0,2	1.097	1.029	1.066	43.6 \pm 2.0	4.7	-5.6		
13055K-3P11	3,8E+00	4,6E+02	100 - 530	10	355.6	69.2	66.9 \pm 2.2	3.8	0.2	0.83	0.81	20.1	0.033	0,3	1.057	1.021	1.034	66.9 \pm 2.3	5.6	-1.7	63.2 \pm 2.2	
13055K-3P21	3,1E+00	4,8E+02	100 - 570	12	3.6	67.5	60.8 \pm 1.8	3.9	0.1	0.87	0.87	25.6	0.029	1,2	1.072	1.019	1.052	63.9 \pm 1.9	1.6	-5.9		
13055K-4P11	1,5E+01	1,2E+03	100 - 500	10	6.9	70.0	81.1 \pm 1.1	2.0	1.2	0.86	0.76	46.4	0.014	-1,7	1.044	1.026	1.018	81.5 \pm 1.2	-0.9	-2.8		
13055K-4P12	1,5E+01	1,2E+03	100 - 500	10	6.0	67.8	84.0 \pm 1.0	1.6	0.7	0.87	0.80	57.2	0.012	-2,6	1.045	1.005	1.039	85.6 \pm 1.0	-0.7	-3.1		
13055K-5P21	5,4E+00	7,9E+02	100 - 520	10	1.4	66.3	64.2 \pm 3.7	2.7	1.8	0.89	0.83	6.8	0.058									
13055K-6P12	9,7E+00	1,0E+03	100 - 420	7	6.7	67.7	78.9 \pm 8.5	2.6	1.7	0.79	0.79	5.8	0.108									
13055K-6P22	8,7E+00	9,4E+02	100 - 420	7	4.6	68.0	85.4 \pm 5.3	2.1	1.9	0.79	0.82	10.3	0.063									
13055K-7P12	2,0E+01	1,0E+03	100 - 350	5	10.3	67.2	110.6 \pm 3.4	3.5	5.8	0.54	0.42	7.3	0.031									
13055K-7P22	1,6E+01	1,0E+03	100 - 420	7	7.0	66.9	84.9 \pm 4.3	3.5	1.5	0.94	0.68	12.6	0.051									
13055K-8P11	5,8E+00	8,8E+02	100 - 520	10	9.1	65.9	63.2 \pm 1.8	2.3	0.2	0.89	0.83	25.9	0.029	1,5	1.056	1.026	1.029	63.4 \pm 1.8	-0.5	1.7		
13055K-8P21	6,7E+00	1,0E+03	100 - 560	12	10.1	66.3	55.1 \pm 2.2	3.2	1.0	0.89	0.89	19.4	0.041	-10,4								
13055K-9P22	8,3E+00	9,3E+02	100 - 500	10	10.1	65.6	66.0 \pm 0.9	2.9	1.2	0.86	0.84	52.4	0.014	-4,9	1.032	1.007	1.025	68.8 \pm 0.9	2.2	-2		
13055K-10P11	1,8E+00	2,5E+02	100 - 530	10	5.6	71.0	63.5 \pm 0.8	3.4	2.2	0.78	0.86	56.4	0.012	-8,1	1.093	1.047	1.043	67.3 \pm 0.8	1.6	-8.1		
13055K-11P11	6,3E+00	6,0E+02	100 - 530	10	0.5	70.5	75.7 \pm 2.7	2.3	0.6	0.84	0.86	19.9	0.036	-1	1.071	1.036	1.034	78.0 \pm 2.9	2.0	-7		
13055K-11P12	6,7E+00	6,8E+02	100 - 520	10	358.4	69.8	79.5 \pm 1.7	2.0	0.8	0.88	0.87	36.4	0.021	0,2	1.046	1.023	1.023	80.9 \pm 1.7	0.6	-0.8		
13055K-12P12	1,1E+01	1,1E+03	100 - 560	12	358.0	68.4	75.3 \pm 1.7	3.3	1.3	0.87	0.89	34.1	0.023	-6,7	1.043	1.002	1.041	77.3 \pm 1.7	-0.4	-4.3		
13055K-12P22	1,1E+01	1,1E+03	100 - 560	12	359.2	70.6	77.0 \pm 1.6	1.6	1.6	0.92	0.90	40.2	0.020	-4,6	1.093	1.04	1.052	78.2 \pm 1.6	-1.8	-0.6	79.6 \pm 1.6	
13055K-13P11	1,2E+01	1,1E+03	100 - 560	10	4.3	70.0	74.9 \pm 2.5	3.5	2.2	0.87	0.89	23.5	0.033	-9,3	1.062	1.055	1.007	79.7 \pm 2.6	0.9	-1.8		
13055K-13P12	1,4E+01	1,0E+03	100 - 480	9	2.5	67.1	81.9 \pm 2.2	0.9	0.4	0.93	0.78	26.9	0.027	-4,4	1.083	1.038	1.044	86.7 \pm 2.3	0.7	-0.6		
13055K-14P11	1,1E+01	1,1E+03	100 - 560	12	3.0	66.9	78.2 \pm 1.8	2.2	1.7	0.81	0.88	31.7	0.023	-3,2	1.086	1.023	1.062	78.5 \pm 1.8	-0.9	-1.7		
13055K-14P21	1,2E+01	1,2E+03	100 - 560	12	5.3	67.0	81.0 \pm 1.8	3.2	1.6	0.79	0.87	30.2	0.023	-10,4								
13055K-15P21	1,0E+01	1,4E+03	100 - 500	9	0.0	69.8	81.7 \pm 2.3	1.6	0.6	0.89	0.79	25.0	0.028	-3,6	1.048	1.016	1.032	84.7 \pm 2.3	-1.7	-2.3		
13055K-15P32	9,2E+00	1,3E+03	100 - 500	9	357.0	71.1	86.7 \pm 2.1	1.5	1.3	0.84	0.80	27.8	0.024	-2,5	1.045	1.03	1.015	86.4 \pm 2.1	-1.3	-1.6		

Tableau 2 : Résultats d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées après désaimantation thermique ou par champ alternatif. Le regroupement des archéodirections est très bon avec un facteur k égal à 1679 (Figure 8 et Tableau 3). Pour les archéointensités, nous avons décidé d'exclure le spécimen 2P12, considérant sa valeur comme hors-tendance.

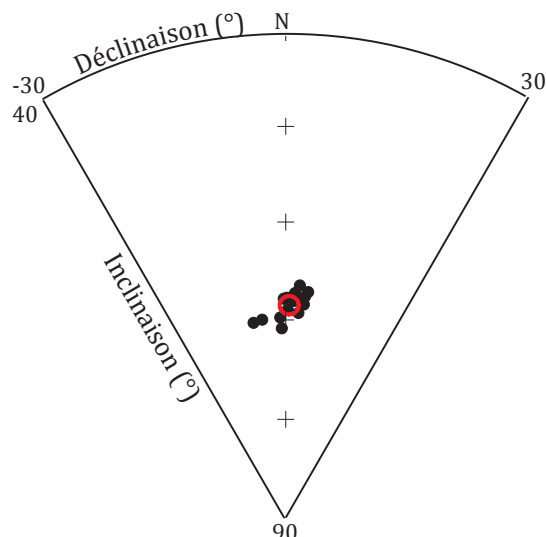


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation après correction d'anisotropie.

Moyennes sans correction

$D = 1.8^\circ$ $I = 68.4^\circ$ $N=15, n=19$ $k=1403$ $\alpha_{95} = 1.0^\circ$
 $F = 72.9 \pm 9.0 \mu\text{T}$ $N=10, n=18$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = 1.3^\circ$ $I = 68.7^\circ$ $N=15, n=19$ $k=1679$ $\alpha_{95} = 0.9^\circ$
 $F = 75.0 \pm 8.3 \mu\text{T}$ $N=10, n=16$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$F = 75.0 \pm 8.6 \mu\text{T}$ $N=10, n=16$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = 2.4 \pm 2.9^\circ$ $I_p = 62.2 \pm 0.9^\circ$ $F_p = 78.3 \pm 8.6 \mu\text{T}$
 $VDM = 11.5 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$ $VADM = 12.5 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four 1 de la rue Leca à Marseille

Bibliographie

Conche, F. (dir.), 1998. *Marseille, 9 rue Jean-François Leca, Document final de synthèse*, SRA Provence Alpes Côte d'Azur, AFAN, 2 volumes, 533 p.

Hermay, A., Hesnard, A. & Tréziny, H., 1999. *Marseille grecque, la cité phocéenne (600-49 av. J.-C.)*, Hauts-lieux de l'histoire, Errance, Paris, 181 p.

Rothé, M.P. & Tréziny, H., 2005. *Marseille et ses alentours*, Carte archéologique de la Gaule 13/3, Académie des inscriptions et des belles-lettres, p. 468-483

Marseille, place Villeneuve-Bargemon

Code archéomagnétique: 13055L

Contexte archéologique (d'après Rothé et Tréziny, 2005)

Les fouilles de la place Villeneuve-Bargemon, au Nord du Vieux-Port de Marseille (Lat : 43.297°N ; Long : 5.369°E), se sont déroulées entre mai 1996 et juin 1997, en préalable au projet du Musée César (finalement jamais concrétisé). Les fouilles étaient dirigées par Antoinette Hesnard (CNRS, centre Camille Jullian) et Frédéric Conche (AFAN, puis INRAP). L'emprise des fouilles était de 2500 m² sur une épaisseur de sédiment de 8m. Les vestiges mis au jour sont datés entre le début du VI^{ème} siècle av. J.-C. et le IV^{ème} siècle ap. J.-C. Jusqu'au début du I^{er} siècle av. J.-C., ce secteur de la ville est caractérisé par des activités portuaires. A l'époque romaine, l'espace est occupé par des thermes publics.

Le four prélevé pour les études archéomagnétiques appartient à la phase d'occupation hellénistique du site. Durant cette phase (Figure 1), le site se caractérise principalement par des grandes loges couvertes pour les navires de guerre, identifiées comme les *neoria* décrites par Strabon (Hesnard *et al*, 1999). Au nord des *neoria*, une série d'ateliers métallurgiques, aux sols noirs de charbon de bois, a été mise au jour. L'activité métallurgique des métaux ferreux et surtout cuivreux est rattachée à l'activité navale, mais la présence de nombreux flans permet également d'identifier un atelier monétaire. La principale structure de ces ateliers est un fond de four (ou peut-être de foyer) rectangulaire (1,6m sur 0,8m). Cette sole est composée de briques de terre crue, dépourvues de radier. La cuisson de cette sole semble avoir été irrégulière. L'argile présente de nombreuses inclusions de petit charbon de bois.

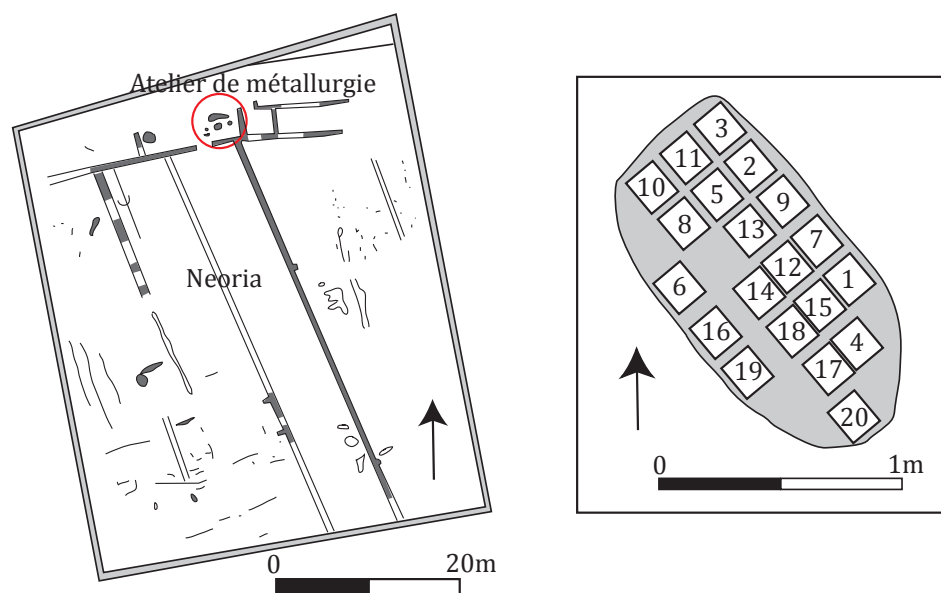


Figure 1 : Plan général des fouilles de la place Villeneuve-Bargemon et plan de la sole du four des ateliers de métallurgie localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Rothé et Tréziny, 2005, fig 343, p. 374)

Datation de la structure

Le mobilier retrouvé sur le site date le fonctionnement des *neoria* et donc des ateliers de métallurgie rattachés aux III^{ème} et II^{ème} siècles av. J.-C. (Rothé et Tréziny, 2005, page 377). La présence de nombreux petits charbons de bois inclus dans la sole du four a permis de caler chronologiquement le fonctionnement de ce four par le radiocarbone. Deux charbons de bois ont été envoyés au laboratoire de Poznan. Les références des échantillons sont Poz-36708 et Poz-36709, respectivement inclus dans les prélèvements archéomagnétiques 8 et 17. Avec le logiciel *Rendate*, les deux datations individuelles sont regroupées au sein d'un « fait » (Sapin *et al.*, 2008). La densité de probabilité de ce fait donne l'intervalle de date **[-368 ; -193]** à 95% de confiance (Figure 2).

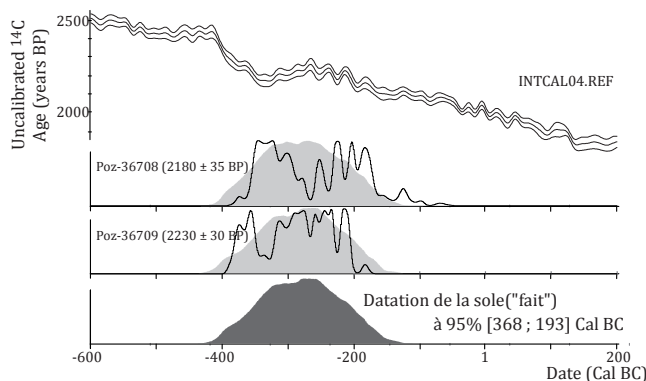


Figure 2 : Datation radiocarbone de la sole du four des ateliers métallurgiques de la place Villeneuve-Bargemon. En haut, courbe de calibration dendrochronologique des âges radiocarbone. En bas, résultats de la calibration des deux échantillons et du « fait » prenant en compte ces deux résultats. La courbe noire représente la distribution de probabilité de chaque charbon de bois après calibration et avant calcul du « fait ». La surface en gris clair représente la distribution de probabilité de chaque échantillon après calcul du « fait ». La surface en gris foncé est la distribution de probabilité du « fait », qui regroupe les deux résultats individuels en un seul événement. C'est cette dernière distribution de probabilité qui est utilisée pour le calage chronologique, à des fins d'étalonnage du champ magnétique terrestre.

Prélèvement archéomagnétique

Vingt prélèvements ont été réalisés sur la sole 5106 par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 19 février 1997 (Figure 1). Les prélèvements 1 à 14 ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Les prélèvements 15 à 20 n'ont été orientés qu'à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements très fragiles ont été découpés après induration en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilitémètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Vingt-trois échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 470 ou 500°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à sept échantillons dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 60 ou 70 μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Onze chauffes ont été réalisées entre 100 et 575°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 460, 480 ou 545°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480, 530 ou 575°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,8°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Entre les prélèvements, on observe une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.02 et 9.3 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 30 et 3000 10⁻⁵SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger entre 0.5 et 5.8 (Figure 3). Les prélèvements les plus aimantés (7, 12, 13 et 18 proviennent de la partie centrale du foyer, alors que les échantillons les moins aimantés (2, 4, 19 et 20) sont situés en périphérie.

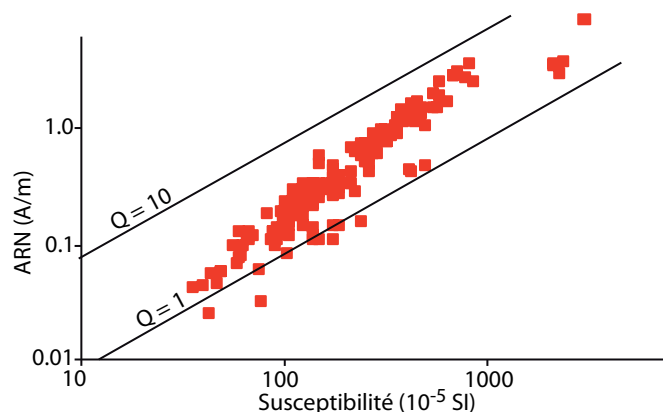


Figure 3 : distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer de la place Villeneuve-Bargemon. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

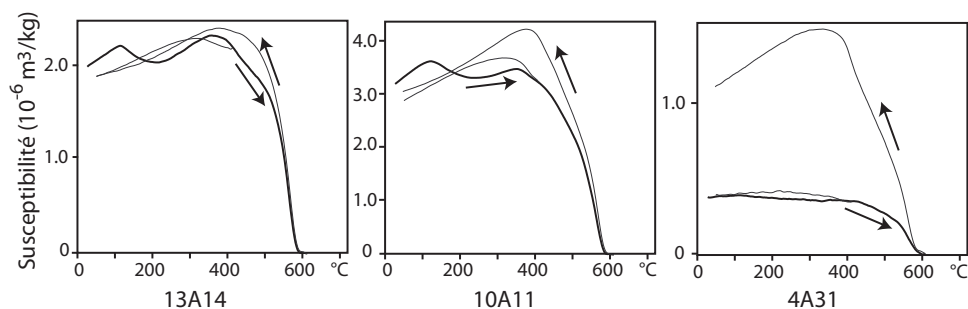


Figure 4 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Cette variabilité des intensités d'aimantation est donc probablement due à la variation du degré de cuisson. La nature des grains magentiques semble homogène d'après les courbes thermomagnétiques (Figure 4) et les acquisitions d'ARI (Figure 5). Ces analyses montrent que l'aimantation est portée par des titanomagnétites pauvres en titane avec des points de Curie entre 575 et 590°C.

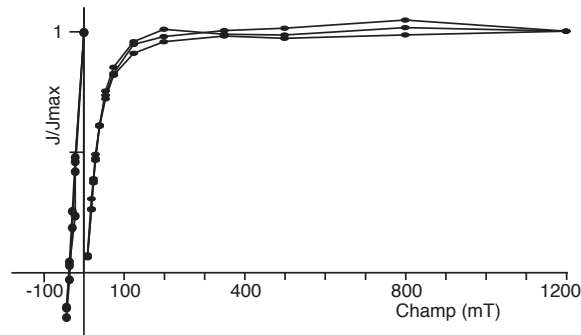


Figure 5 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour trois échantillons du foyer de la place Villeneuve-Bargemon (3A22, 10A12, 13A15). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 25.8, 26.1 et 24.6 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 12, 24 et 53 A/m.

Désaimantations thermiques

La déclinaison magnétique locale, calculée à partir de l'angle entre les orientations à la boussole et au soleil, a des valeurs d'environ 30° (Tableau 1). Cette déviation très importante du champ magnétique local est probablement due à l'effet des étais métalliques en limite d'emprise de la fouille. Aucun échantillon des prélèvements 15 à 20, orientés seulement au Nord magnétique, n'a en conséquence été désaimanté thermiquement.

Douze échantillons (sur 23) portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe (Figure 6). Les autres échantillons portent deux composantes d'aimantation, dont la direction a été déterminée par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) ou par grand cercle, si les deux composantes d'aimantation sont difficilement distinguables (Figure 6 à droite). Les directions d'aimantation sont récapitulées dans le tableau 1.

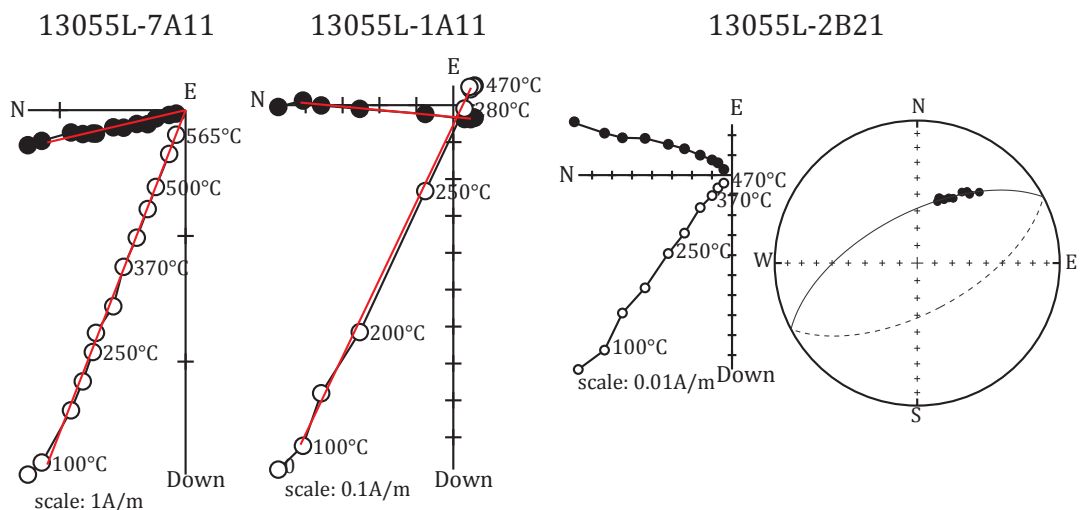


Figure 6 : Résultats de désaimantation thermique de spécimens représentatifs. Le spécimen de gauche porte une seule composante d'aimantation. Les spécimens portant deux composantes d'aimantation ont été analysées par analyse en composante principale (au milieu) ou par un grand cercle (à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Annexe 3 : Etude des sites français, Marseille, place Villeneuve-Bargemon

Nom	D _{locale} (°)	ARN (A/m)	χ (10 ⁻⁵ SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
											Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
13055L-1A11	28,0	1,1E+00	5,0E+02	100 - 470	PCA	II ^{re}	9	5.4	64.4	1.0	-6.2	1.064	1.013	1.050	2.5	64.7
13055L-2A12	29,6	2,3E-01	1,4E+02	100 - 500	GCA		10	178.9	24.3	3.8	-0.1	1.047	1.028	1.018	179.6	24.2
13055L-2A15	29,6	1,1E-01	8,5E+01	100 - 460	GCA		8	193.3	24.6	23.5	-1.8	1.092	1.021	1.070	194.1	22.3
13055L-2B21	29,6	1,3E-01	8,8E+01	100 - 470	GCA		9	153.2	29.0	12.3	1.3	1.067	1.039	1.027	152.6	27.8
13055L-3A11	30,4	4,1E-01	1,9E+02	160 - 500	PCA	ChRM	9	7.1	64.8	1.4	0.7	1.081	1.021	1.059	9.0	66.4
13055L-4A11	30,1	4,9E-01	1,8E+02	100 - 565	PCA	ChRM	12	10.0	58.4	1.2	0.4	1.124	1.035	1.086	5.9	60.3
13055L-4A14	30,1	1,4E+00	3,9E+02	100 - 555	PCA	ChRM	11	357.9	62.2	0.9	-2.3	1.080	1.009	1.070	358.5	63.1
13055L-5A11	30,9	1,0E+00	3,1E+02	100 - 540	PCA	ChRM	11	343.3	63.3	1.2	-2.0	1.085	1.016	1.069	339.7	63.9
13055L-5A23	30,9	4,1E-01	1,9E+02	100 - 460	PCA	II ^{re}	8	359.0	64.3	1.6	-0.5	1.544	1.381	1.117	343.4	65.3
13055L-6A11	34,7	9,3E-01	3,6E+02	100 - 470	PCA	ChRM	9	9.5	66.1	2.5						
13055L-6A14	34,7	4,4E-01	2,1E+02	100 - 500	GCA		9	202.5	22.0	2.3	-2.9	1.061	1.020	1.040	203.5	21.4
13055L-7A11	29,3	3,2E+00	7,1E+02	100 - 565	PCA	ChRM	12	346.8	68.2	1.0	-1.0	1.110	1.036	1.071	351.7	67.8
13055L-7A14	29,3	2,0E+00	5,9E+02	100 - 555	PCA	ChRM	11	3.8	61.5	0.7	-2.5	1.061	1.021	1.040	5.5	62.1
13055L-8A11	34,4	9,2E-01	3,0E+02	100 - 540	PCA	ChRM	11	343.5	61.0	1.0	-0.7	1.125	1.060	1.062	344.7	62.5
13055L-8A13	34,4	6,3E-01	2,8E+02	100 - 525	GCA		10	263.5	-8.1	12.0	-2.8	1.093	1.053	1.038	264.6	-8.6
13055L-9A11	29,8	1,4E+00	4,8E+02	100 - 565	PCA	ChRM	12	4.2	59.0	1.5	-1.6	1.101	1.042	1.057	6.0	61.1
13055L-10A13	33,9	8,1E-01	3,3E+02	100 - 525	PCA	ChRM	9	8.0	71.5	1.2	-0.4	1.107	1.026	1.079	7.1	73.9
13055L-10A14	33,9	6,6E-01	2,4E+02	160 - 500	PCA	II ^{re}	9	14.5	71.2	2.2	-1.0	1.089	1.025	1.063	13.8	73.2
13055L-11A11	33,6	9,9E-01	3,4E+02	100 - 250	PCA	ChRM	9	356.1	67.7	1.3	-2.3	1.077	1.013	1.063	344.3	66.4
13055L-12A11	29,4	2,9E+00	7,8E+02	100 - 565	PCA	ChRM	12	352.0	63.5	0.9	-1.4	1.080	1.022	1.057	349.7	65.2
13055L-13A11	31,6	8,5E-01	2,9E+02	100 - 470	GCA		9	187.4	23.2	19.2						
13055L-13A22	31,6	2,8E-01	1,8E+02	100 - 500	GCA		9	198.0	22.6	7.6	-2.1	1.115	1.039	1.073	197.9	21.2
13055L-14A14	30,5	1,9E-01	8,1E+01	100 - 540	GCA		11	220.0	18.8	19.6	0.5	1.097	1.039	1.056	219.9	16.8
13055L-15A12	-	2,2E-01	1,0E+02													
13055L-16A11	-	6,3E-01	2,9E+02													
13055L-17A12	-	1,2E+00	3,9E+02													
13055L-18B11	-	3,6E+00	2,1E+03													
13055L-19A21	-	3,5E-01	2,1E+02													
13055L-20A11	-	1,1E-01	1,8E+02													

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; déclinaison locale, calculée à partir de l'angle entre les orientations à la boussole et à l'équerre solaire ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM/II^{re} : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

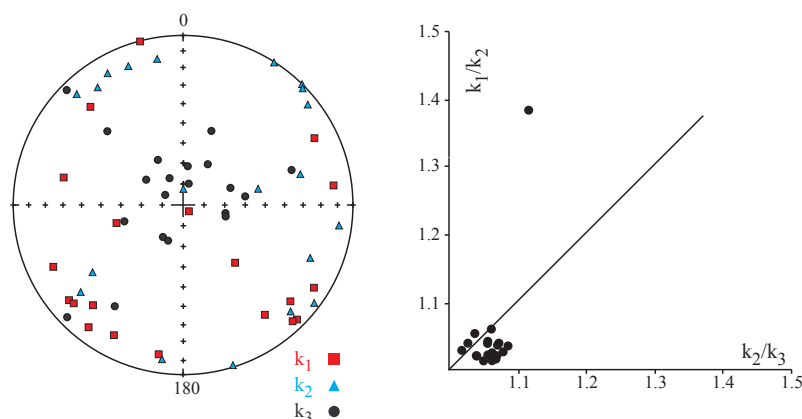


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K₁, K₂ et K₃ des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne en général avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 5 et 12% (Tableau 1). Pour des raisons inconnues, un échantillon (5A23) a un taux d'anisotropie de 54%. A l'échelle de la structure, l'axe minimal du tenseur d'anisotropie est proche de la verticale (Figure 7), comme il est couramment observé pour ce type de sole. L'application de la correction d'anisotropie améliore légèrement le regroupement des archéodirections (Tableau 3).

Protocole de Thellier-Thellier

Les échantillons ont été sélectionnés pour l'archéointensité, si leurs spécimens-frères portent une seule composante d'aimantation. L'échantillon 13A14, fortement plus aimanté que ses spécimens frères a également été retenu. L'estimation d'une archéointensité n'a pu être réalisée pour deux échantillons (Figure 8 à droite) en raison de la forte convexité du diagramme ARN-ATR et de la très forte déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire. Pour les cinq autres échantillons (Tableau 2), l'archéointensité a été calculée sur l'intervalle de température, sur lequel aucune déviation significative de la direction d'ARN n'est observée. Deux échantillons (Figure 8 à gauche) respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$) par la linéarité de leur diagramme ARN-ATR. Une assez bonne corrélation est observée entre les résultats d'archéointensité et la réversibilité des courbes thermomagnétiques après les chauffes à 400 et 600°C. Les échantillons acceptés 9A13 et 13A14 donnent des archéointensités de 53.4 et 64.0 μT , qui semblent assez compatibles avec les résultats des structures contemporaines (34145A, 62382B et 62382E).

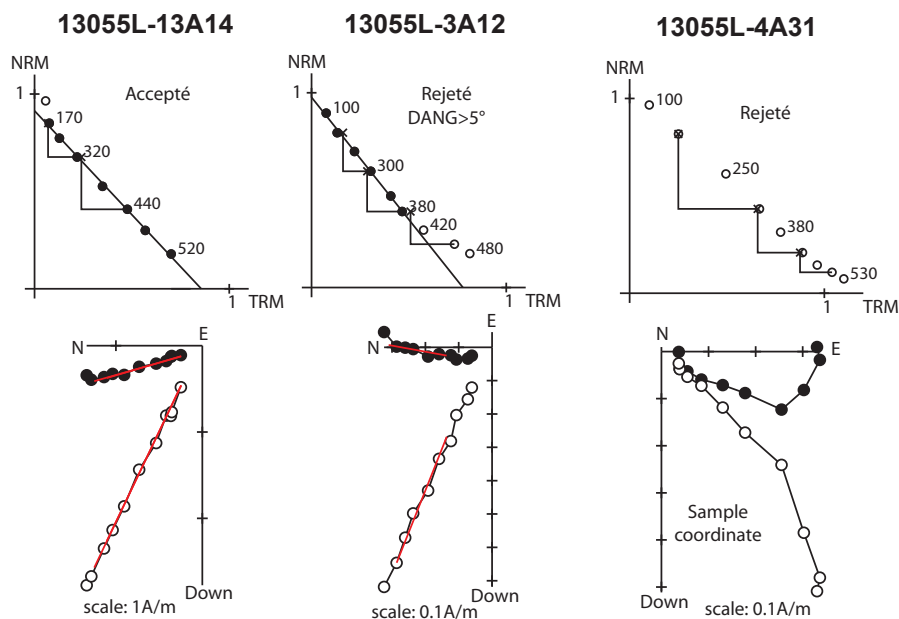


Figure 8 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijdeveld et diagrammes ARN-ATR. L'échantillon à gauche est accepté par son diagramme ARN-ATR linéaire et l'absence de déviation de la direction de l'ARN. Les deux autres échantillons sont rejetés en raison d'évolutions minéralogiques, qui se manifestent par la convexité du diagramme ARN-ATR et la déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire (axe Y des échantillons). Pour les diagrammes de Zijdeveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ sauf l'échantillon 4A31 en coordonnées échantillon. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Annexe 3 : Etude des sites français, Marseille, place Villeneuve-Bargemon

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie					Vitesse de refroidissement			
															K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a \pm std (μ T)	%corr	%evol	F _{a+c} \pm std (μ T)
13055L-3A12	7,7E-01	2,4E+02	100 - 350	5	358.1	63.3	84.3 \pm 3.1	3.9	6.1	0.43	0.74	8.7	0.037	-2.9	1.099	1.036	1.061	357.4	65.5	96.3 \pm 3.6	-1.2	-0.7	97.4 \pm 3.7
13055L-4A31	6,1E-01	1,5E+02	Rejeté																				
13055L-7A12	3,8E+00	8,3E+02	Rejeté																				
13055L-9A13	1,8E+00	4,5E+02	170 - 520	7	3.8	54.8	56.0 \pm 1.5	3.5	1.6	0.71	0.82	23.0	0.026	0.3	1.064	1.024	1.038	4.6	56.2	53.4 \pm 1.4	0.0	1.3	
13055L-11A13	8,8E-01	3,1E+02	100 - 380	6	329.4	64.9	63.2 \pm 3.1	4.6	7.7	0.46	0.79	7.5	0.049	-4.4	1.096	1.048	1.046	330.4	66.6	68.1 \pm 3.4	-1.9	-0.2	69.4 \pm 3.4
13055L-12A13	2,6E+00	8,5E+02	100 - 480	9	342.3	53.9	48.1 \pm 3.5	5.2	6.7	0.59	0.86	7.1	0.072	-6.2	1.188	1.072	1.109	343.7	56.9	48.9 \pm 3.5	-1.6	0.1	49.7 \pm 3.6
13055L-13A14	3,0E+00	6,9E+02	170 - 520	7	340.3	62.4	60.7 \pm 1.2	1.7	1.9	0.73	0.82	29.5	0.020	-3.7	1.067	1.022	1.044	341.1	62.7	64.0 \pm 1.3			

Tableau 2 : Résultats d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Archéodirection moyenne

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées après désaimantation thermique. Les archéodirections sont assez dispersées avec un facteur k égal à 196 (Figure 9 et Tableau 3). Le nombre d'archéointensités acceptées (deux) n'est pas suffisant pour calculer une archéointensité moyenne. En effet, un nombre minimal de trois échantillons a été fixé.

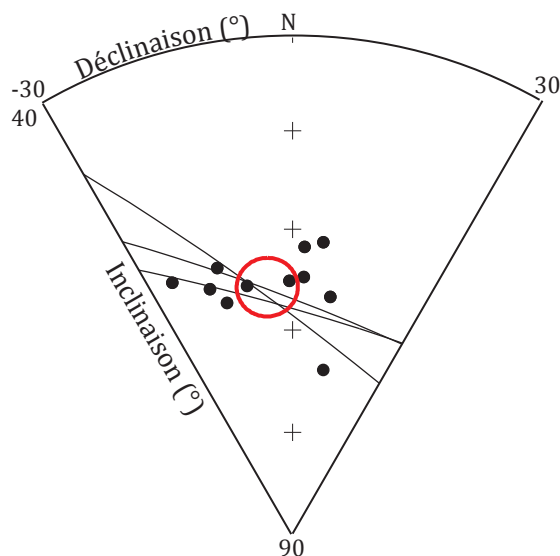


Figure 9 : Regroupement des directions d'aimantation après correction d'anisotropie.

Annexe 3 : Etude des sites français, Marseille, place Villeneuve-Bargemon

Moyennes sans correction

$$D = -7.46^\circ \quad I = 67.17^\circ \quad N=19, n=19 \quad k=212 \quad \alpha_{95} = 2.3^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = -9.3^\circ \quad I = 67.5^\circ \quad N=18, n=18 \quad k=211 \quad \alpha_{95} = 2.4^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -9.0 \pm 6.0^\circ \quad I_p = 66.4 \pm 2.4^\circ$$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes de la sole du four des ateliers de métallurgie de la place Villeneuve-Bargemon à Marseille

Bibliographie

Hesnard, A, Moliner, M., Conche, F. & Bouiron, M., 1999. *Parcours de villes, Marseille, 10 ans d'archéologie, 2600 ans d'histoire*, Musées de Marseille, Edisud, Marseille, 183 p.

Rothé, M.P. & Tréziny, H., 2005. *Marseille et ses alentours*, Carte archéologique de la Gaule 13/3, Académie des inscriptions et des belles-lettres, p. 468-483

Sapin, C., Baylé, M., Büttner, S., Guibert, P., Blain, S., Lanos, P., Chauvin, A., Dufresne, P. & Oberlin, C., 2008. Archéologie du bâti et archéométrie au Mont-Saint-Michel, nouvelles approches de Notre-Dame-sous-Terre, *Archéologie Médiévale*, **38**, 71-122

Montmorillon, Rocade-Est

Code archéomagnétique: 86165A

Contexte archéologique

Le site (Lat : 46.410°N ; Long : 0.892°E) est situé sur l'emprise de la future rocade Est de Montmorillon. La fouille, réalisée au printemps 2010 et dirigée par David Guitton (INRAP Grand Sud Ouest), a principalement mis au jour la *pars rustica* d'un établissement rural gallo-romain mis en place à l'époque tibérienne. Des structures plus anciennes, datées du I^{er} siècle av. J.-C., ont aussi été découvertes. Il s'agit principalement de fossés et d'un four de potier (u.s. 2008, Figure 1).

Le four, creusé dans le substrat, est constitué d'une chambre de chauffe, d'un alandier et d'une aire de travail de forme ovale. La chambre de chauffe, circulaire, a un diamètre d'environ 1m. Elle comprend un muret central, construit en dalles de granite, qui devait servir de support à la sole du four. Les parois de la chambre de chauffe et du muret central ont été enduites d'argile très indurée grâce aux cuissons successives. Des indices de rechapage ont pu être mis en évidence, principalement à proximité de l'alandier. La rubéfaction des parois reste faible sur des épaisseurs de 2 centimètres en moyenne. La chambre de chauffe était comblée par des blocs d'argile chauffée, qui sont probablement les vestiges des superstructures du four.



Figure 1 : Four de potier de Montmorillon (vu depuis le sud) avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.

Datation du fonctionnement du four

Le mobilier céramique est actuellement en cours d'études. Le mobilier retrouvé dans l'aire de travail et la chambre de chauffe ne présente pas de caractère datant. Le fossé contiguë au four, en cours d'études, donnerait une datation dans la première moitié du I^{er} siècle av. J.-C.

L'arrêt du fonctionnement du four se situerait donc au plus tôt vers le milieu du I^{er} siècle av. J.-C. (David Guitton, communication personnelle). Provisoirement, nous avons choisi de dater le four dans l'intervalle [-100 ; -1] av. J.-C.

Prélèvement archéomagnétique

Vingt-cinq prélèvements (Figure 1) ont été réalisés par les 1 et 2 avril 2010 sur les parois du four (1 à 14) et la bouche de l'alandier (15 à 25). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Trente-trois échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 470°C.

Minéralogie magnétique

Pour le four du Marlenheim, l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.02 et 4 A/m et de la susceptibilité en champ faible entre 9 et 1000 10^{-5} SI. Ceci correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.3 et 14.4 (Figure 2a). Cette grande variabilité est due à la variabilité de l'intensité de la chauffe. Les prélèvements les plus aimantés sont situés sur la bouche de l'alandier à l'entrée du four. Aucune différence significative n'est observée entre la bouche de l'alandier et les parois du four. Les températures de déblocage, régulièrement réparties entre 150 et 550°C sont semblables pour l'ensemble des prélèvements.

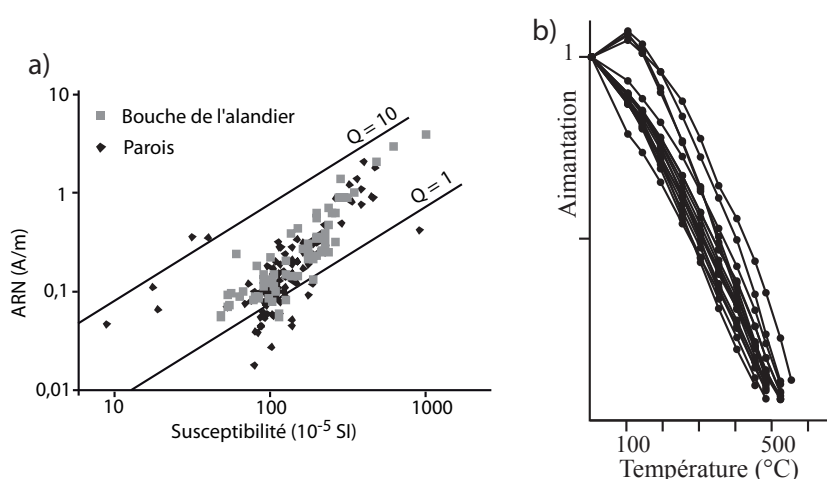


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Montmorillon. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Vingt-deux échantillons (sur 33) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 3). Les 11 autres échantillons, majoritairement issus des parois de la chambre de chauffe, présentent deux composantes d'aimantation (Figure 3). Dans ce cas, la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer toute l'aimantation préexistante. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

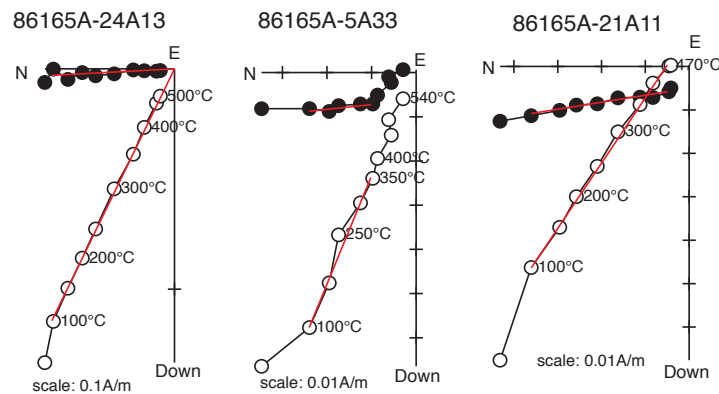


Figure 3 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Le spécimen à gauche présente une seule composante d'aimantation. Les spécimens au centre et à droite ont deux composantes d'aimantation. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie faible avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 5 et 10% (Tableau 1). L'anisotropie semble légèrement plus élevée pour la bouche de l'alandier que pour le pourtour des parois. A l'échelle de la structure, on ne remarque pas la dominance d'une fabrique particulière (Figure 4). L'application de la correction d'anisotropie n'a pas d'effet sur le regroupement des archéodirections (Tableau 2).

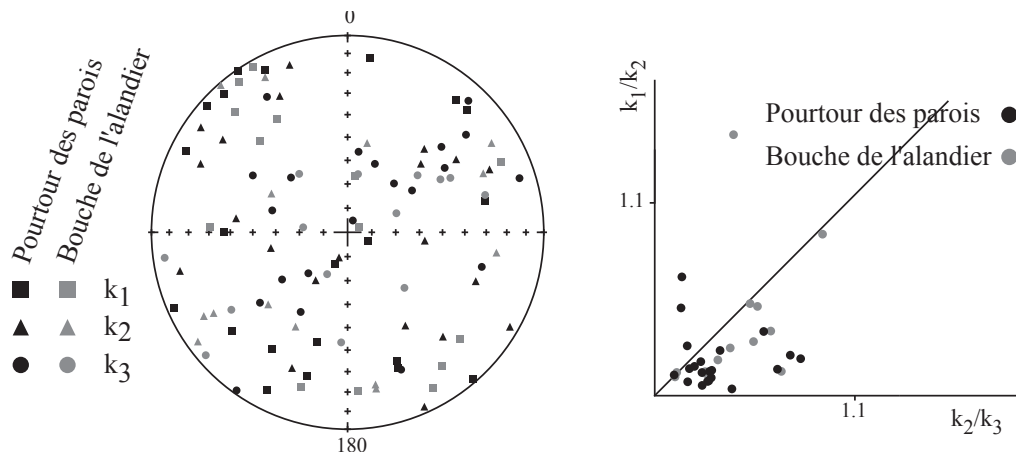


Figure 4 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les échantillons provenant des parois de la chambre de chauffe (en bleu) sont distingués de ceux provenant de la bouche de l'alandier (en rouge).

Annexe 3 : Etude des sites français, Montmorillon, Rocade-Est

	ARN (A/m)	χ (10 ⁻⁵ SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
										K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
86165A-1A11	7,0E-02	5,3E+01	150 - 350	II ^{re}	5	9.1	59.9	3.4	-0.7	1.035	1.008	1.027	9.3	60.2
86165A-1A23	1,1E-01	1,8E+01	200 - 540	ChRM	9	352.7	63.9	2.0	3.0	1.021	1.011	1.010	353.2	64.3
86165A-2A33	5,7E-02	1,1E+02	100 - 400	II ^{re}	7	2.7	65.4	2.5	1.3	1.042	1.018	1.024	0.3	65.9
86165A-3A11	1,2E+00	3,3E+02	100 - 280	II ^{re}	5	4.1	62.7	2.6	-1.8	1.092	1.021	1.069	358.8	62.6
86165A-4A11	1,4E+00	3,6E+02	150 - 570	ChRM	10	8.6	66.8	1.1	-4.3	1.091	1.033	1.056	5.5	65.3
86165A-4A23	1,6E-01	1,2E+02	100 - 540	ChRM	10	1.8	71.7	0.9	1.6	1.058	1.023	1.033	4.4	70.4
86165A-5A33	7,5E-02	6,9E+01	100 - 350	II ^{re}	5	357.8	67.7	4.0	-1.5	1.059	1.045	1.013	356.3	68.1
86165A-6A11	3,4E-01	1,5E+02	100 - 565	ChRM	12	4.7	66.1	1.5	0.6	1.036	1.008	1.028	2.4	65.8
86165A-7A13	8,3E-02	9,6E+01	100 - 280	II ^{re}	5	0.6	61.2	2.6	0.6	1.025	1.008	1.017	1.6	61.6
86165A-8A11	9,2E-01	4,5E+02	100 - 540	ChRM	10	346.3	68.4	0.9	-1.0	1.032	1.014	1.018	347.5	68.0
86165A-9A11	1,8E+00	4,8E+02	100 - 570	ChRM	11	342.3	64.9	0.8	-5.2	1.095	1.019	1.074	340.2	63.8
86165A-10A11	9,4E-02	1,0E+02	100 - 300	II ^{re}	5	348.7	60.6	3.4	3.1	1.030	1.006	1.024	348.6	61.2
86165A-10A22	5,5E-02	8,6E+01	100 - 350	II ^{re}	6	355.1	62.8	2.6	2.2	1.041	1.013	1.028	354.5	63.5
86165A-11A11	2,5E-01	1,6E+02	150 - 540	ChRM	9	348.6	67.1	1.0	2.1	1.076	1.061	1.014	346.8	67.2
86165A-11A22	1,7E-01	1,1E+02	100 - 565	ChRM	12	355.3	63.6	0.7	1.5	1.036	1.015	1.020	353.8	63.7
86165A-12A11	8,2E-01	3,4E+02	100 - 400	II ^{re}	7	358.3	65.2	3.2	-1.0	1.077	1.014	1.063	359.7	66.5
86165A-12A13	1,3E-01	1,2E+02	100 - 200	II ^{re}	3	0.9	67.3	4.5	2.7	1.037	1.012	1.024	359.5	67.6
86165A-13A22	8,8E-02	1,0E+02	100 - 540	ChRM	10	359.3	65.5	1.5	2.1	1.043	1.013	1.029	357.3	65.4
86165A-14A22	1,2E-01	1,1E+02	100 - 540	ChRM	10	358.9	52.0	1.0	2.4	1.043	1.026	1.017	358.4	52.7
86165A-15A11	8,9E-01	2,9E+02	250 - 570	ChRM	8	0.3	60.8	0.9	-5.2	1.100	1.046	1.052	355.2	60.4
86165A-16A11	9,0E-01	3,1E+02	100 - 570	ChRM	11	12.7	65.4	1.5	-3.0	1.078	1.013	1.064	12.3	66.4
86165A-17B12	2,5E-01	2,4E+02	100 - 470	ChRM	9	1.2	70.5	0.7	-2.9	1.094	1.033	1.059	5.1	71.8
86165A-18A11	2,3E-01	2,0E+02	150 - 540	ChRM	9	358.2	64.5	1.0	-0.1	1.064	1.024	1.038	357.7	65.2
86165A-19A11	7,0E-01	2,4E+02	100 - 540	ChRM	10	355.0	68.1	1.3	-2.9	1.037	1.012	1.025	355.4	67.3
86165A-20A11	2,0E-01	1,3E+02	200 - 500	ChRM	7	6.1	66.9	0.9	0.9	1.175	1.082	1.085	6.3	64.3
86165A-21A11	8,1E-02	1,3E+02	100 - 470	II ^{re}	8	352.8	56.1	1.6	2.9	1.079	1.028	1.050	352.6	57.4
86165A-21A13	7,8E-02	1,0E+02	150 - 500	II ^{re}	8	5.5	62.7	2.6	0.5	1.038	1.012	1.025	5.1	63.4
86165A-22A11	6,3E-01	2,0E+02	100 - 540	ChRM	11	8.6	70.2	0.8	-4.6	1.178	1.133	1.040	7.4	66.5
86165A-22B11	2,2E-01	1,0E+02	100 - 540	ChRM	10	358.7	63.9	1.1	-1.4	1.023	1.012	1.011	359.4	64.0
86165A-23A12	1,8E-01	8,1E+01	150 - 540	ChRM	9	357.6	69.1	2.6	-0.9	1.098	1.047	1.048	351.5	69.6
86165A-24A11	8,8E-02	8,0E+01	100 - 500	ChRM	9	4.7	59.7	1.2	2.6	1.051	1.018	1.032	5.5	60.1
86165A-24A13	1,5E-01	1,1E+02	100 - 500	ChRM	9	358.0	64.2	1.1	2.8	1.038	1.010	1.027	0.0	64.7
86165A-25A11	9,8E-02	6,6E+01	100 - 565	ChRM	12	348.1	62.7	1.5	2.9	1.020	1.010	1.010	347.9	62.9

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; une nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

La Figure 6 montre le bon regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement. Les directions d'aimantation de la bouche de l'alandier ne se distinguent pas de celles des parois de la chambre de chauffe (Tableau 2). La direction du prélèvement 14 apparaît hors-tendance et est donc éliminée du calcul de la direction moyenne par la statistique de Fisher.

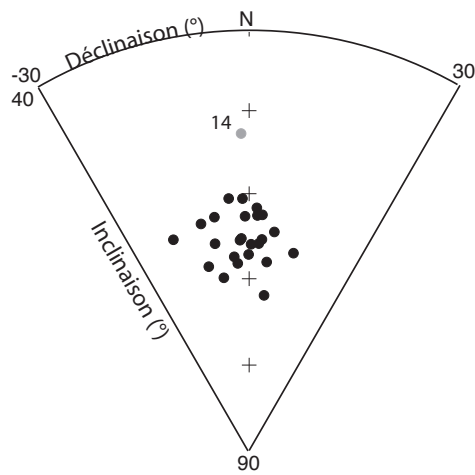


Figure 6 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie. Le prélèvement 14 présente une direction hors-tendance.

Moyennes sans correction

$D = -1.3^\circ$ $I = 65.3^\circ$ $N=24, n=32$ $k=387$ $\alpha_{95} = 1.5^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -2.2^\circ$ $I = 65.3^\circ$ $N=24, n=32$ $k=382$ $\alpha_{95} = 1.5^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -2.4 \pm 3.9^\circ$ $I_p = 67.1 \pm 1.5^\circ$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du four 2008 de Montmorillon Rocade-Est.

Mouliets-et-Villemartin, Lacoste

Code archéomagnétique : 33296A et 33296B

Contexte archéologique et prélèvement

Le site de Lacoste, sur la commune de Mouliets-et-Villemartin (Lat : 44.831°N ; Long : 0.039°W) est un village ouvert de 25 hectares, occupé à partir du IV^{ème} siècle av. J.-C. Le site a principalement une vocation artisanale avec des productions céramique et métallurgique. Le site a été découvert en 1954 et vient de faire l'objet d'une opération d'archéologie préventive entre août 2007 et mars 2008. Les fouilles étaient dirigées par Christophe Sireix (INRAP Grand Sud-Ouest).

L'étude archéomagnétique a porté sur la plaque-foyer 180. Elle est constituée d'un niveau d'argile cuite (u.s. 6044) d'environ 2,5 cm d'épaisseur, posée sur un radier de tessons de céramiques posés à plat (u.s. 6045) (Figure 1). Les tessons, d'une épaisseur de 5 à 8 mm, présentent des couleurs « rouges » ou « sombres », qui marquent différentes conditions de chauffe. Le fonctionnement de la plaque foyer est daté par le mobilier archéologique entre 180/170 et 160/150 av. J.-C. Six fragments d'argile (numérotés de 1 à 6) et onze tessons (numérotés de 7 à 17) ont été prélevés sans orientation pour des analyses d'archéointensité. Tous les tessons choisis sont de couleur rouge, car ils sont moins susceptibles d'évoluer au cours du protocole d'archéointensité que leurs homologues cuits dans des conditions plus réductrices.

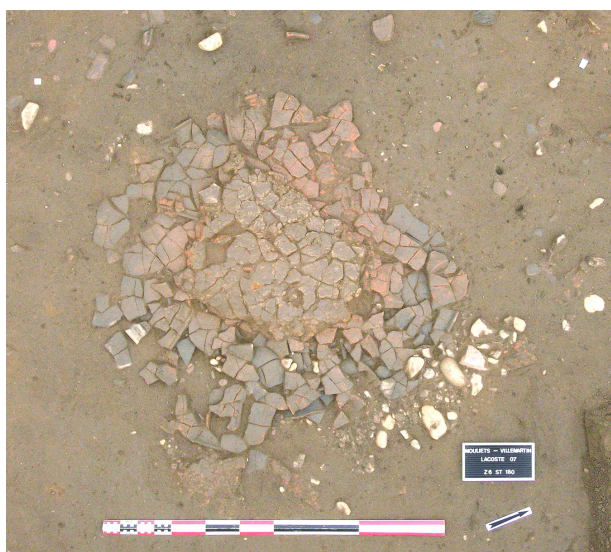


Figure 1 : Photographie de la structure analysée, la plaque foyer 180. (Cliché C. Sireix)

Au laboratoire, les fragments d'argile et les tessons sont d'abord découpés en cubes de 1,8 cm de côté, après consolidation par trempage dans du silicate de sodium. Les tessons ont été débités en petits spécimens de quelques millimètres de côté. Tous les spécimens du même tesson ou du même fragment d'argile ont été orientés dans le même repère. Les tessons et les fragments d'argile sont supposés avoir été chauffés à plat dans le foyer. Dans le cas des tessons, la mesure de l'inclinaison de l'aimantation peut alors être utilisée pour identifier la composante d'aimantation acquise en place.

Minéralogie magnétique

Des désaimantations par champ alternatif (pour 6 spécimens d'argile et neuf tessons), suivies d'acquisitions d'Aimantations Rémanentes Isothermes (ARI, acquises à température ambiante dans des champs d'intensité très élevée de 0,1 à 1 Tesla) pour les spécimens A1B1, A2B1, A5A3 et T9c ont été menées pour apporter des informations sur la nature des minéraux porteurs de l'aimantation. Des analyses de la susceptibilité en fonction de la température ont été menées pour cinq tessons et trois fragments d'argile. L'analyse a été également réalisée sur les spécimens-frères après le protocole de Thellier-Thellier.

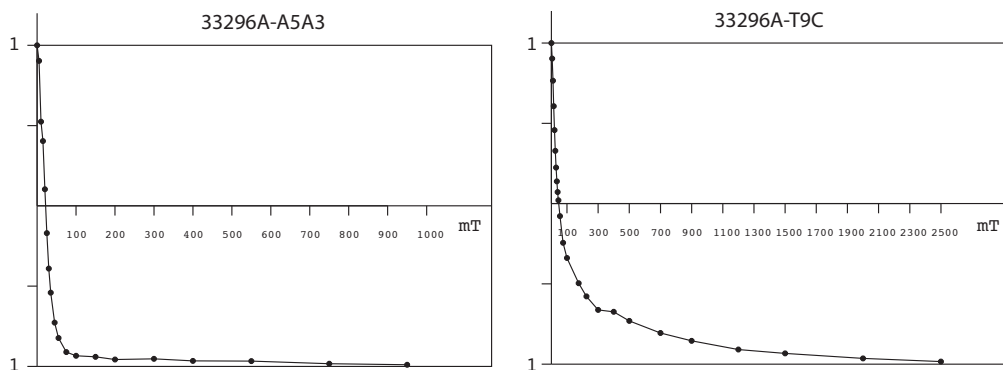


Figure 2 : Acquisitions d'ARI : exemples de courbes « backfield ».

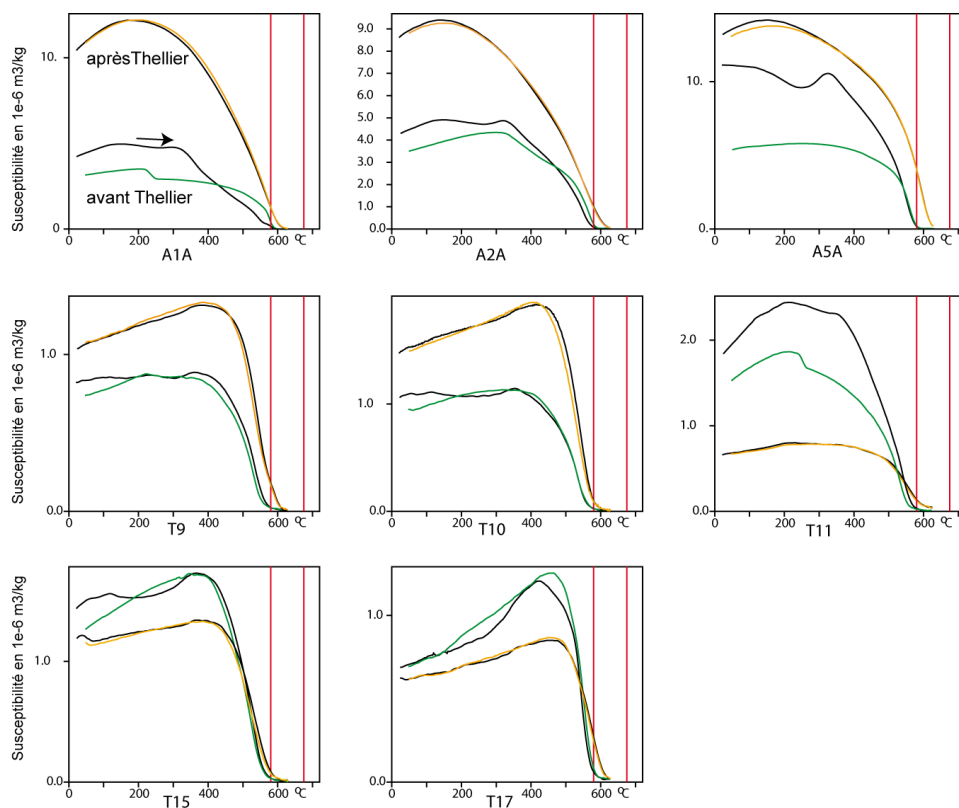


Figure 3 : Evolution de la susceptibilité en fonction de la température. Pour chaque échantillon, l'analyse a été effectuée sur de la poudre avant Thellier-Thellier (en vert) et de la poudre après Thellier-Thellier (en orange). Dans les deux cas, les courbes de chauffe (noir) et de refroidissement (couleur) sont représentées. Si les courbes de chauffe et de refroidissement sont réversibles, la susceptibilité magnétique n'a pas évolué en cours de chauffe.

Les deux types de matériel montrent la présence de deux coercivités minéralogiques différentes (Figure 2). Pour l'argile, la phase de forte coercivité porte environ 10% de l'aimantation. Des proportions plus élevées sont obtenues pour les tessons (jusqu'à 50% de l'aimantation). La phase de faible coercivité est probablement une (titano)magnétite (Figure 3). La phase de forte coercivité semble être de la (titano)hématite. D'après la Figure 3, contrairement aux tessons (cinq spécimens au milieu et en bas, à l'exception du tesson 11), les courbes de chauffe et de refroidissement ne sont pas réversibles pour l'argile (trois spécimens en haut). L'argile apparaît plus susceptible d'évoluer que les tessons au cours du protocole de Thellier-Thellier.

Désaimantation thermique

Après mesure de l'ARN, les échantillons ont été soumis à une désaimantation thermique, pour vérifier le nombre de composantes d'aimantation. Tous les fragments d'argile ne présentent qu'une seule composante d'aimantation (Figure 4). Des inclinaisons d'environ 61-62° sont obtenues, ce qui ne semble pas incohérent pour le second Âge du Fer.

La majorité des tessons présentent deux composantes d'aimantation. Un seul tesson (n°17) ne porte qu'une seule composante d'aimantation, d'inclinaison 54°. Pour deux tessons (7 et 8), le nombre de composantes n'a pu être déterminé avec certitude : ces deux tessons sont en conséquence écartés de l'analyse de l'archéointensité. En présence de deux composantes, la composante primaire est interprétée comme l'aimantation acquise à la cuisson de la céramique. La composante secondaire présente des inclinaisons comprises entre 55 et 75° (en valeur absolue et corrigées des effets d'anisotropie), cohérentes avec une cuisson à plat et donc en place des tessons. La dispersion des inclinaisons est expliquée par un positionnement des tessons non parfaitement horizontal.

L'effet d'anisotropie reste assez faible pour l'argile (entre 7 et 15%). L'axe minimal du tenseur est proche de la verticale, comme il est attendu pour ce type de structures. Les tessons sont beaucoup plus anisotropes avec des rapports K_{max}/K_{min} entre 29 et 45%, avec l'axe minimal orienté selon l'épaisseur du tesson (comme observé par Genevey et Gallet, 2002).

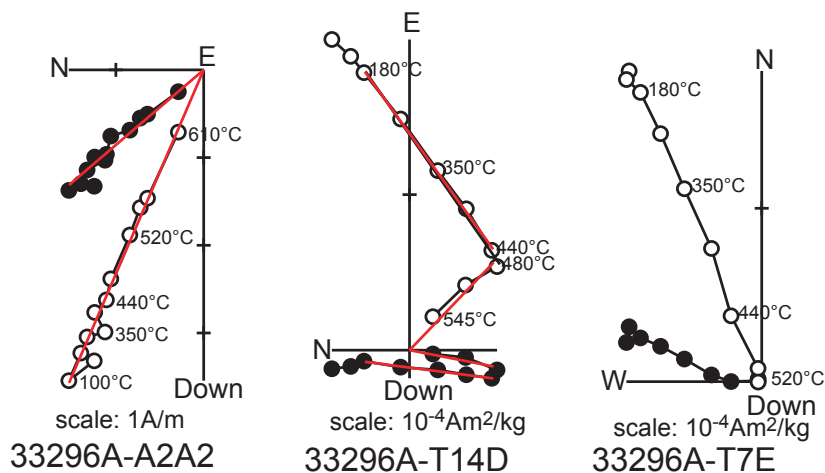


Figure 4 : Exemples de désaimantation thermique pour des spécimens d'argile (à gauche) et des tessons (au milieu et à droite). Les cercles pleins (vides) représentent les projections sur le plan horizontal (vertical).

Résultats d'archéointensité

Quinze échantillons ont été soumis au protocole de Thellier-Thellier. Il s'agit des échantillons d'argile cuite A1A1, A2A1, A3A1, A4A1, A5A1, A6A1 et des tessons T9A, T10A, T11A, T12A, T13A, T14A, T15A, T16A, T17A. Le protocole a été réalisé sous air dans le four Ramsès 2 du laboratoire de Rennes avec un champ de $60\mu\text{T}$. Ce champ est orienté selon l'axe Y des argiles et l'axe Z des tessons, c'est-à-dire avec un angle important par rapport à l'aimantation rémanente naturelle des deux types d'échantillons. Entre 12 et 15 étapes (de 100 à 615°C) ont été effectuées. La correction d'anisotropie a eu lieu à 530°C et la correction de vitesse de refroidissement (refroidissement lent de 24h) à 550°C .

Les Figures 5 et 6 présentent les résultats respectivement pour des spécimens de fragments d'argile cuite et des tessons. Dans les deux cas, un comportement linéaire est observé sur le diagramme ARN/ATR. Les directions observées sur les représentations orthogonales sont similaires aux directions calculées sur leurs spécimens-frères désaimantés thermiquement. Ceci, associé aux bouclages positifs, montre généralement l'absence d'évolutions minéralogiques en cours de chauffe.

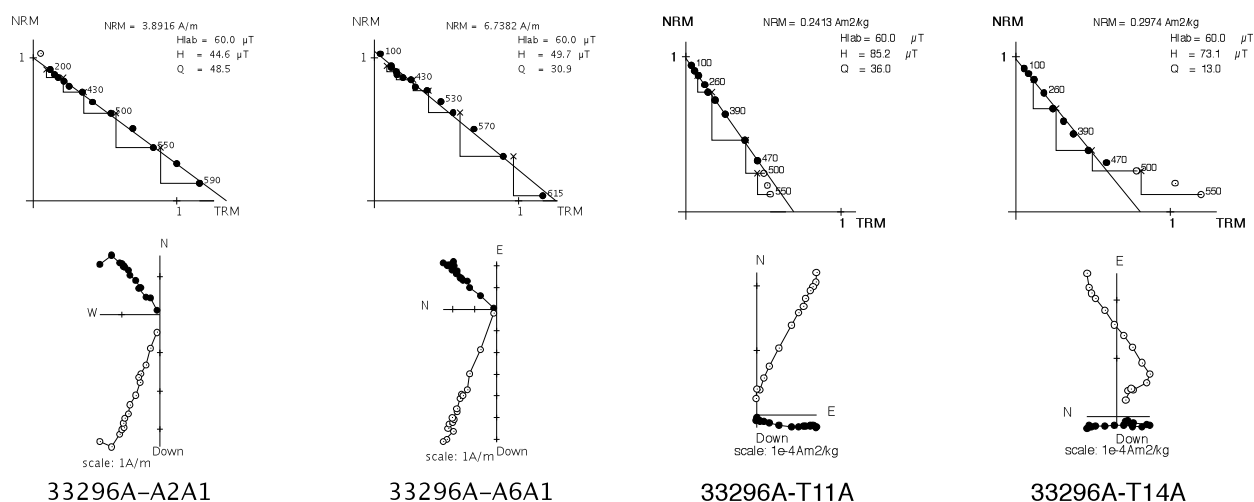


Figure 5 : Résultats d'archéointensité pour deux fragments de la sole d'argile. En haut : diagramme ARN/ATR. En bas : projections orthogonales. Les cercles pleins (vides) représentent les projections sur le plan horizontal (vertical).

Figure 6 : Résultats d'archéointensité pour deux tessons. En haut : diagramme ARN/ATR. En bas : projections orthogonales. Les cercles pleins (vides) représentent les projections sur le plan horizontal (vertical).

Le tableau 1 montre que tous les échantillons (fragments d'argile et tessons) respectent les critères de fiabilité des déterminations d'archéointensité (bouclages positifs, $f > 0.4$, $\text{MAD} < 5^\circ$, $\text{DANG} < 5^\circ$ et $\mathbf{B} < 0.05$).

Aucun échantillon n'est rejeté pour le calcul des archéointensités moyennes. On observe une différence importante entre les résultats des tessons et des fragments d'argile (Figure 7). Cette différence diminue après correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement, mais les deux moyennes restent significativement différentes. Cette différence peut être due à des altérations non détectées lors du protocole Thellier-Thellier, ou rendre compte de la variation séculaire de l'archéointensité.

Annexe 3 : Etude des sites français, Mouliets-et-Villemartin, Lacoste

Echantillon	Tmin - Tmax (°C)	I/II	n	f	g	q	MAD (°)	DANG (°)	β	F (μ T)	σ F (μ T)	Derive (%)	F _{aniso} (μ T)	σ F _{aniso} (μ T)	Cooling 24h (%)	Alteration (%)	F _{aniso+cr} (μ T)	σ F _{aniso+CR} (μ T)
33296A-A1A1	200 - 615	I	13	0.878	0.881	68.5	2.5	0.9	-0.011	46.1	0.5	-2.5	48.9	0.6	1.0	-0.8	48.4	0.6
33296A-A2A1	200 - 590	I	12	0.782	0.880	48.5	2.6	2.3	-0.014	44.6	0.6	5.2	45.6	0.6	2.7	-0.5	44.4	0.6
33296A-A3A1	200 - 590	I	12	0.839	0.889	51.8	3.3	1.9	-0.014	49.8	0.7	3.3	52.5	0.8	6.5	-0.6	49.1	0.7
33296A-A4A1	100 - 590	I	13	0.849	0.891	36.1	3.3	1.7	-0.021	52.7	1.1	3.5	56.5	1.2	2.0	-1.3	55.4	1.2
33296A-A5A1	100 - 615	I	14	0.938	0.858	59.1	4.8	1.3	-0.014	51.3	0.7	-9.0	54.3	0.8	-2.0	0.6	55.4	0.8
33296A-A6A1	100 - 615	I	14	0.922	0.857	30.9	3.5	0.9	-0.026	49.7	1.3	-2.9	52.7	1.4	-0.4	1.7		
33296A-T9A	100 - 430	II	8	0.527	0.841	20.7	3.0		-0.021	85.4	1.8	1.1	81.1	1.9	12.2	0.7	71.2	1.7
33296A-T10A	100 - 470	II	9	0.697	0.848	31.7	1.9		-0.019	77.0	1.4	0.8	73.7	1.4	9.9	1.6	66.4	1.3
33296A-T11A	100 - 470	II	9	0.615	0.827	36.0	2.2		-0.014	85.2	1.2	0.3	80.6	1.2	14.4	0.1	69.0	1.0
33296A-T12A	100 - 470	II	9	0.704	0.858	26.8	2.3		-0.023	74.0	1.7	0.6	66.2	1.6	9.6	1.3	59.8	1.4
33296A-T13A	100 - 430	II	8	0.669	0.837	42.2	2.1		-0.013	73.5	1.0	-0.4	70.8	0.9	10.0	1.0	63.7	0.8
33296A-T14A	100 - 470	II	9	0.640	0.861	13.0	1.5		-0.042	73.1	3.1	1.5	68.5	2.9	8.3	0.7	62.8	2.7
33296A-T15A	100 - 500	II	10	0.853	0.864	49.2	2.0		-0.015	80.8	1.2	-0.8	74.9	1.0	12.2	1.1	65.8	0.9
33296A-T16A	100 - 390	II	7	0.578	0.812	30.0	2.3		-0.016	70.8	1.1	1.1	69.7	1.1	12.0	1.0	61.3	1.0
33296A-T17A	100 - 570	I	13	0.857	0.901	54.8	1.7	0.9	-0.014	98.8	1.4	2.1	82.7	1.2	12.0	-0.1	72.8	1.1

Tableau 1 : Résultats d'archéointensité pour les fragments d'argile (échantillons A en haut) et les tessons (échantillons T en bas).

Nom de l'échantillon ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; composante primaire (I) ou secondaire (II) ; nombre d'étapes ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Archéointensité sans correction ; Erreur standard de l'archéointensité sans correction ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Archéointensité avec correction d'anisotropie ; Erreur standard de l'archéointensité avec correction d'anisotropie ; Facteur de correction de vitesse de refroidissement ; Facteur d'altération lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité corrigée de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement ; Erreur standard de l'archéointensité avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

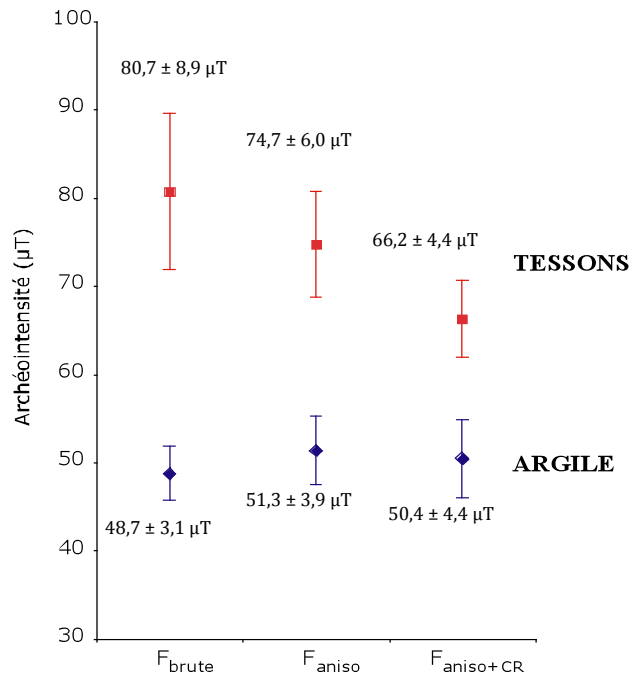


Figure 7 : Comparaison des résultats pour l'argile (n=6 échantillons) et les tessons (n=9 échantillons) (Moyennes pondérées de Prévôt).

(1) Malgré les bouclages positifs et l'absence de déviation de la direction d'ARN en cours de chauffe, des changements de la minéralogie magnétique se sont produits aussi bien pour les fragments d'argile que les tessons, comme l'attestent les analyses Susceptibilité-Température effectuées après les chauffes (courbes oranges, Figure 3). Ces évolutions se manifestent par une augmentation de la température de Curie, signe d'une oxydation partielle de la magnétite. Pourtant, rien n'indique que les estimations d'archéointensité pourraient être biaisées par de telles évolutions.

(2) La différence peut aussi être d'origine chronologique. Pour ce type de plaque-foyer, on peut imaginer un rechapage de la sole d'argile sur le même radier de tessons. En effet, sur le site de Lacoste, le nombre de plaques foyers reste limité : 35 et 38 plaques foyers sur une durée de 100-150 ans. Ceci induirait une longue durée de vie pour chaque structure. Pour l'archéomagnétisme, cela signifierait que l'enregistrement de l'aimantation dans l'argile soit postérieur à l'enregistrement de l'aimantation dans les tessons. Cette hypothèse pose problème pour expliquer la différence d'archéointensité entre les deux types de matériel, à cause de l'existence dans l'argile d'une seule composante d'aimantation, acquise à des températures élevées (Figure 4).

(3) La différence pourrait aussi s'expliquer par une mauvaise estimation de la vitesse de refroidissement initial. Un refroidissement supérieur à 24 heures pourrait rendre cohérente les archéointensités. Mais une telle durée semble peu probable au vu de la dimension et du caractère ouvert de la structure.

Pour conclure, on manque d'arguments pour privilégier une des hypothèses : soit il s'agit de deux événements différents, soit la différence est liée à des artefacts de l'aimantation non détectés au cours des expérimentations. Les moyennes pour chaque matériel sont utilisés pour l'étalonnage des variations du champ magnétique terrestre.

Perpignan, Ruscino

Code archéomagnétique: 66136E

Contexte archéologique (d'après Marichal et Rébé, 2003)

Sur la commune de Perpignan, le site de Ruscino (Château-Roussillon, Lat : 42.699°N ; Long : 2.896°E) est situé sur un plateau dominant la plaine du Roussillon et la vallée du Têt. Les fouilles menées aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles (notamment par Georges Claustres de 1946 à 1968) ont montré une occupation continue depuis le VIII^{ème} siècle av. J.-C. jusqu'au VIII^{ème} siècle ap. J.-C. Entre 2000 et 2002, en préalable à la construction d'un parking pour le musée du site, une fouille programmée a été menée par Rémi Marichal et Isabelle Rébé à l'extrémité sud du plateau actuel.

Outre des tombes à incinération de la fin de l'âge du Bronze, la fouille a mis au jour un habitat du premier âge du Fer, nommé « Habitation 1 ». L'habitat, en excellent état de conservation, présente un plan à 2 absides avec une longueur de 10,5 m et une largeur de 4,6m. La construction, en matériaux périssables, repose sur quatre poteaux au centre de la pièce et de nombreux poteaux périphériques (Figure 1). La faible (20 cm au maximum) épaisseur des dépôts attestent la courte durée d'occupation de l'habitat. Les aménagements intérieurs subsistent seulement dans la moitié Nord. Ils consistent en des fosses, 3 banquettes (dont une est probablement un seuil), des niveaux de sol successifs, 2 foyers et un four. La sole de ce four, l'u.s. 5106, a été prélevée pour l'archéomagnétisme.

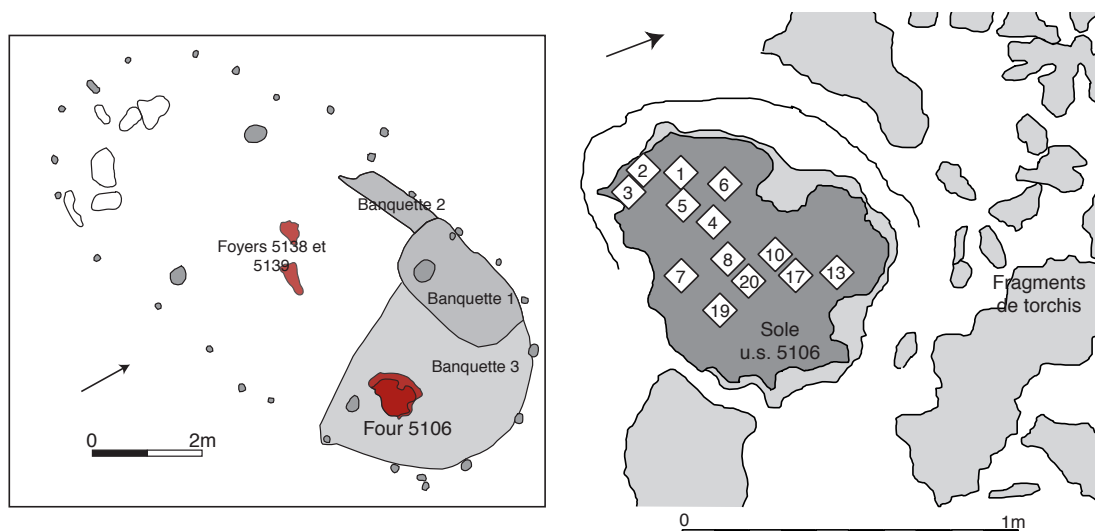


Figure 1 : Plan de l'habitation 1 et plan détaillé du four 5106 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Marichal et Rébé, 2003, page 152 figure 165 et page 155 figure 170)

La sole présente une forme globalement en « ampoule », dont l'excroissance au sud vers le centre de la pièce marque peut-être l'ouverture du four (Figure 1). La surface de la sole est plane et soigneusement lissée. La sole est constituée d'une couche d'argile (avec de nombreuses inclusions de quartz) rubéfiée de 6 à 7 cm d'épaisseur. Autour de la sole, de nombreux fragments de torchis brûlés sont interprétés comme les restes de la voûte du four. Ces fragments sont recouverts par la couche 5150 constituant la banquette 3. Comme la banquette 3 ne recouvre néanmoins pas la sole 5106, ceci permet de supposer que la sole, conservée en creux, aurait pu servir de foyer après la destruction du four et la construction de la banquette 3. L'absence de

couches cendreuse ou charbonneuses ne permet pas de confirmer avec certitude cette hypothèse d'utilisation postérieure de la sole du four.

Datation de la sole 5106 (d'après Marichal et Rébé, 2003)

La datation de la courte occupation de l'habitation 1 repose sur le mobilier céramique. La céramique non-tournée (CNT) représente quasiment la seule catégorie céramique associée aux niveaux d'occupation et de destruction de l'habitation 1. Le mobilier très homogène est à rapprocher du faciès Grand Bassin du Languedoc occidental, placé entre 725 et 575 av. J.-C.

Dans les niveaux scellant l'habitation, les urnes u11 et les jattes j1b, sont connus dans les niveaux du VI^{ème} siècle av. J.-C. Le mobilier d'importation, retrouvé dans ces couches scellant l'habitation apporte des précisions supplémentaires sur ce TAQ pour l'habitat. La présence conjointe de 8 tessons d'amphores étrusques (6 fragments de panse d'amphores à pâte C et 2 fragments de panse d'amphores à pâte A) et un tesson de *bucchero nero* permet d'avancer que les couches scellant l'habitation sont datés du premier quart du VI^{ème} siècle av. J.-C.

L'habitation 1 daterait donc des « alentours de 600, du dernier quart du VII^{ème} siècle av. J.-C. » (Marichal et Rébé, 2003). Par précaution, pour établir les courbes de référence archéomagnétiques les plus fiables, nous avons calé chronologiquement le moment d'acquisition de l'aimantation dans l'intervalle [-640 ; -585].

Prélèvement archéomagnétique

Treize prélèvements ont été réalisés sur la sole 5106 par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 29 août 2001 (Figure 1). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole (sauf le numéro 20, qui n'a été orienté qu'à la boussole). Au laboratoire, les prélèvements très fragiles ont été découpés après induration en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Cette structure avait fait l'objet d'une analyse archéomagnétique préliminaire (Marichal et Rébé, 2003). La direction moyenne était calculée à partir des directions d'ARN ($61.84 \pm 1.78^\circ$ pour l'inclinaison et $17.07 \pm 3.78^\circ$ pour la déclinaison). L'analyse a été complètement reprise et de nouveaux échantillons ont été découpés. (L'amélioration considérable des protocoles d'induration du laboratoire de Rennes a par exemple permis d'exploiter d'autres prélèvements.)

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450 puis 600°C et lors du refroidissement.

Treize échantillons (un de chaque prélèvement sauf le 10) ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 570°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à cinq échantillons dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 60µT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Neuf chauffes ont été réalisées

entre 100 et 550°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 480°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 1.70 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 18 et 490 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger entre 0.1 et 11 (Figure 2). Cette variabilité illustre la variabilité de la chauffe entre les prélèvements : les prélèvements de la partie orientale du foyer, plus aimantés, indiqueraient une intensité de la chauffe plus importante que dans la partie occidentale à l'entrée du four (Tableau 1).

Les courbes thermomagnétiques (Figure 3) montrent que la principale phase ferromagnétique présente une composition proche d'une magnétite pauvre en Titane avec des températures de Curie entre 545 et 585°C. Les courbes de chauffe et de refroidissement sont irréversibles pour la moitié des échantillons (par exemple, le prélèvement 3 et le 7 au-delà de 450°C). Pour les autres échantillons, comme les prélèvements 10, 17, 19 et 20, l'irréversibilité permet de supposer la réussite du protocole de Thellier-Thellier sur leurs fragments-frères.

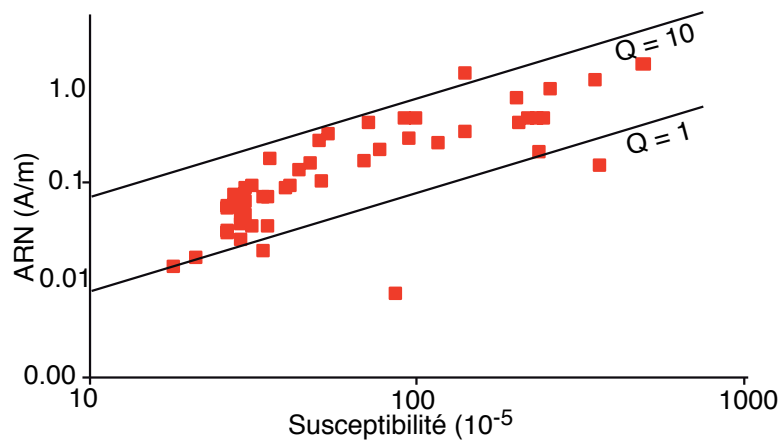


Figure 2 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Ruscino. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

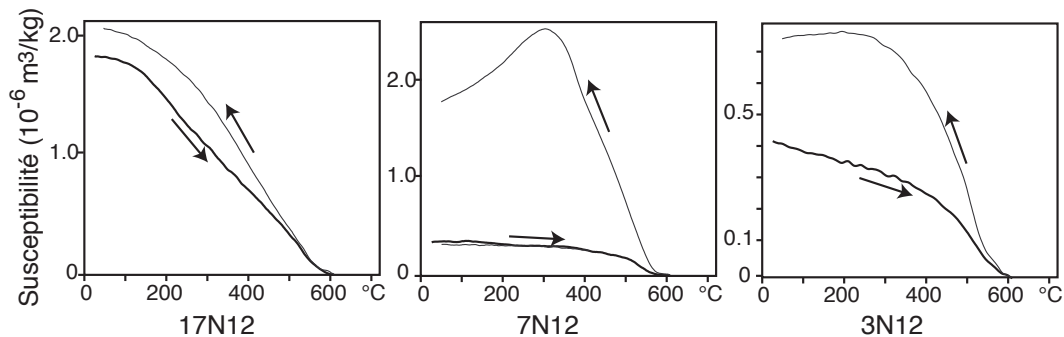


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques du four de Ruscino. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). La plupart des échantillons (quatre sur treize) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 4). Les prélèvements 1, 2, 3 et 13, situés en périphérie de la sole, portent deux composantes d'aimantation. Dans ce cas, la direction de la composante secondaire est déterminée. Les directions d'aimantation sont récapitulées dans le tableau 1.

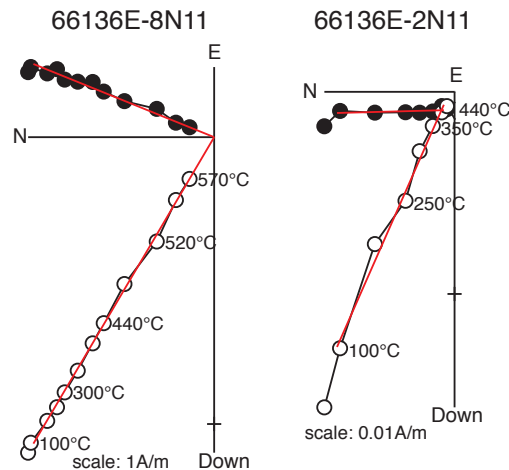


Figure 4 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Les échantillons portent une (à gauche) ou deux (à droite) composante d'aimantation. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Nom	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
										K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
66136E-1N12	5,5E-02	2,6E-04	100 - 480	II ^{re}	8	9.8	64.6	2.1	0.2	1.393	1.033	1.349	2.2	72.1
66136E-2N11	1,7E-02	2,1E-04	100 - 440	II ^{re}	7	358.5	66.2	2.7	5.6	1.307	1.047	1.248	355.3	70.2
66136E-3N13	1,3E-02	1,6E-04	100 - 440	II ^{re}	7	0,0	66.5	6.5	9.4	1.131	1.031	1.098	3.3	64.1
66136E-4P1	2,9E-01	1,4E-03	100 - 550	ChRM	12	12.5	56.1	0.7	-5,0	1.433	1.131	1.268	2.4	63.5
66136E-5P1	4,2E-01	9,3E-04	100 - 570	ChRM	11	15.1	61.7	1.1	-4,0	1.259	1.082	1.164	12.3	66.4
66136E-6N11	3,1E-02	3,9E-04	200 - 480	ChRM	7	9.3	58.5	2.1	-1.8	1.325	1.088	1.218	358.0	63.2
66136E-7N11	3,0E-02	3,8E-04	100 - 440	ChRM	7	9.9	64.9	1.5	10.1					
66136E-8N11	1,3E+00	1,4E-03	100 - 570	ChRM	11	22,0	57.5	0.8	-3.2	1.329	1.081	1.230	17.3	64.9
66136E-10N22	7,6E-02	9,5E-04	100 - 480	ChRM	8	8.5	60.3	0.9	0.1	1.271	1.043	1.219	1.4	63.3
66136E-13N11	7,2E-02	9,0E-04	100 - 480	II ^{re}	8	15,0	71.7	1.5	0,0	1.269	1.026	1.237	359.9	75.4
66136E-17N12	4,1E-01	5,0E-04	100 - 550	ChRM	10	17.4	61.7	1.4	-1.2	1.179	1.088	1.084	12.7	65.4
66136E-19N11	3,1E-01	3,9E-03	100 - 570	ChRM	11	16.7	59.8	1.3	-6.4	1.261	1.070	1.178	13.5	66.0
66136E-20N11	1,3E-01	1,6E-03	100 - 550	ChRM	10	13.7	63.3	1.6	-1,0	1.216	1.034	1.176	9.5	68.3

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; ChRM/II^{re} : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie forte avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 13 et 40% (Tableau 1). Tous les échantillons présentent une fabrique dominée par la foliation (Figure 6). A l'échelle de la structure, l'axe minimal du tenseur d'anisotropie est proche de la verticale, comme il est couramment observée pour ce type de sole. L'application de la correction d'anisotropie améliore le regroupement des archéodirections en augmentant significativement l'inclinaison (Tableau 3). L'anisotropie améliore également le regroupement des archéointensités (Tableau 3).

La correction de vitesse de refroidissement est appliquée aux trois échantillons (Tableau 2). La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures varie entre 0 et 6% et est supérieure ou égale à l'évolution minéralogique intervenue au cours de l'expérimentation.

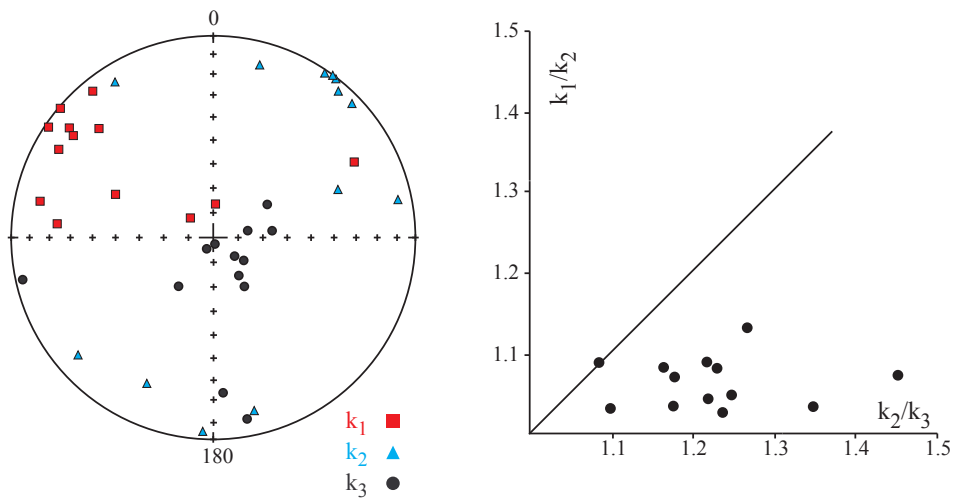


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Résultats

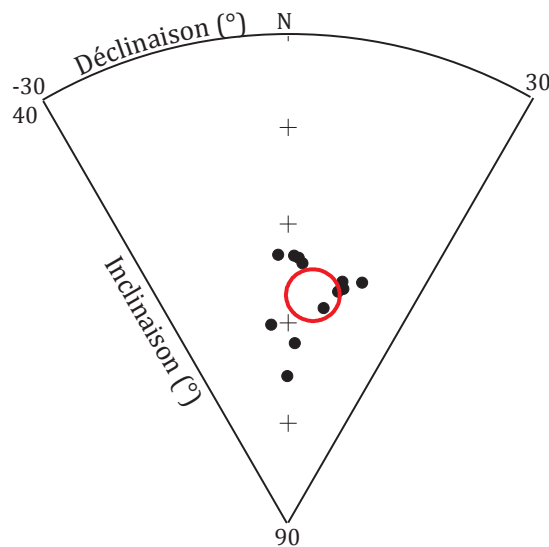


Figure 7 : Regroupement des directions d'aimantation après correction d'anisotropie.

Annexe 3 : Etude des sites français, Perpignan Ruscino

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées après désaimantation thermique. Les archéodirections sont assez dispersées avec un facteur k égal à 289 (Figure 7 et Tableau 3). L'archéodirection moyenne est calculée à partir des trois échantillons dont l'archéointensité est corrigée de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement.

Moyennes sans correction

$$D = 11.8^\circ \quad I = 62.7^\circ \quad N=13, n=13 \quad k=242 \quad \alpha_{95} = 2.7^\circ \\ F = 72.2 \pm 5.6 \mu\text{T} \quad N=5, n=5$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = 5.9^\circ \quad I = 67.0^\circ \quad N=12, n=12 \quad k=289 \quad \alpha_{95} = 2.6^\circ \\ F = 77.4 \pm 5.1 \mu\text{T} \quad N=3, n=3$$

Moyennes avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

$$F = 74.7 \pm 2.7 \mu\text{T} \quad N=3, n=3$$

A Paris (VGP et VDM)

$$D_p = 6.9 \pm 8.1^\circ \quad I_p = 71.2 \pm 2.6^\circ \quad F_p = 78.8 \pm 2.7 \mu\text{T} \\ \text{VDM} = 11.7 \cdot 10^{22} \text{A.m}^2 \quad \text{VADM} = 12.5 \cdot 10^{22} \text{A.m}^2$$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four 5106 de Ruscino

Bibliographie

Marichal, R. & Rébé, I., 2003. *Les origines de Ruscino (Château-Roussillon, Perpignan, Pyrénées-Orientales) du Néolithique au premier âge du Fer*, Monographies d'archéologie méditerranéenne, 16, Lattes, 300 p.

Pont-Rémy, le Fond-de-Baraquin

Code archéomagnétique: 80635A

Contexte archéologique (d'après Prilaux, 2000)

Le site du « Fond-de-Baraquin » à Pont-Rémy (Lat : 50.080°N ; Long : 1.914°E), entre Abbeville et Amiens, a fait en 1995 l'objet de fouilles préventives (dirigées par Gilles Prilaux, AFAN puis INRAP) en préalable à la construction de l'autoroute A16. Le site est caractérisé par un vaste établissement rural laténien de 5 ha, occupé entre le III^{ème} siècle av. J.-C. et le début du I^{er} siècle ap. J.-C. Des vestiges d'un établissement de l'Hallstatt final ont également été retrouvés.

L'établissement laténien est caractérisé par un système d'enclos modifié à plusieurs reprises jusqu'à l'augustéen. Dans l'angle nord-ouest de l'enclos principal, un atelier de production de sel, d'environ 2000 m² de surface, est installé à la Tène finale. Le site de Pont-Rémy est un exemple remarquable d'intégration d'une activité artisanale dans un habitat rural à la Tène finale. L'atelier comprend particulièrement un fourneau (structure 227), couvert par un bâtiment trapézoïdal (Figure 1). Une aire de chauffe (272) dont la fonction n'est pas déterminée, des fosses d'extraction d'argile et des fosses de rejet complètent cet atelier de bouilleur de sel. Le sel était produit par la technique du briquetage par évaporation de saumure.

Le fourneau 227, prélevé pour l'archéomagnétisme, est creusé dans le substrat limoneux. Le fourneau est du type à grille à deux entrées opposées (Figure 1), que l'on retrouve aussi à Sorrus et Gouy-Saint-André. Le fourneau présente une longueur totale de 5,5 m pour une largeur de 1,7 m et est conservé au maximum sur une hauteur de 80 cm. Les deux extrémités du fourneau sont réservées à l'alimentation en combustibles. La grille, sur laquelle étaient posés les moules contenant la saumure, était supportée par trois poteaux situés dans l'axe du fourneau (Figure 1). La rubéfaction des parois du fourneau atteint 10 cm d'épaisseur. Le fourneau était comblé par un niveau de cendres et de charbon de bois, puis par des fragments de moules à sel et de la grille.

Datation du fonctionnement du fourneau

Pour les fourneaux à sel, l'aimantation n'est probablement pas acquise lors de la dernière utilisation du fourneau, à la différence des fours de potier par exemple. En effet, les températures atteintes lors de l'évaporation de la saumure (environ 100°C) sont insuffisantes. En revanche, des températures élevées, supérieures à 600°C, sont nécessaires pour la fabrication de la grille et du matériel de briquetage (notamment les moules à sel). Il faut noter que les grilles, extrêmement fragiles, sont supposées être renouvelées régulièrement, peut-être même après chaque fournée. Le moment d'acquisition de l'aimantation précède donc probablement de peu la fin de l'atelier de production du sel.

Le mobilier céramique de l'atelier indique que son utilisation couvre l'ensemble de la Tène D1 (Prilaux, 2000). Nous avons choisi de caler chronologiquement le fourneau 227 dans l'intervalle [-150 ; -30]. Cette datation est confirmée par la chrono-typologie des ateliers de bouilleurs de sel du littoral du Pas-de-Calais. Les types des moules à sel (cylindriques ou légèrement coniques) et des accessoires d'enfournement indique que le site de Pont-Rémy s'insère entre le site de Sorrus (principalement la Tène C) et le site augustéen de Conchil-le-Temple (Prilaux, 2000). Les dimensions intermédiaires du fourneau 227 confirment aussi cette typologie.

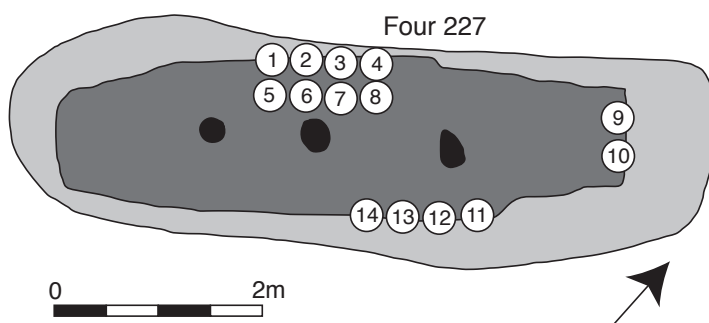
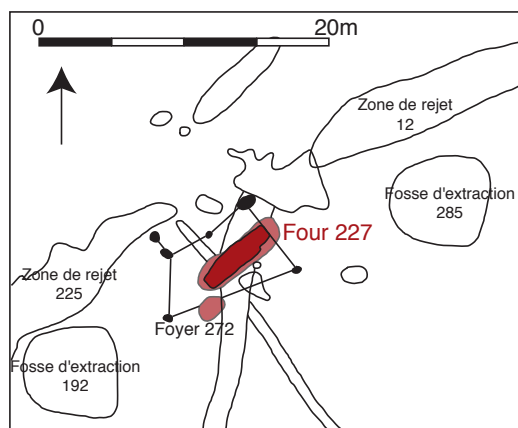


Figure 1 : Plan de l'atelier de bouilleur de sel de Pont-Rémy et plan du fourneau 227 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Prilaux, 2000)

Prélèvement archéomagnétique

Quatorze prélèvements (Figure 1) ont été réalisés par Louis Jeanson le 27 juin 1995 sur les parois du fourneau dans la partie centrale du fourneau (douze) et à l'extrémité nord (deux prélèvements). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2). En coordonnées échantillon, l'axe X correspond globalement à l'axe du fourneau.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Quatorze échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 660°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 450°C.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.01 et 3.6 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 14 et 425 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.6 et 20 (Figure 2a). Cette variabilité est expliquée par la variation de la minéralogie magnétique, mise en

évidence par les températures de déblocage (Figure 2b). L'aimantation des prélèvements 1, 3, 4, 5 et 7 est portée significativement par de l'hématite. On peut remarquer que ces prélèvements proviennent tous de la partie la plus centrale du foyer. Les prélèvements aux extrémités (9 et 10), par lesquelles le fourneau est alimenté, présentent les aimantations les plus élevées, peut-être indicatrices d'une proportion plus importante de magnétite. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette répartition, qui montre des conditions plus oxydantes dans la partie centrale du fourneau qu'aux extrémités. Premièrement, les foyers assurent aux extrémités des conditions moins oxydantes. En second lieu, les moules à sel sont positionnés au niveau de la partie centrale du fourneau et les projections de saumure ont peut-être favorisé la formation d'hématite.

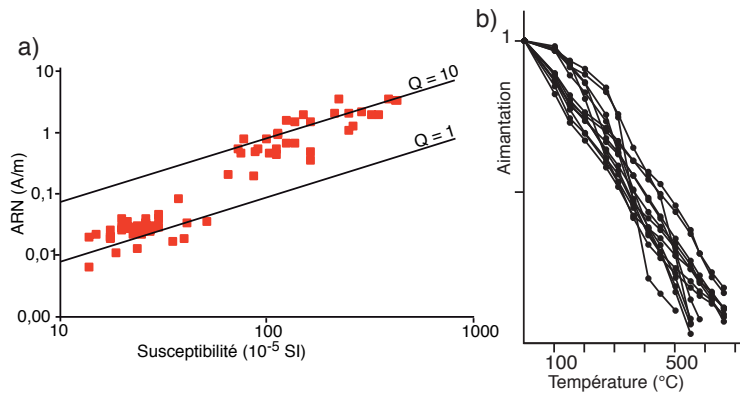


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau de Pont-Rémy. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement.

Désaimantation thermique

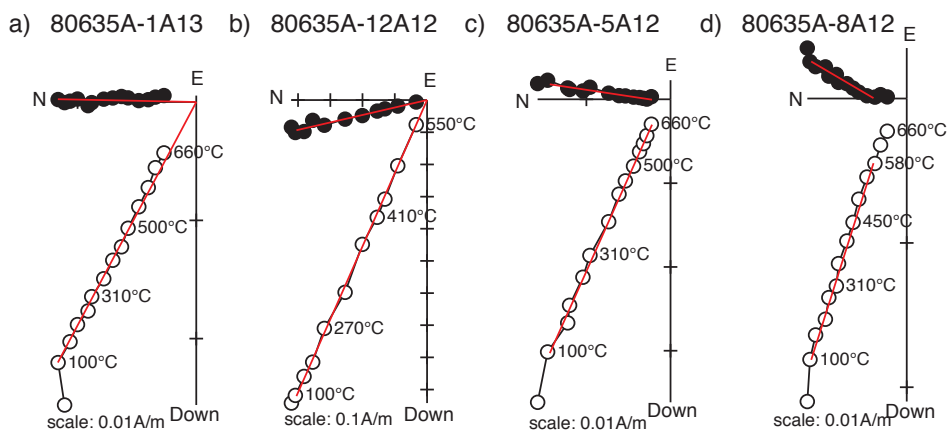


Figure 3 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Les spécimens a et b présentent une seule composante d'aimantation. Les spécimens c et d portent deux composantes d'aimantation : si la composante secondaire du c présente une direction cohérente avec les autres échantillons, celle du spécimen d présente une déviation importante d'environ 30°. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Onze échantillons (sur 14) présentent une seule composante d'aimantation,

acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 3). Les trois autres échantillons, provenant de la partie inférieure de la paroi ouest du fourneau, portent deux composantes d'aimantation (Figure 3). Dans ce cas, la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer toute l'aimantation préexistante. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1. Les directions d'aimantation des spécimens 6, 8 (Figure), 9 et 10 sont significativement différentes des autres échantillons (surtout pour la composante horizontale).

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie parfois forte avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 1 et 23% (Tableau 1). La fabrique est dominée par une linéation. A l'échelle de la structure, on remarque que l'axe minimal du tenseur d'anisotropie est proche de la verticale et l'axe maximal correspond à l'axe x des échantillons, c'est-à-dire à l'axe longitudinal du fourneau (Figure 4). Ceci pourrait être expliquée par un arrangement préférentiel des minéraux magnétiques lors de la construction des parois du fourneau. L'application de la correction d'anisotropie améliore considérablement le regroupement des archéodirections (Tableau 2).

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Anisotropie					
									Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
80635A-1A13	2,8E-02	2,5E+01	100 - 660	ChRM	13	1.2	62.1	1.2	3.2	1.160	1.125	1.031	355.5	64.5
80635A-2A12	2,9E-02	3,0E+01	100 - 660	ChRM	13	5.9	61.2	1.8	0.5	1.159	1.132	1.024	0.7	63.9
80635A-3A11	3,9E-02	2,0E+01	100 - 660	ChRM	13	2.7	69.5	1.3	-12.2					
80635A-4A11	3,3E-02	2,6E+01	100 - 660	ChRM	13	5.9	60.2	1.1	1.9	1.166	1.113	1.048	1.8	63.0
80635A-5A12	3,9E-02	3,0E+01	100 - 660	II ^{re}	13	8.6	65.7	1.8	0.1	1.154	1.103	1.047	5.4	67.8
80635A-6A11	2,0E-02	1,4E+01	100 - 550	II ^{re}	10	30.8	71.6	2.9	2.4	1.229	1.175	1.046	29.0	75.2
80635A-7A21	2,0E-02	1,8E+01	100 - 660	ChRM	13	0.9	64.7	1.4	0.1	1.198	1.158	1.034	355.9	64.9
80635A-8A12	2,2E-02	2,3E+01	100 - 580	II ^{re}	11	30.5	69.8	2.0	-0.5	1.203	1.175	1.024	28.7	72.8
80635A-9A22	2,0E+00	3,3E+02	100 - 550	ChRM	10	331.2	72.5	1.3	-4.5	1.164	1.081	1.077	326.9	70.4
80635A-10A22	1,1E+00	2,5E+02	100 - 550	ChRM	10	280.4	55.4	0.8	-5.6	1.265	1.219	1.038	287.0	58.1
80635A-11A11	8,0E-01	7,8E+01	100 - 500	ChRM	9	349.4	66.4	0.7	-0.8	1.017	1.010	1.006	349.1	66.5
80635A-12A12	1,0E+00	1,1E+02	100 - 550	ChRM	10	347.0	65.7	0.8	-1.1	1.084	1.061	1.022	345.4	66.2
80635A-13A12	4,8E-01	8,8E+01	100 - 550	ChRM	10	350.5	67.4	0.4	-0.9	1.025	1.009	1.016	350.3	67.9
80635A-14A11	5,3E-01	7,3E+01	100 - 580	ChRM	11	348.8	68.3	0.6	-2.0	1.061	1.044	1.016	346.4	68.6

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Résultats

La Figure 5 montre le regroupement de ces directions d'aimantation. Les directions des prélèvements 6, 8, 9 et 10 apparaissent hors-tendance et ne sont pas pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 2).

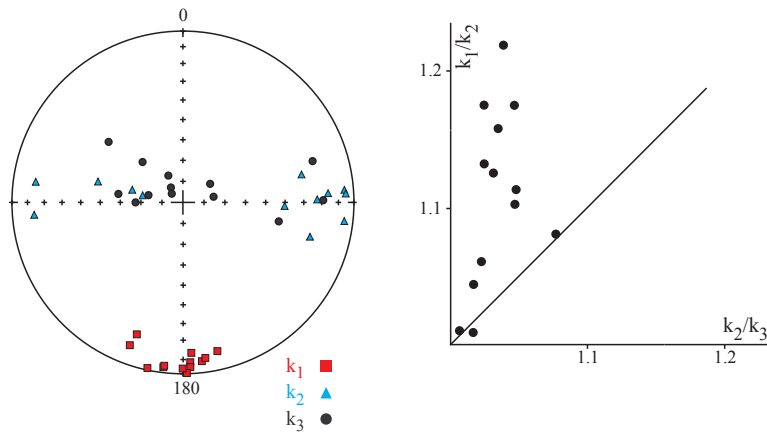


Figure 4 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

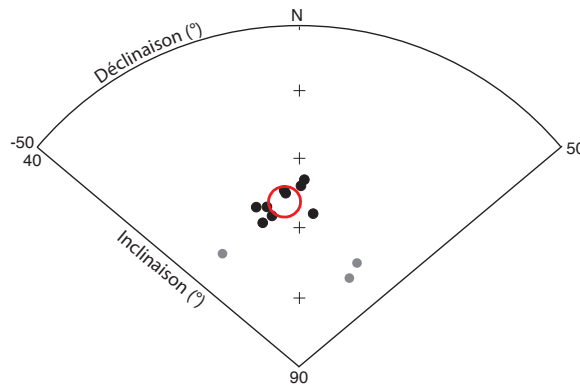


Figure 5 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie. Les prélèvements en rouge 6, 8, 9 et 10 en grisé présentent une direction d'aimantation hors-tendance.

Moyennes sans correction

$D = 1.9^\circ$ $I = 66.4^\circ$ $N=10, n=10$ $k=112$ $\alpha_{95} = 3.8^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -5.3^\circ$ $I = 66.1^\circ$ $N=9, n=9$ $k=543$ $\alpha_{95} = 2.2^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -5.1 \pm 5.2^\circ$ $I_p = 65.1 \pm 2.2^\circ$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du fourneau 227 de Pont-Rémy, « le Fond-de-Baraquin ».

Bibliographie

Prilaux, G., 2000. *La production du sel à l'Age du Fer, contribution à l'établissement d'une typologie à partir des exemples de l'autoroute A16*, Eds Monique Mergoïl, AFAN, Coll. Protohistoire européenne, vol 5, 109 p.

Saint-Martin-de-Fressengeas, la grotte des Fraux

Code archéomagnétique: 24453A

Contexte archéologique (d'après Carozza, 2010)

La grotte des Fraux, sur la commune de Saint-Martin-de-Fressengeas (Lat : 45.4467°N ; Long : 0.8542°E), est un site exceptionnel de l'âge du Bronze. Dans un réseau karstique, des manifestations pariétales (tracés digités sur les parois argileuses) sont associées des sols de circulation avec de nombreux foyers et des dépôts de mobilier. L'exceptionnel état de conservation des vestiges s'explique par l'effondrement de l'entrée de la grotte à la fin de l'âge du Bronze. La grotte a été redécouverte accidentellement en novembre 1989. Ce site fait l'objet depuis 2007 de fouilles programmées dirigées par Laurent Carozza (UMR 5602 GEODE, Toulouse) et a été classé Site d'Etude en Ecologie Globale (SEEG) par l'INEE (direction Albane Burens, UMR5602 GEODE).

Ces études ont notamment mis en évidence un très grand nombre de structures de combustion (32 foyers recensés à ce jour), identifiés par la fouille ou par la prospection magnétique. Ces foyers font l'objet du travail de doctorat d'Aurélie Brodard (CRPAA-IRAMAT, Université de Bordeaux 3), qui vise à caractériser thermiquement les foyers en couplant analyses magnétiques et thermoluminescence, pour apporter de nouveaux éléments de réflexion sur l'utilisation de la grotte. La fonction de la grotte reste en effet discutée : la qualité du mobilier et sa mise en scène font privilégier une fonction rituelle. Mais la mise en évidence de la cuisson et de la consommation d'aliments sur place n'exclut par que la grotte ait aussi servi d'habitat temporaire.

Le foyer 8, prélevé pour l'archéomagnétisme est situé dans la zone 1 du secteur 13 de la grotte. Comme dans les autres secteurs, la stratigraphie est mince avec seulement 3 cm d'épaisseur. 2 sols de circulation successifs ont cependant permis de différencier deux phases d'occupation. Le foyer F8 est associé au sol le plus ancien (u.s. 13020), directement en contact avec le substrat. C'est un foyer à plat simple d'une surface de 0,8m² (Figure 1). Sous une mince couche charbonneuse (épaisseur entre 2et 5 mm), l'argile locale est rubéfiée sur des épaisseurs de 8mm en périphérie à 25 mm au centre du foyer.



Figure 1 : Position des prélèvements archéomagnétiques du foyer F8 de la grotte des Fraux (cliché A. Brodard)

Datation du fonctionnement du four

Le mobilier céramique et les analyses radiocarbone placent les occupations de la grotte à la fin du Bronze moyen et au début du Bronze final, soit entre 1450 et 1200 av. J.-C. environ (Carozza, 2010). Pour la datation du foyer F8, le mobilier en connexion avec cette structure consiste en une cruche munie de 2 anses en ruban (2 tessons) caractéristique de la fin du Bronze moyen (Carozza, 2010). Une analyse radiocarbone (Figure 2) a été réalisée au laboratoire Beta Analytics de Miami sur un charbon de bois retrouvé en surface du foyer (échantillon Beta-292826) et donc directement associé à son fonctionnement. L'âge radiocarbone 2950 ± 40 BP donne après calibration un intervalle de date à 95% de confiance **[-1300 ; -1020]**, utilisé pour le calage chronologique du foyer F8.

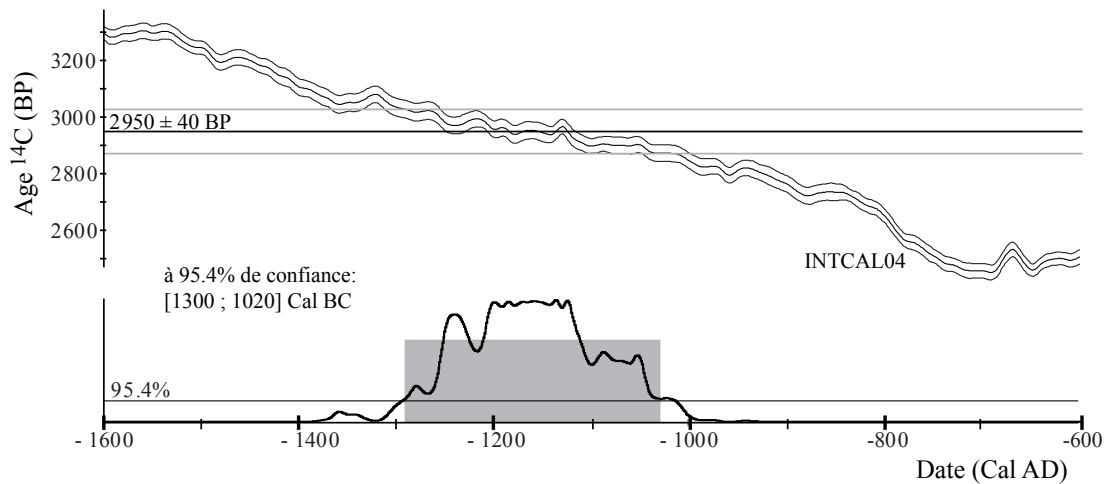


Figure 2 : Datation radiocarbone du charbon de bois prélevé en surface du foyer. La calibration de l'âge radiocarbone est réalisée avec la courbe INTCAL04 (Reimer et al., 2004) sur le logiciel *RendateModel*.

Prélèvement archéomagnétique



Figure 3 : Dispositif de prélèvement (clichés A. Brodard et A. Burens). A gauche, réglage de l'horizontalité des cadres pour le carottage. A droite, système d'équerre utilisé pour l'orientation des carottes dans l'espace par visée au tachéomètre.

Dix-huit prélèvements (Figure 1) ont été réalisés par Pierre Guibert, Aurélie Brodard, Samuel Guillemain et Gwenaël Hervé les 2 et 3 juin 2010. Pour limiter l'impact du prélèvement, une nouvelle méthode de prélèvement (inspirée de Schnepf *et al.* 2008) a été développée. Le foyer a été carotté sur une épaisseur de 2-3 cm avec des tubes en acier non magnétique (Hydraweld) de 2,5 cm de diamètre. Le carottage à la verticale a été assuré par un système de cadres et des niveaux à bulle (Figure 3 à gauche). L'orientation des carottes a été effectué au tachéomètre avec un système d'équerre (Figure 3 à droite). Cet orientation a pu être réalisé de manière précise grâce au géoréférencement de la grotte. Au laboratoire, les carottes ont été indurées par application de silicate de sodium. Deux prélèvements très friables (10 et 18) n'ont pas pu être conservés.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Des fragments de la partie supérieure de six échantillons (4, 6, 11, 12, 16 et 17) ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement.

Les seize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 565°C ont été effectuées sur le four Schoenstedt. La friabilité importante du matériel à haute température n'a pas permis de réaliser la correction d'anisotropie. Des analyses d'archéointensité par le protocole de Thellier-Thellier ont été réalisées sur des fragments de la partie supérieure de quatre prélèvements (2, 11, 16 et 17). Huit chauffes ont été effectuées entre 100 et 470°C.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.04 et 2.10 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 50 et 500 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger entre 0.7 et 5 (Figure 4). Cette variabilité illustre la variabilité de la chauffe entre les prélèvements : majoritairement les prélèvements proches du centre du foyer (comme 11, 12, 16 et 17) ont des intensités d'aimantation plus fortes que les prélèvements de la périphérie du foyer (Tableau 1).

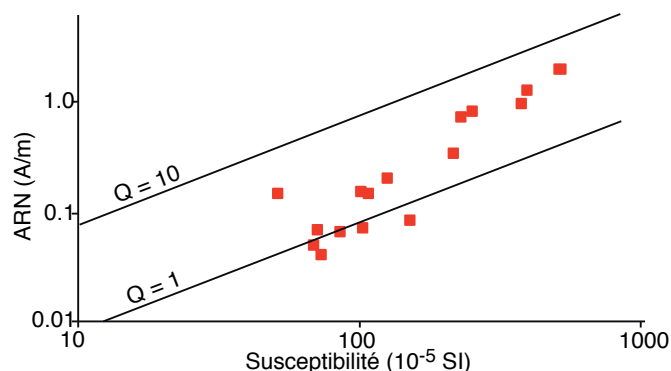


Figure 4 : Distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du foyer de la grotte des Fraux. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées.

Les courbes thermomagnétiques (Figure 5) montrent que la principale phase ferromagnétique présente une composition proche d'une magnétite pauvre en Titane avec des températures de Curie entre 555 et 580°C. L'effet Hopkinson présent pour certains échantillons (12 et à moindre mesure 17) indique l'absence d'autres phases ferromagnétiques. Ces courbes montrent aussi la stabilité de cette phase ferromagnétique lors de la chauffe. Les courbes de chauffe et de refroidissement apparaissent en effet réversible au moins jusqu'à 400°C (échantillon 6) ou 600°C (échantillons 11, 12 et 17). Cette propriété est de bon augure pour les analyses d'archéointensité par le protocole de Thellier-Thellier effectuées sur des fragments-frères.

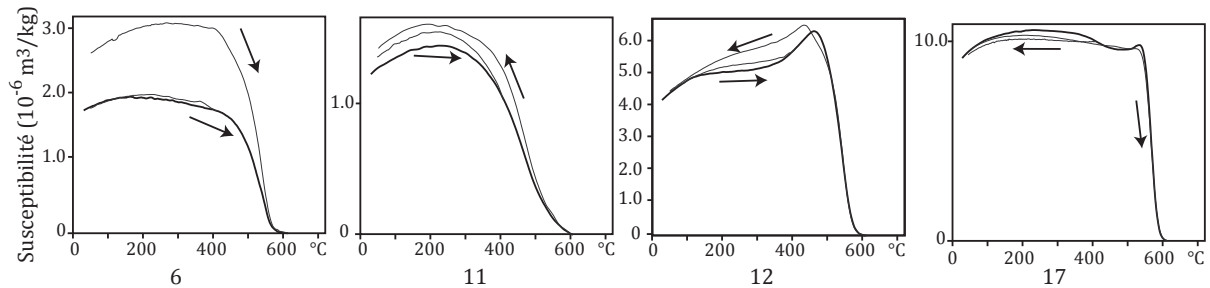


Figure 5 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques du foyer F8 de la grotte des Fraux. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

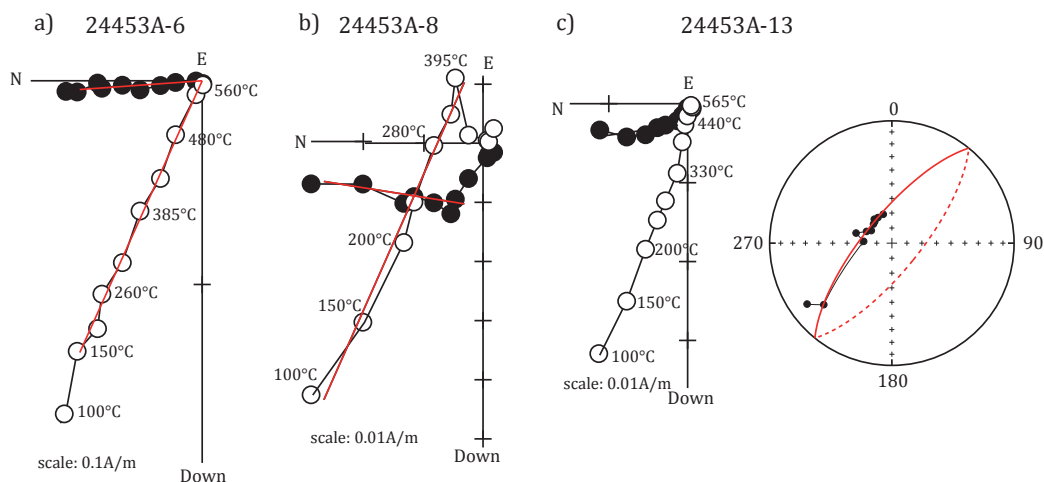


Figure 6 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs. Le spécimen a porte une seule composante d'aimantation. Les autres spécimens portent deux composantes d'aimantation pour lesquels la direction de la composante secondaire est déterminée par analyse en composante principale (b) ou par un grand cercle (c). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Six échantillons (sur seize) présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 6). Ces échantillons proviennent majoritairement du centre du foyer. Les autres échantillons portent deux composantes d'aimantation : dans ce cas, la chauffe n'a pas été suffisante pour effacer toute l'aimantation préexistante. La direction de la composante secondaire, acquise à la dernière chauffe du foyer, est déterminée soit (pour six échantillons) par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980), soit (pour quatre échantillons) par un grand

cercle, lorsque les deux composantes sont difficiles à distinguer (Figure 6). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

Nom	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)
24453A-1	8,8E-02	1,5E+02	100 - 490	PCA	II ^{re}	9	353.0	67.0	4.3
24453A-2	1,5E-01	5,1E+01	210 - 560	PCA	ChRM	8	333.2	65.9	2.4
24453A-3	7,1E-02	7,1E+01	100 - 490	PCA	II ^{re}	9	350.8	65.5	3.0
24453A-4	3,6E-01	2,2E+02	150 - 560	GCA		9	124.3	17.8	10.4
24453A-5	4,2E-02	7,3E+01	100 - 240	PCA	II ^{re}	4	354.5	64.9	4.3
24453A-6	2,1E-01	1,3E+02	150 - 560	PCA	ChRM	9	356.0	65.7	1.4
24453A-7	8,7E-01	2,6E+02	210 - 385	PCA	II ^{re}	4	2.9	59.1	4.7
24453A-8	7,3E-02	1,0E+02	100 - 395	PCA	II ^{re}	7	9.0	65.9	4.5
24453A-9	7,0E-02	8,5E+01	150 - 490	GCA		7	108.5	-9.6	13.2
24453A-11	1,3E+00	4,0E+02	100 - 560	PCA	ChRM	10	349.5	65.0	1.3
24453A-12	7,7E-01	2,3E+02	210 - 560	PCA	ChRM	8	356.2	71.1	1.7
24453A-13	5,2E-02	6,9E+01	150 - 530	GCA		9	129.0	18.1	6.9
24453A-14	1,6E-01	1,0E+02	150 - 525	GCA		9	65.0	-6.2	19.2
24453A-15	1,5E-01	1,1E+02	150 - 440	PCA	II ^{re}	7	349.9	65.0	3.2
24453A-16	1,0E+00	3,8E+02	200 - 565	PCA	ChRM	9	348.2	60.5	1.3
24453A-17	2,1E+00	5,2E+02	100 - 560	PCA	ChRM	10	337.9	68.4	1.1

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité de l'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale

Archéointensité

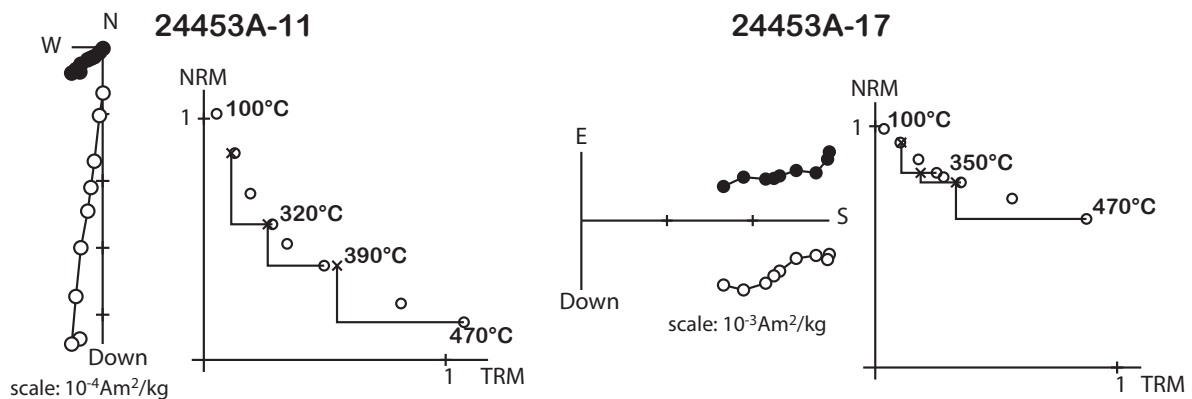


Figure 7 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijdeveld et diagrammes ARN-ATR. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Les quatre fragments choisis pour le protocole de Thellier-Thellier proviennent de la partie supérieure de prélèvements portant une seule composante d'aimantation et caractérisée par une réversibilité des courbes thermomagnétiques. Pourtant, ces quatre échantillons doivent être rejetés (Figure 7) en raison d'évolutions minéralogiques, qui se

manifestent par une forme convexe du diagramme ARN-ATR et une déviation de la direction d'ARN dans la direction du champ laboratoire (c'est-à-dire Z).

Moyenne d'archéodirection

La Figure 8 montre le regroupement de ces directions d'aimantation. L'échantillon 9 apparaît hors-tendance et n'est donc pas pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 2).

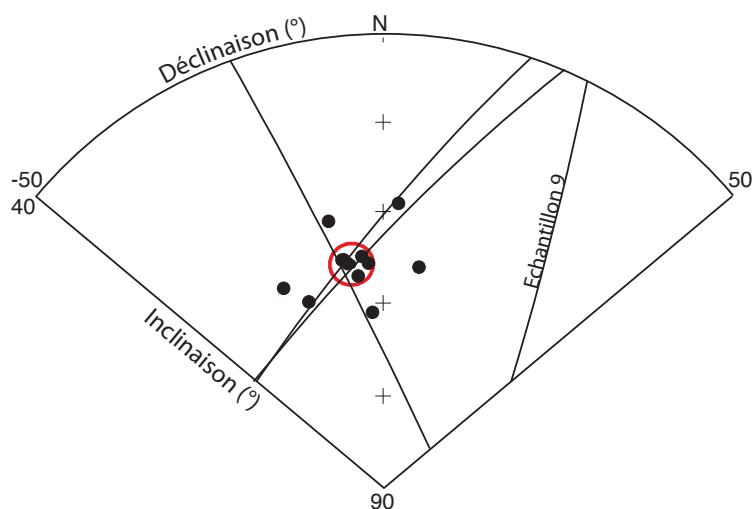


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie. Le prélèvement 9 n'est pas pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne.

Moyennes sans correction

$$D = -8.3^\circ \quad I = 65.6^\circ \quad N=15, n=15 \quad k=287 \quad \alpha_{0.5} = 2.3^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -9.0 \pm 6.1^\circ \quad I_p = 68.0 \pm 2.3^\circ$$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du foyer F8 de la grotte des Fraux

Bibliographie

Carozza, L., 2010. *L'âge du Bronze de la grotte des Fraux, Saint-Martin-de-Fressengeas (Dordogne)*, Rapport de fouille programmée triennale 2008-2010, SRA Aquitaine, 226 p.

Sorrus, la Bruyère et la Pâture-à-Vaches

Code archéomagnétique: 62799A, 62799B et 62799C

Contexte archéologique (d'après Prilaux, 2000)

Les sites de la « Bruyère » et de la « Pâture-à-vaches » à Sorrus (Lat : 50.080°N ; Long : 1.914°E) sont situés sur un plateau dominant l'estuaire de la Canche, à actuellement 10 km de la Manche, mais à seulement 4 km de l'ancien trait de côte. Les deux sites, distants de 150m, ont fait l'objet de fouilles de sauvetage (dirigées par Yves Desfossés, AFAN, aujourd'hui conservateur régional SRA Champagne-Ardenne) en 1996 en préalable à la construction de l'autoroute A16 (Figure 1).

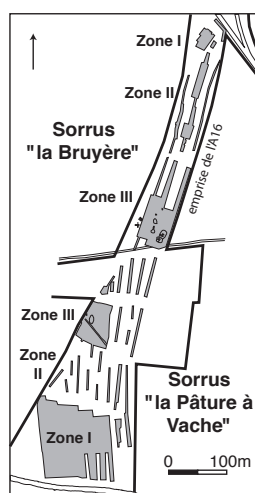


Figure 1 : Plan général des sites de la Pâture-à-vaches et de la Bruyère à Sorrus avec le découpage en zones de fouilles (d'après Desfossés et Weller, 1999).

L'occupation majeure de ces deux sites est une activité de production de sel par la technique des briquetages, sur la zone III de la Pâture-à-vaches et sur les zones II et III de la Bruyère. Sont également signalés des indices d'une occupation néolithique sur la zone I de la Pâture-à-vaches et dans la zone I de la Bruyère un habitat de la Tène finale sans relation apparente avec l'espace artisanal du sel. Les structures caractéristiques des ateliers de production du sel sont 6 fourneaux, 8 puits et de nombreuses fosses. Ces fosses peuvent être interprétées comme des fosses d'extraction des matériaux nécessaires pour la construction du fourneau et la confection des moules à sel ou des grilles. Ces fosses ont par la suite été comblées par de grandes quantités de rejets de cuisson. L'abondance des puits s'explique peut-être par la nécessité de disposer d'un approvisionnement en eau pour la confection des briquetages ou pour la lixivation (lavage des sables salés ramassés pour fabriquer la saumure).

Le mobilier céramique est rare : on décompte 462 tessons pour 25 individus à la Bruyère, 270 tessons pour un NMI de 70 à la Pâture-à-vaches. La céramique, uniquement grossière, place le fonctionnement des ateliers de la Pâture-à-vaches et de la Bruyère au cours de la période laténienne. La chrono-typologie semble indiquer que l'activité a été plus intense à la Tène moyenne.

La datation du site est principalement assurée par les analyses dendrochronologiques (réalisées par Vincent Bernard) sur les bois constituant les parois inférieures des puits (Les parois supérieures sont constituées de clayonnages). L'étude de 120 pièces de bois a permis de constituer une chronologie locale couvrant 255 années (M38). La mise en place de cette chronologie a été facilitée par présence des derniers cernes sur la plupart des bois. Cette séquence chronologique a été comparée aux références dendrochronologiques disponibles en 1999 : séquences des laboratoires de Neuchâtel, Trèves et à moindre mesure Stuttgart et Besançon. La séquence couvre la période entre 462 et 208 av. J.-C. Les analyses dendrochronologiques mettent donc en évidence une longue période d'activité pour la production salifère, qui débute dès le début du second âge du Fer. L'occupation principale se situe à la Tène moyenne et au début de la Tène finale.

Le fonctionnement de chaque fourneau est daté par les bois du ou des puits qui lui sont associés. L'association fourneau-puits est plus ou moins évidente (Figure 2) et repose sur la proximité géographique. Les différentes dates proposées permettent de mettre en évidence les évolutions technologiques de la production du sel, notamment en ce qui concerne la morphologie des fourneaux.

- Les fourneaux les plus anciens, de la Tène A, présentent une forme ovalaire. Il s'agit du fourneau 121 de la zone III de la Pâtûre-à-Vaches et le fourneau de la zone II de la Bruyère. Ces fourneaux, mal conservés, n'ont pas été prélevés. Il semble que les moules à sel soient posés sur des piliers.
- A la Tène B et C, les fourneaux ont désormais une forme allongée. Ce sont des fourneaux à grille, sur laquelle sont disposés les moules à sel remplis de saumure. Ce type comprend les fourneaux 1 et 2 de la zone III de la Bruyère (prélevés) et les fourneaux 1 (non prélevé) et 2 (prélevé) de la zone III de la Pâtûre-à-Vaches. A titre d'exemple, la grille du fourneau 1 de la Bruyère est constituée de carreaux de 10 centimètres de côté. Les grilles sont fabriquées sur une armature végétale.

En comparaison des autres sites de production salifère du Pas-de-Calais (Pont-Rémy, Gouy-Saint-André et Conchil-le-Temple notamment), il semble qu'une chronologie relative puisse être établie avec la taille des fourneaux à grille (Prilaux, 2000). Les fourneaux de Sorrus, plus anciens que les fourneaux de Conchil-le-Temple (Augustéen) et Pont-Rémy (la Tène D), présentent une taille plus petite avec un plan similaire.

A) Etude du fourneau 1 de la zone III de la Bruyère (62799A)

Description et datation du fourneau

Le fourneau est situé dans un enclos rectangulaire de 157 m², qui entoure aussi une fosse oblongue destinée probablement au stockage de la saumure. Le fonctionnement du fourneau 1 est associé à deux puits, d'abord le puits 221, recoupé par le puits 5, situés à l'entrée de l'enclos à une dizaine de mètres du fourneau (Figure 2).

Le fourneau 1 présente une forme allongée avec une longueur de 4,2 mètres et une largeur de 1,2 m, ce qui représente une surface active pour la grille de 2 m² (Figure 3). Les extrémités du fourneau, rétrécies, servaient à l'approvisionnement en combustibles (cendriers). Un ressaut dans la paroi, situé à 20 cm du fond indique probablement le niveau d'accrochage de la grille. Les parois, rechapées à plusieurs reprises, sont rubéfiées sur 10 à 15 centimètres. Le fourneau était comblé par des niveaux de cendres mêlées d'éléments de briquetages, puis par les restes d'une grille en place.

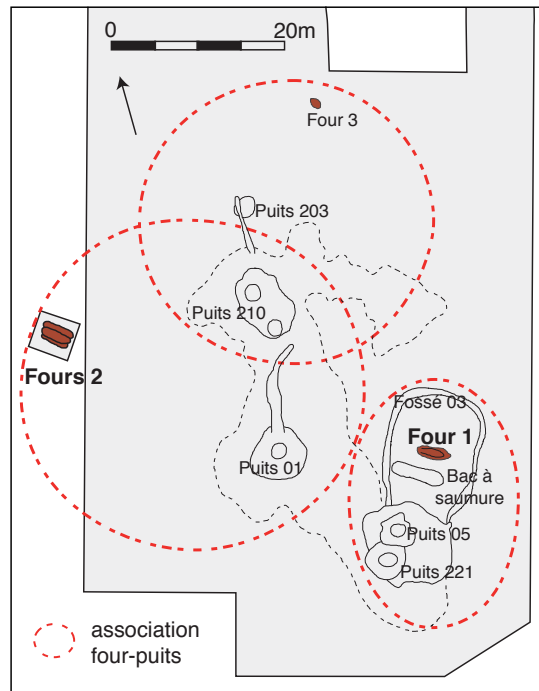


Figure 2 : Plan de la zone III de la Bruyère (d'après Desfossés et Weller, 1999).

Les bois des puits 221 et 5 sont les plus récents des différents bois étudiés à Sorrus. Le recouvrement avec la séquence M38 établie localement est insuffisant, pour proposer des datations aussi précises que pour les autres puits. Les quatre échantillons du puits 221, qui ne présentent plus de traces d'aubier, indiquent un fonctionnement du puits entre 190 et 175 av. J.-C. Le TPQ au fonctionnement du fourneau est donc fixé en 190 av. J.-C. Faute d'entretien, on peut estimer la longévité d'une structure en bois entre 25 et 40 ans (Bernard, 1993). Ainsi, si on estime que le puits 5 succède au puits 221 vers 180 av. J.-C., la fin du fonctionnement du puits et donc du fourneau 1 se situerait à la charnière entre la Tène moyenne et la Tène finale vers 140 av. J.-C. Pour le calage chronologique, le fourneau 1 de la zone III de la Bruyère est daté dans l'intervalle [-190 ; -140].

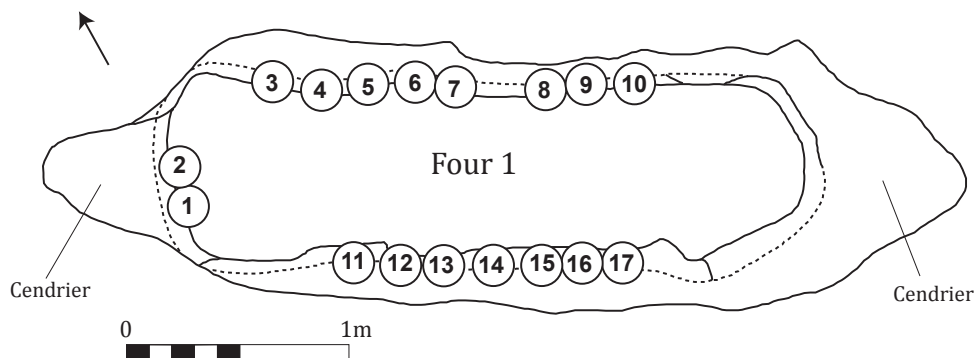


Figure 3 : Plan du fourneau 1 de la zone III de la Bruyère (62799A) avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Desfossés et Weller, 1999)

Prélèvement archéomagnétique

Dix-sept prélèvements (Figure 3) ont été réalisés par Louis Jeanson le 30 mai 1996 sur les parois latérales du fourneau (3 à 17) et à l'extrémité ouest (1 et 2). Tous les prélèvements ont

été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Huit fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450, puis 620°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Treize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 680°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Six échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 400 ou 450°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à dix échantillons dans les fourneaux « maisons » avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. treize chauffes ont été réalisées entre 100 et 640°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 480 ou 500°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements du fourneau 1 de la Bruyère présentent une grande variabilité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN entre 0.1 et 24 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 14 et 3000 10⁻⁵SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 2 et 15 (Figure 4a). Cette variation reflète principalement l'hétérogénéité de la minéralogie magnétique, mise en évidence par les températures de déblocage (Figure 4b), la variation des Median Demagnetizing Field (Figure 4c) et des champ coercitifs rémanents (Figure 5).

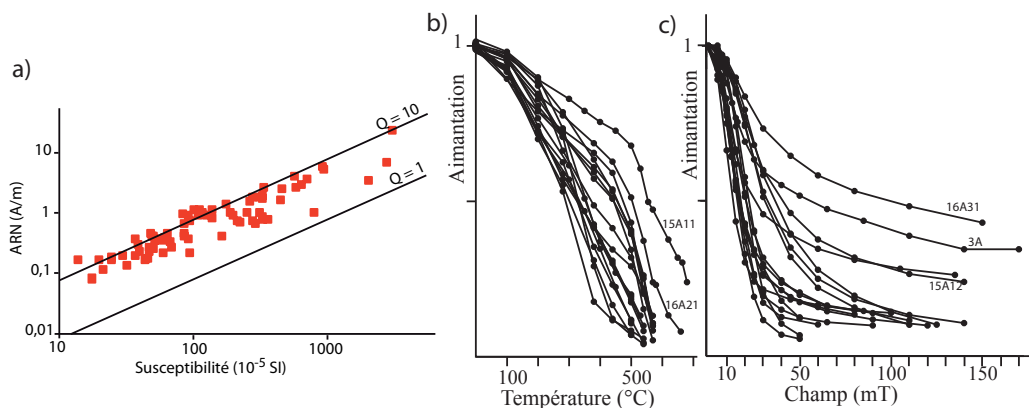


Figure 4 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 1 de la Bruyère. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif. Les Median Demagnetizing Field des trois échantillons sont compris entre 15 et 88mT.

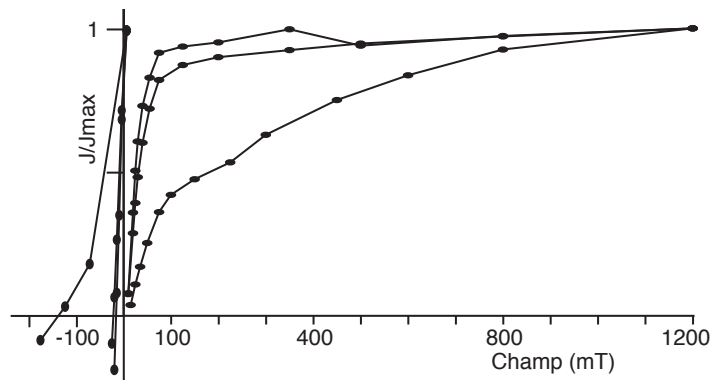


Figure 5 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 3 échantillons du fourneau 1 de la Bruyère (2A12, 3A21 et 16A12). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 22, 27 et 139 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_r de 17, 36 et 6 A/m.

L'aimantation des échantillons 3, 15 et 16 se distingue par la prépondérance de l'hématite. Pour les autres échantillons, l'aimantation est principalement voire uniquement (comme pour le prélèvement 2 d'après l'acquisition d'ARI) portée par des phases de faible coercivité. Les intermédiaires entre ces deux compositions sont représentées notamment par les prélèvements 13, 14 et 17. Les courbes thermomagnétiques permettent d'identifier cette phase de faible coercivité comme une titanomagnétite pauvre en titane avec des points de Curie entre 550 et 590°C (Figure 6). Cinq courbes montrent aussi une phase supplémentaire avec des points de Curie entre 370 et 400°C. Les prélèvements riches en hématite marquant les conditions de chauffe les plus oxydantes sont préférentiellement situés sur la paroi sud du fourneau. La différence entre les deux parois est mal expliquée par la proximité ou l'éloignement du foyer.

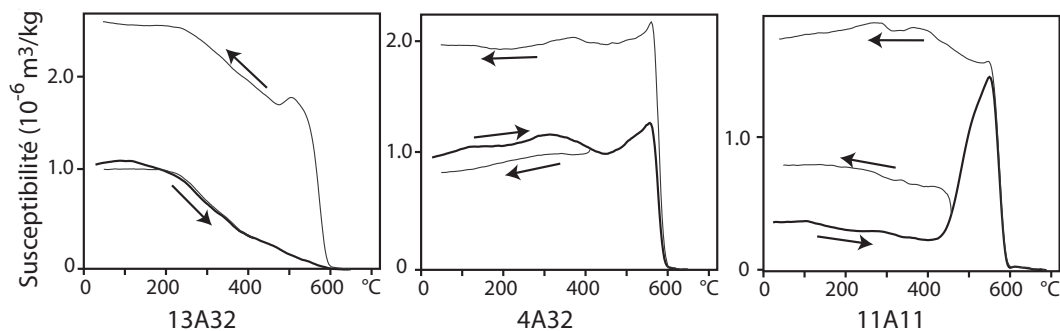


Figure 6 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980) pour 32 échantillons désaimantés thermiquement et par champ alternatif. Tous ces échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 7). L'échantillon 8A12 a été interprété par un grand cercle. Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1. Les directions d'aimantation des spécimens 9 et 10 sont significativement différentes des autres échantillons (surtout pour la composante horizontale).

Annexe 3 : Etude des sites français, Sorrus, la Bruyère et la Pâtüre-à-Vaches

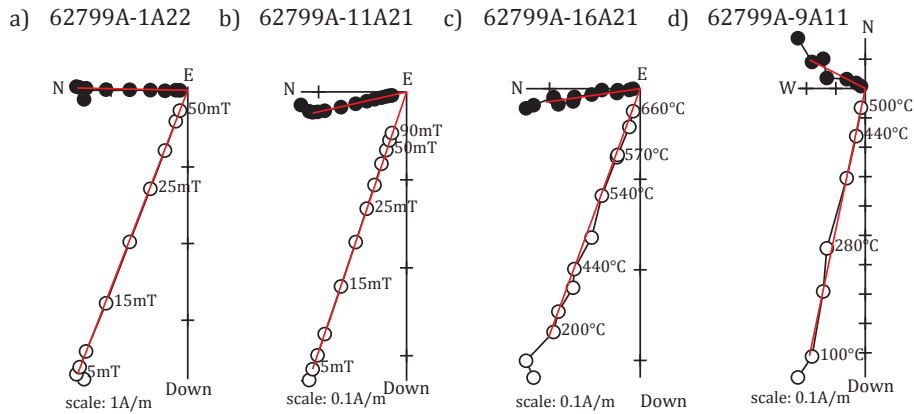


Figure 7 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés par champ alternatif (a et b) et thermiquement (c et d). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/GCA	ChRM /II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad(°)	Anisotropie						
										Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
62799A-1A12	5,2E+00	9,4E+02	Th	200 - 570	PCA	ChRM	7	2.0	69.2	0.8	-6.1	1.049	1.026	1.023	359.4	69.7
62799A-1A22	4,0E+00	5,6E+02	AF	5 - 50	PCA	ChRM	9	1.3	68.8	0.3	-5.3	1.072	1.013	1.058	5.7	69.4
62799A-2A11	4,0E-01	1,6E+02	Th	200 - 540	PCA	ChRM	6	357.4	66.3	2.3	-2.0	1.126	1.012	1.113	3.3	67.4
62799A-2A22	7,0E-01	2,9E+02	AF	5 - 50	PCA	ChRM	8	355.1	70.1	0.9	8.7	1.186	1.037	1.143	2.8	70.7
62799A-3A11	2,0E-01	6,0E+01	AF	5 - 170	PCA	ChRM	15	17.9	64.5	0.5	3.2	1.124	1.047	1.074	15.5	66.1
62799A-3A22	4,0E-01	9,3E+01	Th	100 - 540	PCA	ChRM	7	7.0	64.8	1.8	-2.0	1.088	1.016	1.070	9.0	66.1
62799A-4A11	4,0E-01	8,5E+01	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	1.5	62.8	1.9	-3.4	1.087	1.042	1.044	358.8	64.1
62799A-4A32	1,4E+00	1,8E+02	AF	5 - 50	PCA	ChRM	9	358.6	63.9	0.2	-7.6	1.073	1.053	1.019	359.0	62.3
62799A-5A11	7,0E-01	2,1E+02	Th	100 - 540	PCA	ChRM	7	349.1	68.0	1.9	6.7	1.157	1.047	1.105	354.4	70.0
62799A-5A21	1,0E+00	2,5E+02	AF	5 - 90	PCA	ChRM	11	358.8	67.7	0.4	2.1	1.041	1.020	1.021	359.2	68.3
62799A-6A11	2,9E+00	6,4E+02	Th	100 - 540	PCA	ChRM	7	352.8	68.7	1.0	4.1	1.038	1.021	1.017	354.0	69.1
62799A-6A12	1,0E+00	7,9E+02	AF	5 - 100	PCA	ChRM	10	352.9	71.7	0.3						
62799A-7A11	2,4E+01	3,0E+03	AF	5 - 60	PCA	ChRM	8	344.4	73.5	0.4						
62799A-7B11	2,6E+00	5,8E+02	Th	280 - 540	PCA	ChRM	5	340.2	70.7	0.8	9.5	1.091	1.032	1.057	340.4	71.8
62799A-8A12	2,0E-01	9,5E+01	Th	100 - 530	GCA	ChRM	9	300.1	-11.4	11.3	-1.8	1.074	1.037	1.036	299.0	-13.1
62799A-9A11	1,0E+00	3,1E+02	Th	100 - 500	PCA	ChRM	6	297.2	76.8	1.7	5.7	1.142	1.040	1.098	310.6	76.5
62799A-10A21	8,0E-01	3,6E+02	Th	200 - 500	PCA	ChRM	7	298.4	75.9	0.6	-2.9	1.062	1.027	1.034	296.7	75.3
62799A-11A21	4,0E-01	5,9E+01	AF	5 - 90	PCA	ChRM	11	347.3	70.9	0.2	-2.3	1.035	1.020	1.015	347.5	71.4
62799A-11A31	9,0E-01	1,1E+02	Th	200 - 570	PCA	ChRM	7	351.1	70.2	1.1	-0.3	1.080	1.007	1.072	346.9	70.7
62799A-12A11	4,0E-01	4,9E+01	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	358.7	68.3	2.1	1.2	1.076	1.057	1.018	358.7	70.2
62799A-12A12	2,0E-01	2,5E+01	AF	5 - 135	PCA	ChRM	10	1.1	69.4	0.4	3.1	1.058	1.019	1.039	1.1	69.7
62799A-13A11	4,0E-01	6,1E+01	AF	5 - 125	PCA	ChRM	10	353.3	71.6	0.2	-5.2	1.096	1.035	1.059	356.1	73.8
62799A-13A12	5,0E-01	8,6E+01	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	353.0	70.1	1.6	-2.1	1.070	1.037	1.032	354.7	70.8
62799A-14A11	6,0E-01	8,6E+01	AF	5 - 140	PCA	ChRM	10	358.7	70.7	0.2	-6.5	1.051	1.035	1.016	358.6	69.8
62799A-14A12	1,0E+00	1,9E+02	Th	200 - 570	PCA	ChRM	7	356.1	70.0	1.3	-5.6	1.085	1.040	1.043	359.2	71.3
62799A-15A11	2,0E-01	3,0E+01	AF	5 - 140	PCA	ChRM	13	2.7	64.2	0.3						
62799A-15A22	1,0E-01	2,1E+01	Th	100 - 680	PCA	ChRM	14	2.7	62.4	1.4						
62799A-16A21	3,0E-01	5,3E+01	Th	100 - 660	PCA	ChRM	11	351.6	69.5	1.9	-10.1					
62799A-16A31	2,0E-01	2,5E+01	AF	5 - 150	PCA	ChRM	10	349.5	67.8	0.1	5.5	1.093	1.047	1.044	354.0	69.4
62799A-17A11	7,0E-01	9,5E+01	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	359.4	66.0	1.8	-4.6	1.068	1.027	1.041	359.0	66.7
62799A-17A12	4,0E-01	5,5E+01	AF	5 - 110	PCA	ChRM	10	354.1	67.0	0.2	-5.9	1.054	1.028	1.026	354.2	67.7

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 4 et 18% (Tableau 1). Les échantillons les plus anisotropes sont dominés par la foliation. A l'échelle de la structure, l'axe minimal d'anisotropie tend à se rapprocher de la verticale (Figure 8). L'application de la correction d'anisotropie améliore très légèrement le regroupement des archéodirections, (Tableau 3).

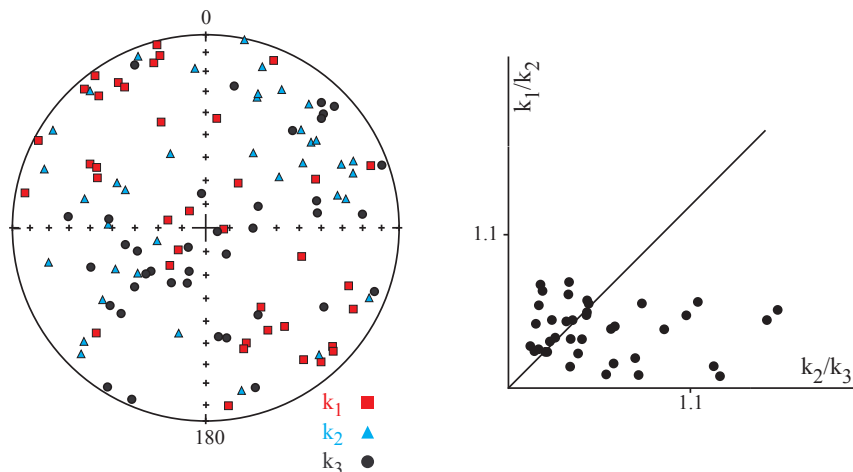


Figure 8 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Protocole de Thellier-Thellier

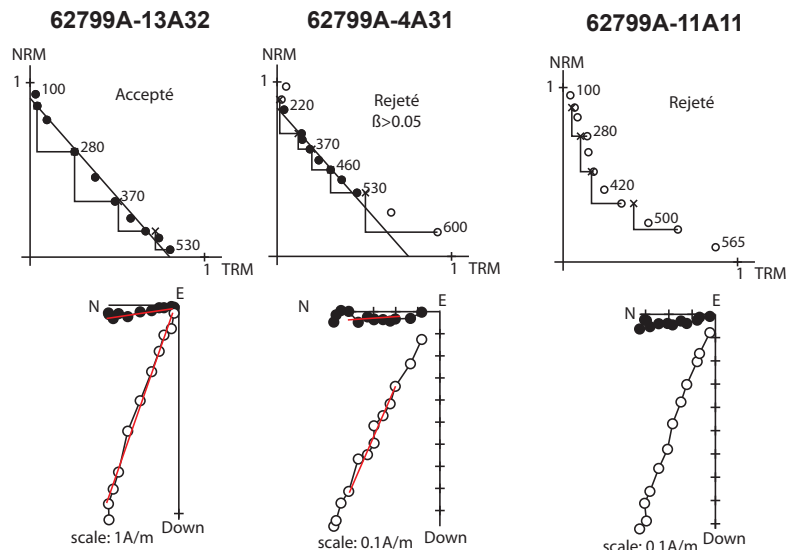


Figure 9 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Seul un spécimen (exemple à gauche) est accepté, alors que les autres doivent être rejetés en raison d'une convexité (plus ou moins prononcée) du diagramme ARN-ATR. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Les dix échantillons pour le protocole de Thellier-Thellier ont été sélectionnés pour leur forte intensité d'ARN et leur fort rapport de Koenigsberger, qui laissent supposer une stabilité de la minéralogie ferromagnétique. L'estimation d'une archéointensité n'a pu être réalisée pour

Annexe 3 : Etude des sites français, Sorrus, la Bruyère et la Pâturage-à-Vaches

deux échantillons (Figure 9 à droite) en raison de la forte convexité du diagramme ARN-ATR. Pour autres échantillons (Tableau 2), une très forte dispersion des archéointensités est observée. Trois échantillons (Figure 9 à gauche) respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$) avec des archéointensités respectives non corrigées de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement égales à 79.9, 65.6 et 47.5 μT . Enfin, une assez bonne corrélation est observée entre les résultats d'archéointensité et la réversibilité des courbes thermomagnétiques après la chauffe à 400°C.

En raison de la forte dispersion, aucune archéointensité moyenne n'a été calculée pour le fourneau 1 de la Bruyère, d'autant plus que seuls deux échantillons (12A21 et 13A32) peuvent être corrigés de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement.

ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μT)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie					Vitesse de refroidissement					
														K_1/K_3	K_1/K_2	K_2/K_3	D_a (°)	I_a (°)	$F_a \pm$ std (μT)	%corr	%evol	$F_{a+c} \pm$ std (μT)		
62799A-1A11	5,7E+00	9,3E+02	220 - 530	8	352.9	68.8	52.3 \pm 4.1	2.9	2.6	0.55	0.85	5.9	0.079	1.4	1.121	1.032	1.086	359.1	70.4	51.8 \pm 4.1	3.0	1.7	50.2 \pm 4.0	
62799A-4A31	1,1E+00	1,1E+02	220 - 530	8	354.6	61.9	67.8 \pm 4.4	6.2	6.8	0.56	0.82	7.0	0.065	-5.4	1.086	1.052	1.033	358.1	62.7	65.8 \pm 4.3	6.2	2.5	61.7 \pm 4.1	
62799A-9A22	1,9E+00	3,3E+02	100 - 370	6	305.6	74.9	90.5 \pm 5.8	5.0	4.6	0.57	0.77	7.7	0.064	2.8	1.124	1.006	1.117	313.7	72.5	88.4 \pm 5.1	6.9	3.0	82.3 \pm 4.8	
62799A-11A11	9,8E-01	1,2E+02	Rejeté																					
62799A-12A21	9,4E-01	8,4E+01	100 - 480	7	358.0	68.3	79.9 \pm 2.0	2.1	1.4	0.85	0.78	27.0	0.025	5.4	1.035	1.023	1.012	356.8	68.4	80.0 \pm 1.9	7.4	4.5	74.1 \pm 1.8	
62799A-13A32	1,1E+00	1,0E+02	160 - 530	9	349.5	69.1	65.6 \pm 2.2	2.3	1.1	0.94	0.85	24.0	0.034	4.9	1.062	1.007	1.054	346.7	68.0	63.8 \pm 2.1	7.2	1.7	59.2 \pm 2.0	
62799A-14A21	4,1E-01	5,0E+01	100 - 530	9	353.8	70.0	64.8 \pm 4.2	2.6	0.7	0.82	0.84	10.8	0.064	6.0	1.042	1.020	1.022	352.3	70.5	64.5 \pm 4.1	5.8	3.5	60.8 \pm 3.9	
62799A-15A12	1,9E-01	3,0E+01	Rejeté																					
62799A-16A32	1,6E-01	1,4E+01	100 - 530	10	356.4	68.2	62.8 \pm 4.5	6.0	4.8	0.37	0.86	4.6	0.071	1.1	1.062	1.037	1.024	357.3	69.1	60.0 \pm 4.3	18.6	6.8	48.8 \pm 3.5	
62799A-17A21	1,1E+00	1,4E+02	170 - 550	8	349.1	66.5	47.5 \pm 1.1	3.3	1.7	0.73	0.81	17.2	0.022	-10.3										

Tableau 2 : Résultats d'archéointensités pour le fourneau 1 de la Bruyère

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Résultats moyens

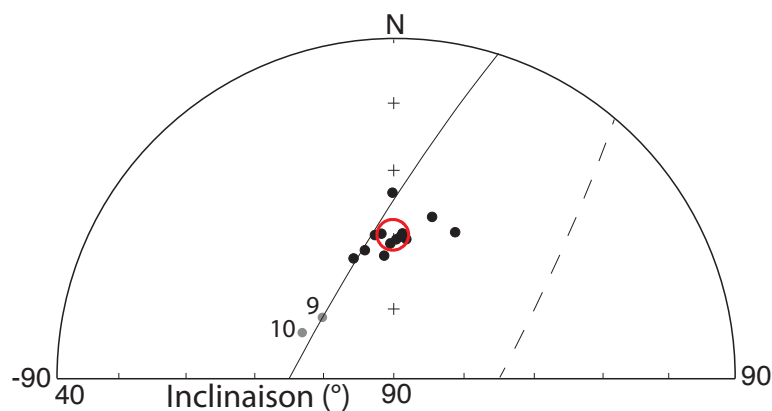


Figure 10 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie pour le fourneau 1 de la zone III de la Bruyère. Les prélèvements en gris 9 et 10 présentent une direction d'aimantation hors-tendance.

La Figure 10 montre le regroupement de ces directions d'aimantation. Les directions des prélèvements 9 et 10 apparaissent hors-tendance et ne sont pas pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 3).

Moyennes sans correction

$D = 0.0^\circ$ $I = 68.5^\circ$ $N=15, n=29$ $k=310$ $\alpha_{95} = 2.2^\circ$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$D = -0.2^\circ$ $I = 69.4^\circ$ $N=14, n=24$ $k=330$ $\alpha_{95} = 2.2^\circ$

A Paris (VGP)

$D_p = -0.2 \pm 6.0^\circ$ $I_p = 68.3 \pm 2.2^\circ$

Tableau 3 : Archéodirection moyenne du fourneau 1 de la zone III de la Bruyère.

B) Etude du fourneau 2 de la zone III de la Bruyère (62799B)

Description et datation du fourneau

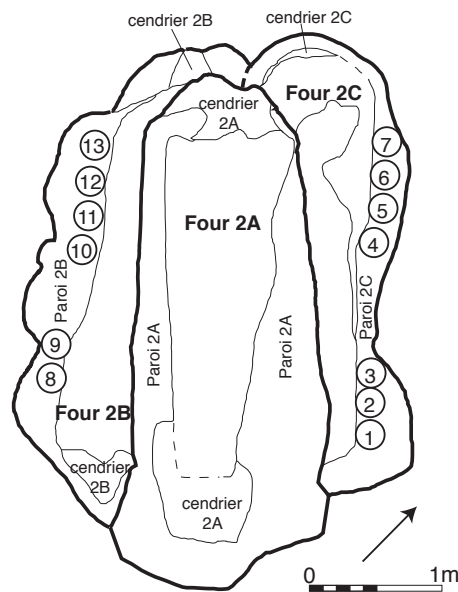


Figure 11 : Plan des fourneaux 2 de la zone III de la Bruyère (62799B) avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Desfossés et Weller, 1999)

Le fourneau 2 est situé en bordure de l'emprise de la fouille (Figure 11). Il s'agit en fait de la superposition de trois fourneaux à grille successifs 2B, 2C et enfin 2A (Figure 11). Chacun des fourneaux est comblé par des niveaux cendriers et des débris de briquetages. Les trois fourneaux présentent une forme allongée avec des extrémités plus étroites, qui servaient à l'approvisionnement en combustible. Le fourneau le plus récent 2A, long de 3,80 m, n'a pas été prélevé. Le fourneau 2C a une longueur de 3,4 m et une largeur de 1,4 m. Les dimensions du fourneau 2B, le plus ancien conservé, sont une longueur de 3,8 m et une largeur de 1,6 m. Les parois sont rubéfiées sur des épaisseurs importantes (10 cm environ), particulièrement le fourneau 2A.

Le fonctionnement des trois fourneaux 2 est associé aux puits 1 et 210, situés à environ 30 mètres à l'est des fourneaux (Figure 2). Comme les derniers cernes sont présents, la date d'abattage des bois a pu être estimée très précisément. L'analyse des 35 pièces différentes du puits 210 montre que le puits a été réaménagé à plusieurs reprises et a donc fonctionné sur une longue durée. Le *TPQ* du puits 210 est donné par la date d'abattage la plus ancienne, en l'occurrence 292 av. J.-C. Le *TAQ* du puits est fixé en 180 av. J.-C., environ 25 ans après (Bernard, 1993) la date d'abattage la plus récente (208 av. J.-C.). Le puits 1 (7 bois analysés), qui n'a pas été réaménagé, donne un *TPQ* en 249 av. J.-C., ce qui confirme les résultats du puits 210.

Pour le calage chronologique, les fourneaux 2B et 2C de la zone III de la Bruyère sont donc datés dans l'intervalle **[-292;-180]**. Il faut noter que cette datation repose sur l'association fourneau-puits, qui semble moins évidente pour les fourneaux 2 que pour le fourneau 1 de la Bruyère. L'hypothèse d'un décalage de la date réelle par rapport à cet intervalle ne peut être totalement exclue.

Prélèvement archéomagnétique

Les prélèvements ont été réalisés le 30 avril 1996 par Louis Jeanson. 7 prélèvements (1 à 7) proviennent du fourneau 2C et 6 (8 à 13) du fourneau 2B (Figure 11). Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilitémètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 600 ou 685°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Treize échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 680°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. 6 échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 400 ou 450°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à six échantillons dans les fourneaux « maisons » avec un champ laboratoire de 60µT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Treize chauffes ont été réalisées entre 100 et 640°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 480 ou 500°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Par rapport au fourneau 1 de la Bruyère, Les prélèvements du fourneau 2 de la Bruyère ont des intensités d'ARN (entre 0.04 et 3.4 A/m) et des susceptibilité en champ faible (entre 10 et 590 10⁻⁵SI) plus faibles que ceux du fourneau 1. Ces valeurs correspondent à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.9 et 17.7 (Figure 12a). La minéralogie ferromagnétique est également composée du mélange de phases de faible coercivité et de phases de forte coercivité (Figure

12c). La phase de forte coercivité, identifiée comme l'hématite d'après les températures de déblocage (Figure 12b), semble plus importante que pour le fourneau 1, ce qui explique les intensités d'aimantation plus faibles. la variation des Median Demagnetizing Field (Figure 12c) et des champ coercitifs rémanents (Figure 13).

La phase de faible coercivité, seule phase présente pour au moins un échantillon (12A21, Figure 13) est une titanomagnétite pauvre en titane, d'après les points de Curie proches de 585°C calculés sur les courbes thermomagnétiques (Figure 14). Pour trois courbes, les points de Curie entre 590 et 595°C indiquent que cette titanomagnétite peut être partiellement oxydée.

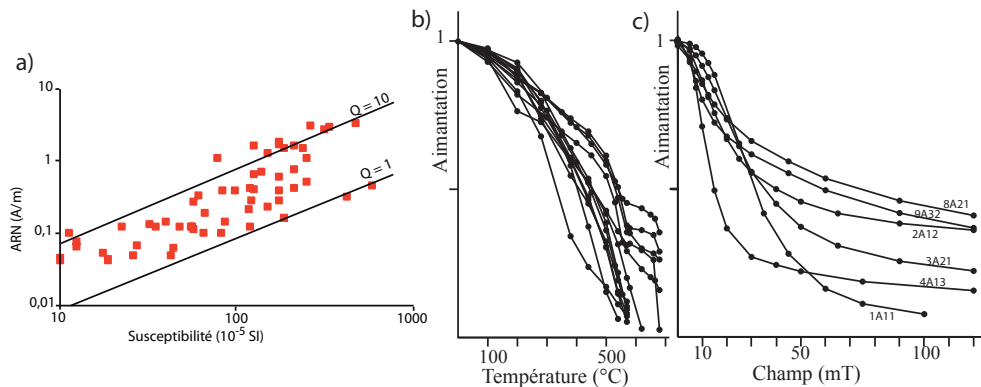


Figure 12 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 2 de la Bruyère. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif. Les Median Demagnetizing Field des échantillons sont compris entre 13 et 69mT.

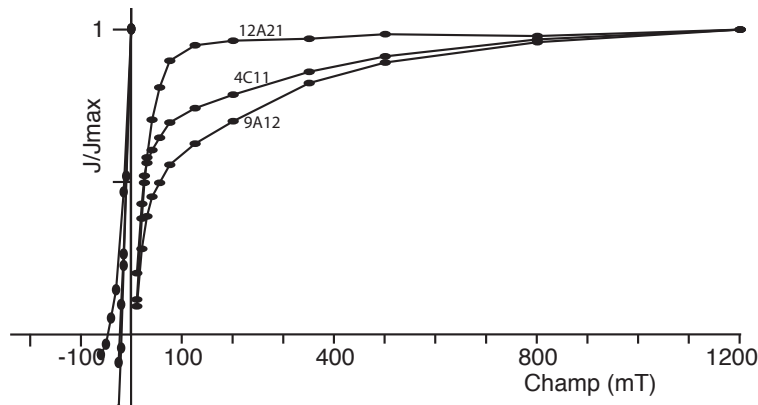


Figure 13 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 3 échantillons du fourneau 2 de la Bruyère (4C11, 9A12 et 12A21). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 22, 47 et 39 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 3.7, 3.7 et 18.1 A/m

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 15). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 4.

Annexe 3 : Etude des sites français, Sorrus, la Bruyère et la Pâturage-à-Vaches

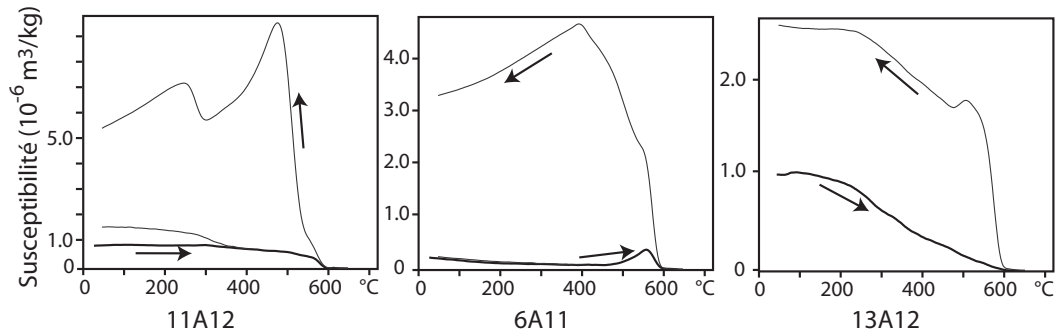


Figure 14 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

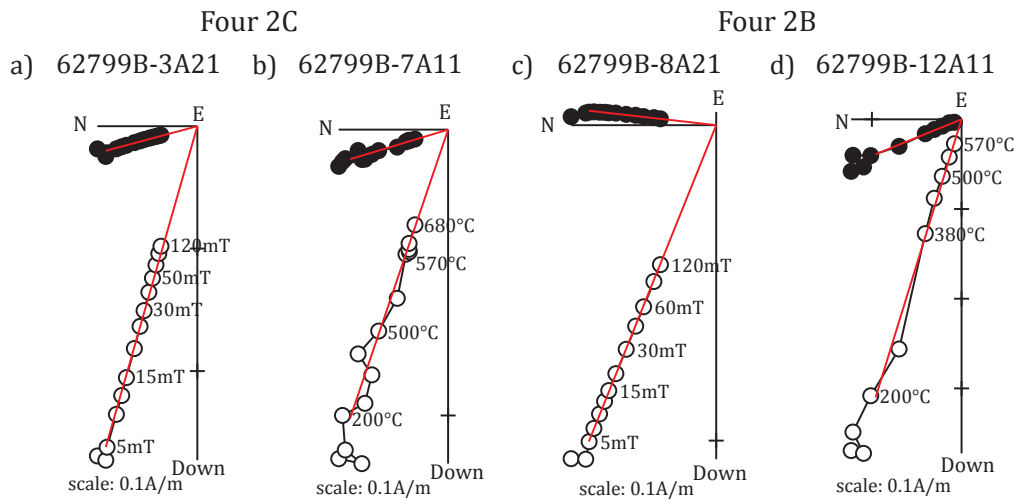


Figure 15 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés par champ alternatif (a et c) et thermiquement (b et d) des fourneaux 2C et 2B de la zone III de la Bruyère. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

		ARN (A/m)	χ (SI)		Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/ GCA	ChRM /II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive(%)	Anisotropie				
													K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
Four 2C	62799B-1A11	1,6E+00	2,1E-03	AF	10 - 100	PCA	ChRM	9	337.5	67.3	0.1	-8.8	1.026	1.018	1.008	337.6	66.9
	62799B-1A13	1,1E+00	2,5E-03	Th	100 - 570	PCA	ChRM	10	305.6	70.1	1.7						
	62799B-2A11	1,7E+00	1,8E-03	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	345.9	71.4	1.6	-0.2	1.058	1.043	1.014	344.9	71.0
	62799B-2A12	4,0E-01	8,4E-04	AF	5 - 120	PCA	ChRM	13	328.8	73.8	0.3	1.1	1.077	1.045	1.031	332.2	74.7
	62799B-3A21	3,0E-01	1,2E-03	AF	5 - 120	PCA	ChRM	12	345.0	73.5	0.4	7.6	1.101	1.029	1.070	348.6	75.0
	62799B-3A12	4,0E-01	1,8E-03	Th	100 - 680	PCA	ChRM	12	338.0	73.8	1.1	-2.4	1.072	1.030	1.041	341.0	74.3
	62799B-4A11	1,0E-01	4,8E-04	Th	100 - 680	PCA	ChRM	14	323.4	74.1	2.0						
	62799B-4A13	2,0E-01	1,9E-03	AF	5 - 120	PCA	ChRM	10	286.7	71.6	0.3	0.9	1.066	1.013	1.052	285.7	73.3
	62799B-5A11	7,0E-01	2,8E-04	Th	200 - 570	PCA	ChRM	7	331.2	76.3	0.7	-2.0	1.069	1.029	1.039	336.8	77.3
	62799B-6A12	2,0E-01	1,2E-03	Th	380 - 570	PCA	ChRM	5	339.0	77.1	1.1	-4.7	1.075	1.026	1.048	332.6	77.2
62799B-7A11	1,0E-01	2,3E-04	Th	200 - 680	PCA	ChRM	11	343.2	70.5	1.8	1.6	1.057	1.028	1.028	342.1	71.2	
Four 2B	62799B-8A11	1,0E-01	5,5E-04	Th	100 - 680	PCA	ChRM	14	15.0	61.5	1.2						
	62799B-8A21	1,0E-01	3,5E-04	AF	5 - 120	PCA	ChRM	11	6.5	67.9	0.2	0.8	1.045	1.037	1.007	6.9	69.0
	62799B-9A11	6,0E-01	4,4E-04	Th	100 - 680	PCA	ChRM	12	15.5	59.7	1.7	-1.4	1.047	1.033	1.014	16.4	60.4
	62799B-9A32	4,0E-01	1,9E-04	AF	5 - 120	PCA	ChRM	10	358.8	68.2	0.5	14.9					
	62799B-10A11	2,0E-01	6,6E-04	Th	280 - 540	PCA	ChRM	5	355.3	72.3	1.1	-2.9	1.157	1.096	1.055	342.2	73.4
	62799B-11A11	1,6E+00	1,3E-03	Th	100 - 570	PCA	ChRM	8	341.8	74.7	1.7	-6.2	1.072	1.020	1.051	343.2	74.0
	62799B-12A11	4,0E-01	9,9E-04	Th	200 - 570	PCA	ChRM	7	350.5	71.6	1.5	0.0	1.081	1.036	1.043	344.5	72.3
	62799B-13A11	3,0E-01	6,1E-04	Th	280 - 620	PCA	ChRM	8	9.3	69.8	1.2	-2.1	1.074	1.029	1.043	9.3	71.3

Tableau 4 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie variable avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 25% (Tableau 4). Les échantillons les plus anisotropes sont dominés par la foliation. A l'échelle de la structure, l'axe minimal d'anisotropie tend à se rapprocher de la verticale (Figure 16). Cependant, l'application de la correction d'anisotropie provoque une dispersion des archéodirections (Tableau 6).

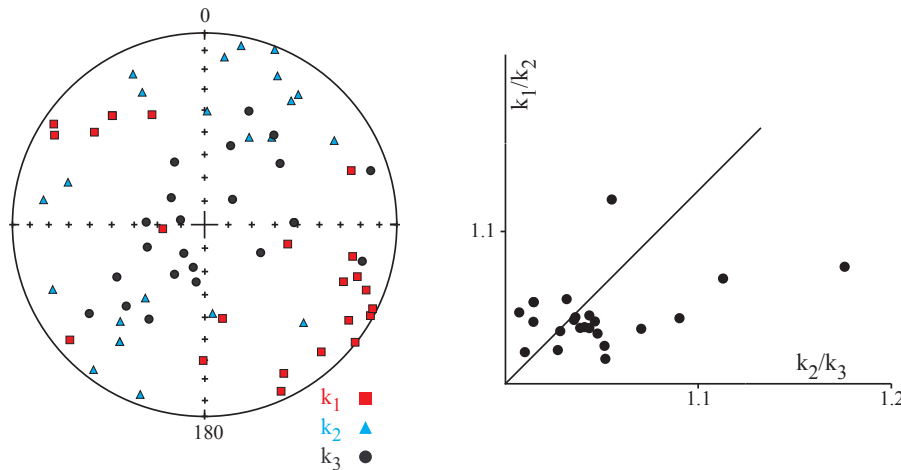


Figure 16 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Protocole de Thellier-Thellier

Comme le laissent supposer la forte irréversibilité des courbes thermomagnétiques, la des évolutions minéralogiques importantes se sont produites lors du protocole de Thellier-Thellier pour quatre échantillons sur six. Elles se manifestent par des bouclages négatifs (Figure 17 au milieu) et des fortes convexités du diagramme ARN-ATR (Figure 17 à droite). Pour autres échantillons (Tableau 5), une très forte dispersion des archéointensités est observée. Trois échantillons seulement (Figure 17 à gauche) respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$).

Aucune archéointensité moyenne n'a été calculée pour le fourneau 2 de la Bruyère, comme nous avons fixé à trois le nombre minimal d'échantillons acceptés. De plus, les faibles valeurs estimées (autour de $50\mu T$) par rapport aux sites contemporains peut laisser supposer que l'ARN ne serait pas une aimantation thermo-rémanente.

direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 6). La déclinaison moyenne du fourneau 2C avec une valeur de 337.6° (339.9° à Paris) est significativement différente de celle des autres fourneaux de Sorrus.

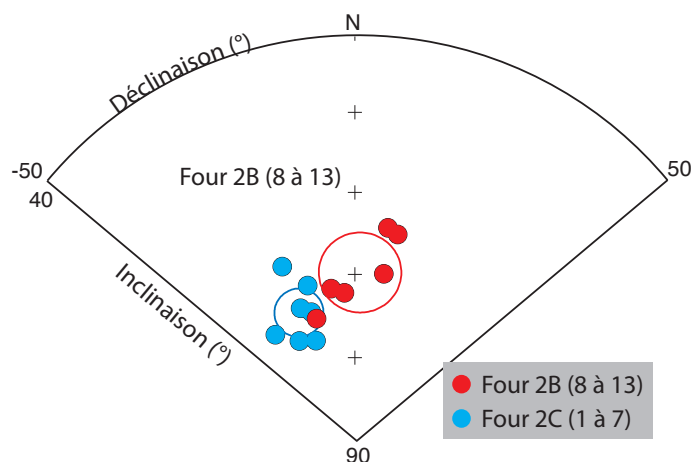


Figure 18 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour les fourneaux 2B et 2C de la zone III de la Bruyère.

FOUR 2B		FOUR 2C	
<u>Moyennes sans correction</u>		<u>Moyennes sans correction</u>	
$D = 1.2^\circ$	$I = 69.9^\circ$ N=6, n=8 k=193 $\alpha_{95} = 4.8^\circ$	$D = -23.4^\circ$	$I = 73.2^\circ$ N=7, n=10 k=435 $\alpha_{95} = 2.9^\circ$
<u>Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)</u>		<u>Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)</u>	
$D = -0.4^\circ$	$I = 70.6^\circ$ N=6, n=6 k=123 $\alpha_{95} = 6.1^\circ$	$D = -20.9^\circ$	$I = 73.4^\circ$ N=6, n=8 k=386 $\alpha_{95} = 3.4^\circ$
<u>A Paris (VGP)</u>		<u>A Paris (VGP)</u>	
$D_p = -0.5 \pm 13.7^\circ$	$I_p = 69.5 \pm 4.8^\circ$	$D_p = -20.1 \pm 9.6^\circ$	$I_p = 72.4 \pm 2.9^\circ$

Tableau 6 : Archéodirections moyennes des fourneaux 2B et 2C de la zone III de la Bruyère.

C) Etude du fourneau 2 de la zone III de la Pâtüre-à-Vaches (62799C)

Description et datation du fourneau

L'atelier de production salifère de la zone III de la Pâtüre-à-vaches (Figure 19) comprend principalement un fourneau archaïque de forme ovale (fourneau 121), deux fourneaux imbriqués (fourneaux 1 et 2) et un puits (puits 122). Des fosses comblées par de grandes quantités de rejets de cuisson sont également présentes. La présence de trous de poteaux autour des fourneaux imbriqués signale l'existence d'un bâtiment autour des fourneaux.

Les fourneaux imbriqués appartiennent au type des fourneaux à grille de forme allongée avec des extrémités rétrécies (comme les fourneaux 1 et 2 de la zone III de la Bruyère). Le fourneau 1 (auss appelé structure 440), long de 3,20 m est recoupé (avec la même orientation) par le fourneau 2 (structure 441), plus grand avec une longueur de 5,8 m et une largeur de 2m (Figure 19). Le fourneau est comblé par des niveaux successifs de cendres et de fragments de briquetages, puis par le niveau de destruction de la grille. Plusieurs rechapages des parois

peuvent être mis en évidence surtout pour la paroi est. L'épaisseur des parois rubéfiées approche 20 cm.

La datation du fonctionnement des fourneaux 1 et 2 repose sur la dendrochronologie des bois retrouvés dans le puits 122, situé à 15 m des fourneaux (Figure 19). Les analyses sur 18 bois indiquent un *TPQ* entre 250 et 248 av. J.-C. pour la construction du puits, qui n'a pas connu de réaménagements. Le fourneau 2, étudié en archéomagnétisme sera donc calé chronologiquement dans l'intervalle [-250;-200], en se basant sur une longévité d'un puits cuvelé en bois d'une quarantaine d'années (Bernard, 1993).

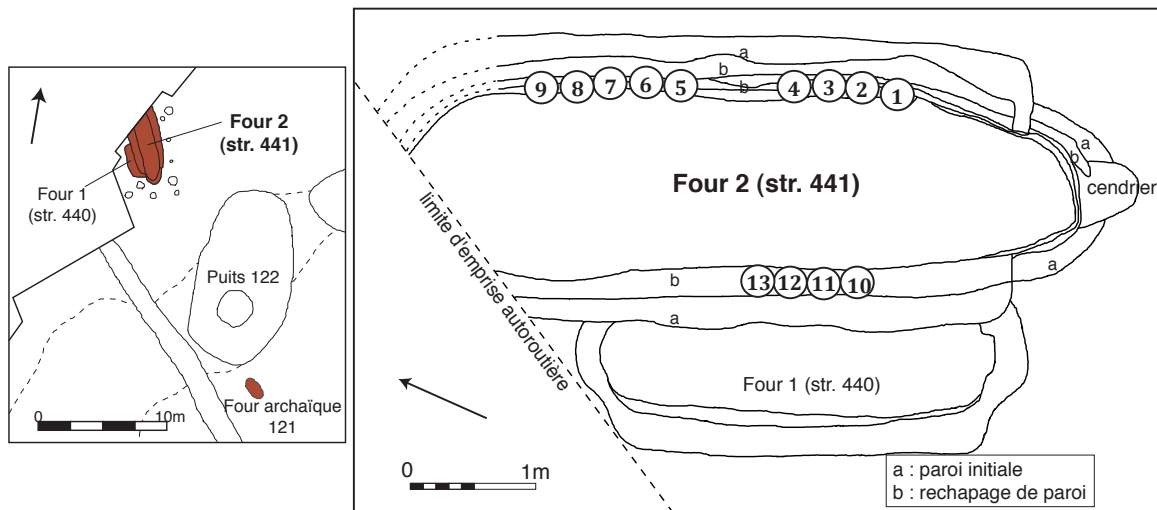


Figure 19 : Plan de l'atelier de production salifère de la zone III de la Pâtüre-à-vaches et plan détaillé des fourneaux 1 et 2. Les numéros indiquent la position des prélèvements archéomagnétiques du fourneau 2 (62799C). (d'après Desfossés et Weller, 1999)

Prélèvement archéomagnétique

Treize prélèvements ont été réalisés le 30 avril 1996 par Louis Jeanson sur les parois est et ouest du fourneau 2. Seuls les prélèvements 5 à 9 présentent des traces évidentes d'un rechapage. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2). Pour les prélèvements 5 à 9, les spécimens ont été coupés seulement dans le dernier rechapage d'argile.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G et au magnétomètre Molspin. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 450, puis 620°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Quatorze échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 680°C ont été effectuées sur le fourneau MMTD. Onze échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour ces échantillons désaimantés à 400 ou 450°C. Le

protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à treize échantillons dans les fourneaux « maisons » avec un champ laboratoire de $60\mu\text{T}$ appliqué selon l'axe Y des spécimens. Quatorze chauffes ont été réalisées entre 100 et 670°C . L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 480 ou 500°C . L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530°C . Le taux de refroidissement lent a été choisi à $0,6^\circ\text{C}/\text{min}$ (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions et de l'ouverture du fourneau.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements du fourneau 2 de la Pâturage-à-Vaches ont des caractéristiques minéralogiques proches des fourneaux de la Bruyère. L'intensité de l'aimantation rémanente naturelle est comprise entre 0.04 et 4.9 A/m et la susceptibilité en champ faible entre 9 et $650 \cdot 10^{-5}\text{SI}$, ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 0.8 et 23 (Figure 20a). Cette forte variabilité est due à la variation des proportions d'une phase de forte coercivité, l'hématite, et d'une phase de faible coercivité, la magnétite. Cette variation est mise en évidence par les températures de déblocage (Figure 20b), les champs coercitifs (Figure 20c) et les acquisitions d'ARI (Figure 21).

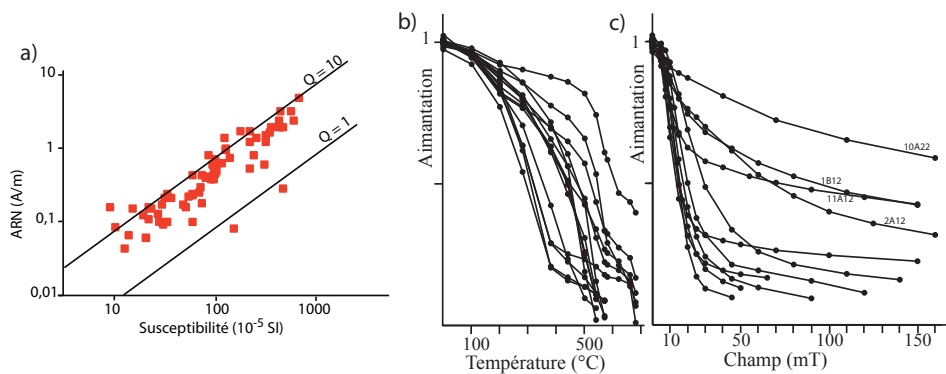


Figure 20 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du fourneau 2 de la Pâturage-à-Vaches. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

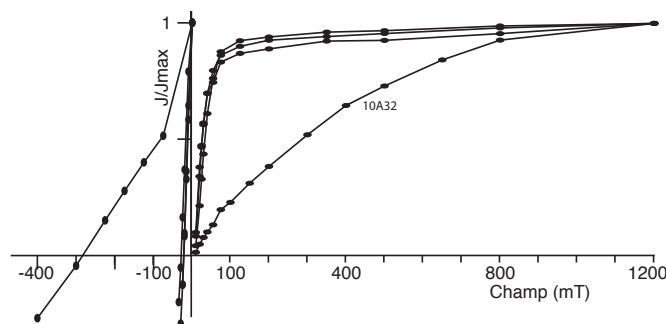


Figure 21 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour quatre échantillons du fourneau 2 de la Pâturage-à-Vaches (1A11, 5C11, 6A22 et 10A32). Les champs coercitifs rémanents sont respectivement 22, 29, 22 et 284 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 8, 26, 52 et 3 A/m.

Les courbes thermomagnétiques permettent d'identifier la phase de faible coercivité comme une titanomagnétite pauvre en titane avec des points de Curie proches de 585°C (Figure 22). Trois courbes (prélèvements 1, 6 et 10) montrent aussi une phase supplémentaire avec des points de Curie entre 400 et 430°C. En l'absence d'expérimentations supplémentaires comme une désaimantation thermique d'ARI croisées), la coercivité et la nature de cette phase restent en suspens.

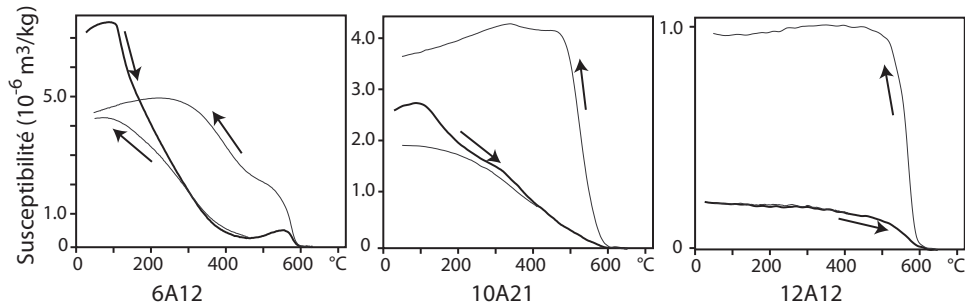


Figure 22 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du fourneau (Figure 23). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 7.

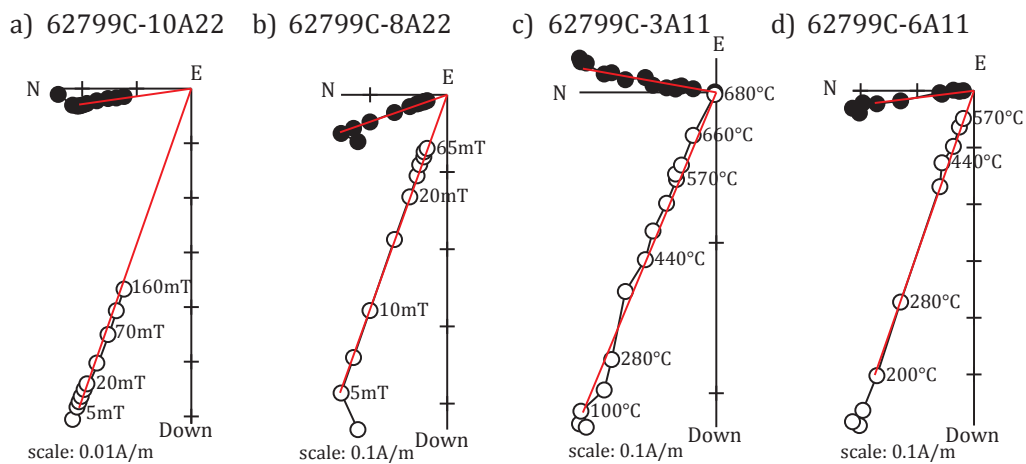


Figure 23 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés par champ alternatif (a et b) et thermiquement (c et d) du fourneau 2 de la zone III de la Pâture-à-vaches. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Protocole de Thellier-Thellier

Les treize échantillons pour le protocole de Thellier-Thellier ont été sélectionnés pour leur forte intensité d'ARN et leur fort rapport de Koenigsberger, qui laissent supposer une stabilité de la minéralogie ferromagnétique. L'estimation d'une archéointensité n'a pu être

réalisée pour trois échantillons (Figure 24 à droite) en raison de la forte déviation de la direction de l'ARN et de la convexité du diagramme ARN-ATR. Tous les autres échantillons (Figure 24 à gauche et au milieu) respectent les critères d'acceptation définis (bouclages positifs ; $f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$).

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/ GCA	ChRM/ II ^{re}	n	D(°)	I(°)	Mad(°)	Anisotropie					
										Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
62799C-1B11	7,2E-01	9,6E+01	Th 200 - 540	PCA	ChRM	6	2.4	71.3	1.4	-0.4	1.073	1.022	1.049	1.3	70.5
62799C-1B12	1,1E-01	2,1E+01	AF 5 - 150	PCA	ChRM	11	6.0	68.8	0.8	-3.2	1.180	1.146	1.030	5.9	68.7
62799C-2A11	9,6E-01	1,2E+02	Th 100 - 540	PCA	ChRM	7	358.0	67.5	1.4	-1.3	1.085	1.024	1.060	359.8	68.6
62799C-2A12	2,1E-01	3,6E+01	AF 5 - 150	PCA	ChRM	12	4.8	68.4	0.8	-4.5	1.094	1.030	1.063	6.7	67.6
62799C-3A11	2,4E-01	3,3E+01	Th 100 - 680	PCA	ChRM	12	10.1	67.0	1.8	0.3	1.081	1.010	1.071	9.1	66.9
62799C-3A21	6,0E-01	9,1E+01	AF 5 - 140	PCA	ChRM	11	5.5	69.2	0.5	-2.4	1.064	1.032	1.032	3.4	68.6
62799C-4A11	2,9E-01	7,0E+01	Th 100 - 680	PCA	ChRM	12	5.3	65.5	2.5	0.9	1.056	1.043	1.013	5.9	66.1
62799C-4B11	2,2E-01	5,4E+01	AF 5 - 150	PCA	ChRM	12	359.5	69.3	0.5	-1.1	1.010	1.005	1.005	6.0	67.3
62799C-5A11	4,1E-01	8,4E+01	Th 200 - 570	PCA	ChRM	7	1.0	68.2	1.5	-0.2	1.115	1.040	1.072	4.6	69.6
62799C-5A12	1,9E+00	3,5E+02	AF 5 - 90	PCA	ChRM	11	13.1	72.6	0.4	-4.5	1.079	1.037	1.041	11.1	73.5
62799C-6A11	6,2E-01	1,0E+02	Th 200 - 570	PCA	ChRM	7	353.0	70.6	1.2	1.0	1.095	1.049	1.043	353.9	70.5
62799C-6A13	5,3E-01	2,1E+02	Th 100 - 540	PCA	ChRM	7	12.6	68.2	1.1	-0.5	1.161	1.027	1.131	3.3	69.8
62799C-6A24	8,1E-01	2,4E+02	AF 5 - 45	PCA	ChRM	8	5.5	68.8	0.2	8.6	1.202	1.044	1.151	0.4	72.1
62799C-7A11	1,4E+00	1,2E+02	Th 100 - 570	PCA	ChRM	8	342.2	70.6	1.2	-3.6	1.188	1.068	1.113	355.6	69.0
62799C-7A12	1,6E+00	3,4E+02	AF 5 - 500	PCA	ChRM	10	353.1	69.8	0.2	-2.9	1.048	1.014	1.034	349.7	70.1
62799C-8A11	1,7E+00	1,8E+02	Th 380 - 570	PCA	ChRM	5	349.8	68.2	0.6	-2.1	1.170	1.041	1.124	352.6	66.2
62799C-8A22	4,5E-01	9,4E+01	AF 5 - 65	PCA	ChRM	10	340.8	69.1	0.5	-0.1	1.084	1.048	1.034	340.8	69.1
62799C-9A12	3,7E-01	9,4E+01	Th 100 - 570	PCA	ChRM	8	359.1	69.2	1.7	1.4	1.064	1.017	1.046	3.1	69.0
62799C-10A11	9,0E-02	1,0E+01	Th 100 - 680	PCA	ChRM	12	354.0	70.0	1.8	-3.9	1.088	1.062	1.025	356.1	69.7
62799C-10A22	7,0E-02	1,4E+01	AF 5 - 160	PCA	ChRM	9	352.0	70.4	0.5	0.5	1.119	1.085	1.031	349.3	70.2
62799C-11A11	1,5E-01	1,5E+01	Th 100 - 680	PCA	ChRM	12	359.1	69.5	1.5	-4.6	1.063	1.009	1.054	358.9	69.8
62799C-11A12	6,0E-02	2,0E+01	AF 5 - 160	PCA	ChRM	13	354.2	69.0	0.2	5.9	1.088	1.063	1.024	352.8	71.3
62799C-12A11	2,1E-01	3,1E+01	Th 100 - 680	PCA	ChRM	12	353.1	69.7	1.7	0.4	1.066	1.045	1.021	349.5	70.4
62799C-13A11	4,3E-01	7,3E+01	AF 5 - 120	PCA	ChRM	12	4.8	70.3	0.6	2.6	1.134	1.027	1.104	358.9	71.6
62799C-13B11	1,3E-01	2,6E+01	Th 200 - 680	PCA	ChRM	11	358.5	67.3	1.7	-0.9	1.037	1.012	1.024	357.7	67.8

Tableau 7 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie variable avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 26% (Tableaux 7 et 8). A l'échelle de la structure, aucune fabrique ne semble dominer. De plus, comme la correction d'anisotropie n'améliore pas le regroupement des directions d'aimantation ni ne change la direction d'aimantation moyenne, il a été décidé de ne pas appliquer la correction. Pour des raisons équivalentes, l'anisotropie n'est pas non plus appliquée aux archéointensités (Tableau 9), qui ne sont donc corrigées que de la vitesse de refroidissement. La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 24 heures est comprise entre -8.6 et 7.5% (Tableau 8). La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à l'ensemble des échantillons et regroupe assez significativement les archéointensités (Tableau 9).

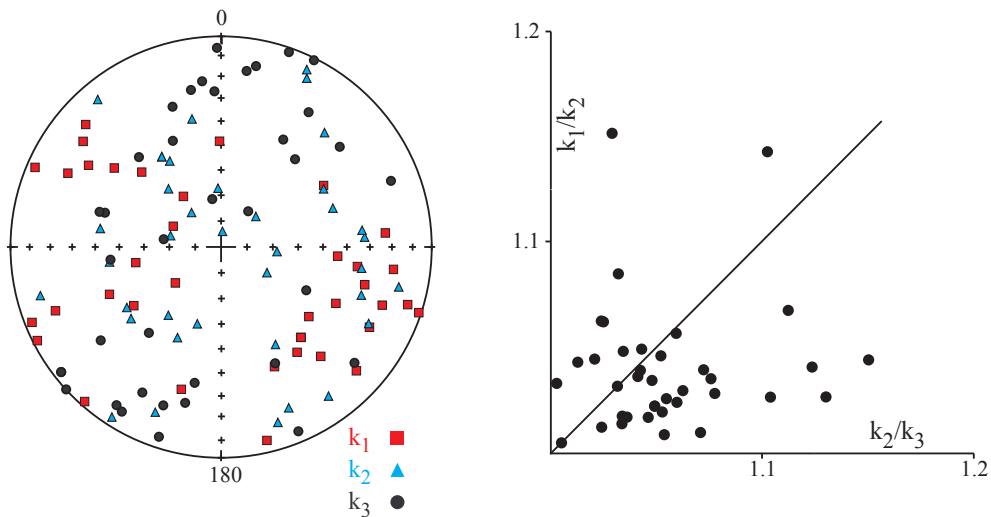


Figure 25 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Résultats

La Figure 26 montre le bon regroupement des directions d'aimantation. Tous les échantillons sont pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 9). Pour l'archéointensité, l'estimation du spécimen 1A21 semble hors-tendance. L'archéointensité moyenne, calculée pour les neuf spécimens acceptés, est pondérée par le nombre d'échantillons et le facteur de qualité (Prévôt, 1985).

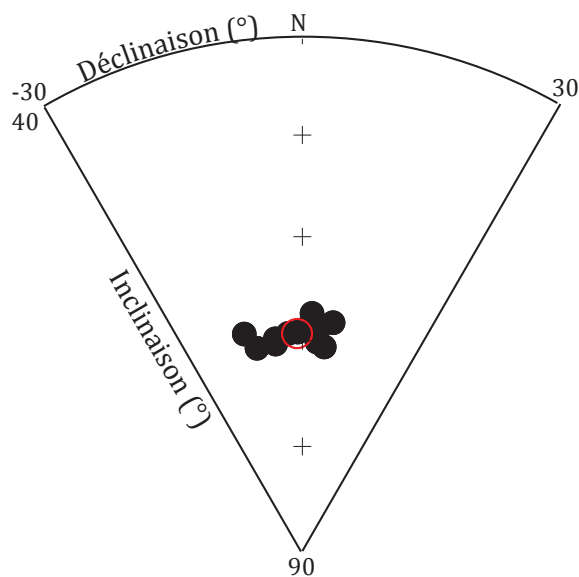


Figure 26 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement (non corrigées de l'anisotropie) pour le fourneau 2 de la zone III de la Pâtüre-à-Vaches.

Moyennes sans correction

D = -1.1° I = 69.3° N=13, n=25 k=902 $\alpha_{95} = 1.4^\circ$
F = 57.5 ± 5.4 μT N=9, n=9

Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)

D = -1.1° I = 69.4° N=13, n=25 k=845 $\alpha_{95} = 1.4^\circ$
F = 57.8 ± 5.6 μT N=9, n=9

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

F = 55.4 ± 5.2 μT N=9, n=9

A Paris (VGP et VDM)

D_p = -1.1 ± 3.8° I_p = 68.8 ± 1.4° F_p = 54.6 ± 5.2 μT
VDM = 8.4 10²² A.m² VADM = 8.6 10²² A.m²

Tableau 9 : Archéodirection et archéointensité moyennes du fourneau 2 de la zone III de la Pâturer-à-Vaches.

Bibliographie des sites de Sorrus, la Bruyère et la Pâturer-à-Vaches

Bernard, V., 1993. *Approche dendrochronologique des ponts celtiques de Houdancourt « les Esquillons » (Oise)*, Mémoire de diplôme de l'EHESS, Toulouse, 137p.

Desfossés, Y. & Weller, O., 1999. *Sorrus, la «Pâturer à vaches » et la «Bruyère »*, Document Final de Synthèse, SRA Nord Pas-de-Calais, 121 p.

Prilaux, G., 2000. *La production du sel à l'Age du Fer, contribution à l'établissement d'une typologie à partir des exemples de l'autoroute A16*, Eds Monique Mergoïl, AFAN, Coll. Protohistoire européenne, vol 5, 109 p.

Valence, angle-rue-d'Arménie-rue-Bouffier

Code archéomagnétique: 26362A

Contexte archéologique

Le site à l'angle entre les rues d'Arménie et Bouffier (Lat : 44.934°N ; Long : 4.895°E), dans le centre ville de Valence, a fait l'objet d'une fouilles préventive (en préalable à la construction d'un immeuble) de huit semaines à l'été 2008. Les fouilles d'une emprise de 858 m² étaient dirigées par Tony Silvino de la société Archéodunum. La fouille a mis en évidence la succession des occupations depuis l'Antiquité jusqu'à l'époque moderne, notamment l'évolution d'un îlot urbain de la colonie de *Valentia* entre le I^{er} siècle av. J.-C. et le IV^{ème} siècle ap. J.-C. Les niveaux tardo-républicains et augustéens sont notamment très bien conservés et ont permis de fouiller pour la première fois les niveaux contemporains de la création de la colonie romaine, qui aurait lieu d'après les textes entre 40 et 30 av. J.-C. (Silvino *et al.*, 2011).

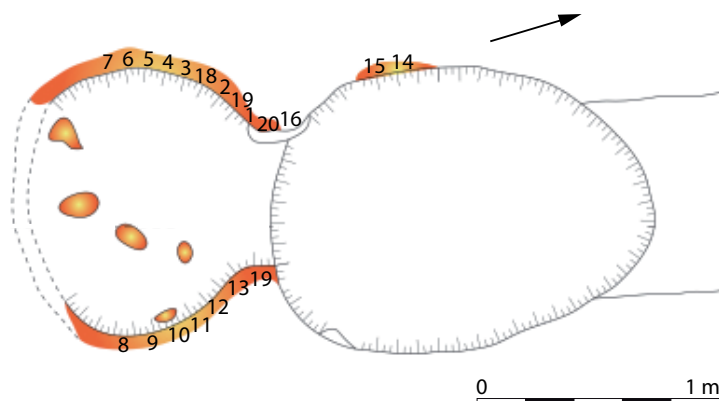


Figure 1 : Photographie et plan du four 40 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (d'après Silvino (dir.), 2009, page 152 figure 10 page 215)

Le four F40, étudié par archéomagnétisme appartient à la phase 1 pré-augustéenne du site. Les vestiges de cette phase restent partiels, mais ont pu être divisés en 4 séquences (Maza *et al.*, 2011). La séquence 1a comprend des fosses et le four F40 associés à des niveaux de sol partiellement rubéfiés. Ensuite, les tranchées de la séquence 1b et les bâtiments en terre crue sur des solins de galets de la séquence 1c illustrent l'occupation plus dense du secteur. La séquence 1d comprend les niveaux de destruction de cette phase 1, avant la mise en place au

cours de la phase 2 d'un véritable plan d'urbanisme avec des voies délimitant un îlot urbain (*domus*).

Le four F40, localisé à l'ouest de la fouille, est creusé dans le substrat local, constitué de limons argileux contenant des galets. Le four, de type classique, à cuisson rémanente sans sole suspendue, est conservé sur une profondeur moyenne de 30cm. Il est formé d'une aire de chauffe et d'une fosse d'accès (Figure 1). Cette fosse d'accès, de plan ovale (1,59 sur 1,18m), est comblée par des niveaux charbonneux. La chambre de chauffe circulaire (1,1 m de diamètre) est essentiellement comblée par l'effondrement de la superstructure du four. Les parois de la chambre de chauffe sont rubéfiées sur une épaisseur de 8 à 10cm. La fouille n'a pas permis de déterminer la fonction précise du four, en raison du peu de mobilier découvert en association (Maza *et al.*, 2011).

Datation du four et de la phase 1

Le mobilier retrouvé dans le four et les niveaux de sol associés (NR=53 pour un NMI=6 individus) ne permet pas de proposer une datation précise pour la séquence 1 de la phase 1. La datation du four repose donc sur la datation de l'ensemble de la phase 1, pour lequel le mobilier céramique est assez abondant (NR=977 tessons pour un NMI=66 individus). La céramique fine (NR=140 et NMI=22) permet de proposer une datation, clairement pré-augustéenne, entre 50 et 30 av. J.-C. (Maza *et al.*, 2011). Les formes céramiques présentes sont en effet les céramiques campaniennes A, B ou C avec des formes tardives (assiette Lamboglia 5/7 en campanienne A, campanienne B avec des coupelles Lamb. 1 notamment), des vases en parois fines produites dans la moyenne vallée du Rhône et inspirées des modèles italiques et des formes précoces de sigillée italique. Ces sigillées italiques (bol Haltern 14 et plat Goudineau 1) fournissent un *TPQ* dans les années 40 av. J.-C. pour la phase 1 (Maza *et al.*, 2011).

En outre, la comparaison du faciès céramique avec les horizons définis à Lyon (en l'occurrence l'horizon 1A de Cybèle) et Fréjus plaide aussi pour une datation entre 50 et 30 av. J.-C.. Toutefois, comme les archéologues, nous avons préféré fixer le *TAQ* de la phase 1 en 30 av. J.-C., puisque le mobilier des niveaux juste postérieurs de la phase 2 est clairement augustéen avec une disparition quasi-totale des formes tardo-républicaines.

Le four F40 de l'angle-rue-d'Arménie-et-rue-Bouffier est donc daté dans l'intervalle [-50 ; -30]. La phase 1 serait donc contemporaine, voire juste antérieure, à la création de la colonie de *Valentia* (Silvino *et al.*, 2011). Cette datation précoce de la phase 1 est confirmée par l'omniprésence des amphores Dressel 1B, la présence de 2 fibules de type Alésia (plus précisément le type 21a de la classification de Michel Feugère). Il faut aussi remarquer le mobilier mis au jour pour cette phase (domination des importations italiques, répertoire des céramiques communes « indigènes » très influencé par les formes italiques) attesterait la présence d'immigrants italiens sur le site.

Prélèvement archéomagnétique

Vingt prélèvements ont été réalisés sur le four 40 par Hugues Savay-Guerraz (Musée gallo-romain de Lyon) le 29 juillet 2008 (Figure 1). Les prélèvements sont localisés sur les parois ouest et est de la chambre de chauffe, ainsi que sur la bordure occidentale partiellement rubéfiée de la fosse d'accès. Tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole (sauf le numéro 20, qui n'a été orienté qu'à la boussole). Au laboratoire, les prélèvements très fragiles ont été découpés après induration en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1P1 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Six fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour trois échantillons.

Vingt échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 575°C ont été effectuées sur le four MMTD. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 420°C.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à dix échantillons dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 70 μ T appliqué selon l'axe Y des spécimens. Dix chauffes ont été réalisées entre 100 et 520°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 460°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 480°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

Les prélèvements présentent une grande homogénéité de l'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, entre 0.1 et 0.9 A/m) et de la susceptibilité en champ faible (entre 60 et 450 10^{-5} SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger Q entre 1 et 5 (Figure 2a). Les prélèvements 14 et 15 de la bordure de la fosse d'accès, moins aimantés, témoignent d'une intensité plus faible de la chauffe.

L'aimantation est majoritairement portée par une phase ferromagnétique, dont les températures de déblocage sont assez faibles avec des Median Demagnetizing Temperatures entre 250 et 350°C (Figure 2b). Outre cette phase de faible coercivité avec des champs coercitifs rémanents d'environ 20mT, l'acquisition des aimantations rémanentes isothermes montre la présence d'une autre phase, peu aimantée et de plus forte coercivité (Figure 3).

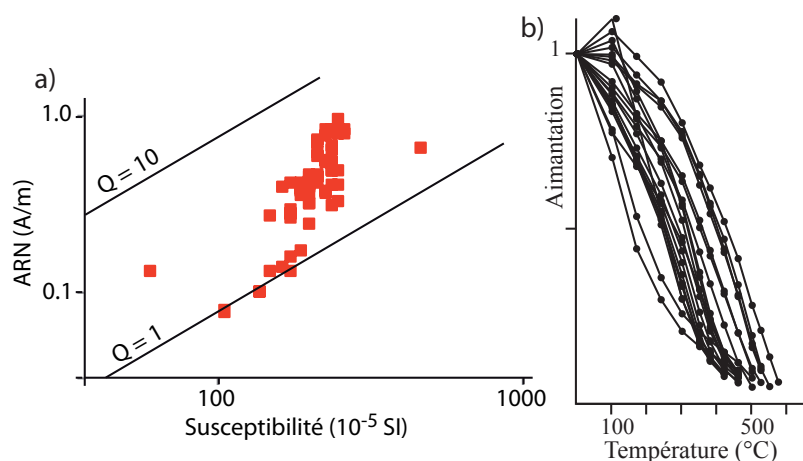


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Valence. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

Les courbes thermomagnétiques présentent tous des points de Curie entre 590 et 600°C (Figure 4). La phase de faible coercivité serait donc une titanomaghémite ou une titanomagnétite partiellement oxydée. En cours de chauffe, cette phase est susceptible d'évoluer (relativement peu) d'après l'irréversibilité des courbes thermomagnétiques.

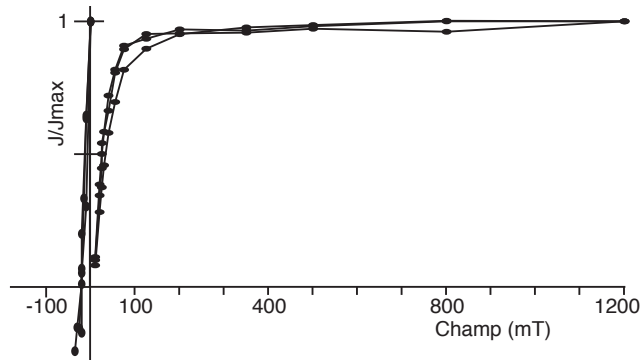


Figure 3 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour trois échantillons du four de Valence (2P1, 8P3, 17P2).

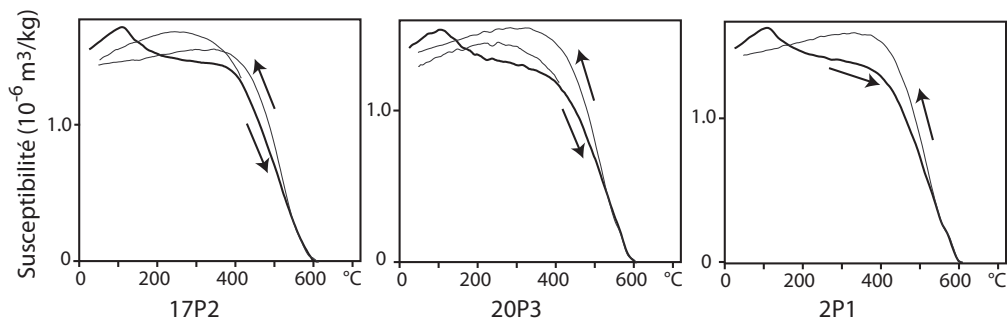


Figure 4 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantations thermiques et par champ alternatif

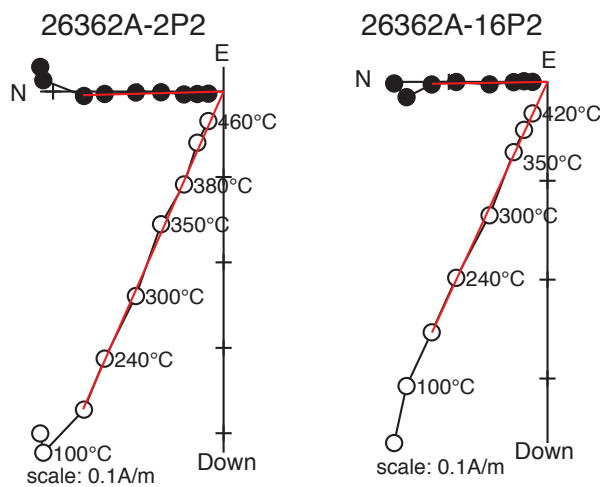


Figure 5 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs des échantillons du four F40. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Annexe 3 : Etude des sites français, Valence Angle-rue-d'Arménie-rue-Bouffier

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 5). Les directions d'aimantation sont récapitulées dans le tableau 1.

Nom	ARN (A/m)	χ (10 ⁻⁵ SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
26362A-1P2	4,1E-01	2,1E+02	170 - 460	7	354.9	66.9	0.7	-1.8	1.060	1.024	1.035	358.4	66.8
26362A-2P2	4,6E-01	2,1E+02	170 - 460	7	359.5	66.1	0.8	-1.7	1.049	1.038	1.011	357.6	65.2
26362A-3P2	2,4E-01	2,0E+02	100 - 460	8	357.0	65.4	1.0	-1.4	1.077	1.026	1.050	358.5	66.0
26362A-4P3	4,3E-01	2,0E+02	170 - 420	6	357.8	67.3	0.4	-2.5	1.059	1.036	1.022	359.5	68.0
26362A-5P3	3,9E-01	2,0E+02	100 - 420	7	355.0	66.0	1.1	-1.5	1.051	1.032	1.018	356.9	65.5
26362A-6P1	4,1E-01	1,8E+02	170 - 460	7	353.4	67.9	0.6	-1.9	1.069	1.016	1.052	353.3	68.8
26362A-7P2	4,2E-01	1,9E+02	100 - 460	8	3.8	69.0	1.0	-1.2	1.019	1.012	1.008	4.5	69.3
26362A-8P1	7,6E-01	2,3E+02	100 - 525	10	357.6	66.9	0.7	-2.0	1.076	1.049	1.026	2.4	66.6
26362A-9P1	3,9E-01	1,9E+02	170 - 460	7	2.0	67.8	0.3	-1.4	1.048	1.027	1.020	3.5	68.3
26362A-10P2	4,9E-01	2,4E+02	170 - 575	11	357.2	66.6	0.6	-1.4	1.050	1.039	1.011	359.6	66.1
26362A-11P1	3,3E-01	2,5E+02	170 - 460	7	31.7	60.4	2.1	-1.3	1.037	1.012	1.025	33.6	60.8
26362A-12P3	6,3E-01	2,4E+02	100 - 500	9	4.1	67.0	0.7	-1.9	1.060	1.038	1.021	6.2	66.4
26362A-13P2	9,6E-01	2,5E+02	100 - 550	11	4.3	68.6	1.1	-1.7	1.078	1.059	1.018	8.7	68.9
26362A-14P2	1,3E-01	1,5E+02	170 - 460	7	3.0	66.8	1.7	-1.4	1.018	1.014	1.004	3.9	66.7
26362A-15P2	1,4E-01	1,6E+02	170 - 500	8	1.8	65.3	1.1	-1.3	1.066	1.032	1.033	4.0	64.3
26362A-16P2	4,0E-01	2,0E+02	170 - 420	6	0.6	65.2	0.7	-2.4	1.074	1.037	1.035	0.0	66.2
26362A-17P3	7,9E-01	2,5E+02	170 - 500	8	356.9	65.8	0.4	-2.2	1.047	1.025	1.021	358.1	66.0
26362A-18P2	4,9E-01	2,5E+02	170 - 420	6	0.7	64.4	1.2	-1.9	1.048	1.029	1.018	1.4	63.4
26362A-19P3	4,8E-01	2,4E+02	170 - 460	7	0.5	67.5	1.0	-1.8	1.053	1.022	1.030	3.1	68.1
26362A-20P1	8,4E-01	2,6E+02	100 - 525	10	357.5	65.9	0.8	-2.1	1.044	1.022	1.021	356.1	65.9

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Protocole de Thellier-Thellier

Sur dix échantillons, neuf (sauf 13P3) montrent à partir de 380°C des évolutions minéralogiques (Figure 6), identifiées par une déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire (c'est-à-dire l'axe Y des échantillons, presque perpendiculairement à l'ARN) et une tendance à la convexité des diagrammes ARN-ATR. L'absence de déviation de la direction est le critère principal pour déterminer l'intervalle de température sur lequel est calculé l'archéointensité.

Les archéointensités ont été sélectionnés avec les critères suivants ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Seuls deux échantillons sont rejetés en raison de leur légère convexité (Tableau et Figure 6 à droite). L'évolution à partir du seuil de 380°C peut être expliquée par la transformation de la titanomaghémite ou de la titanomagnétite partiellement oxydée.

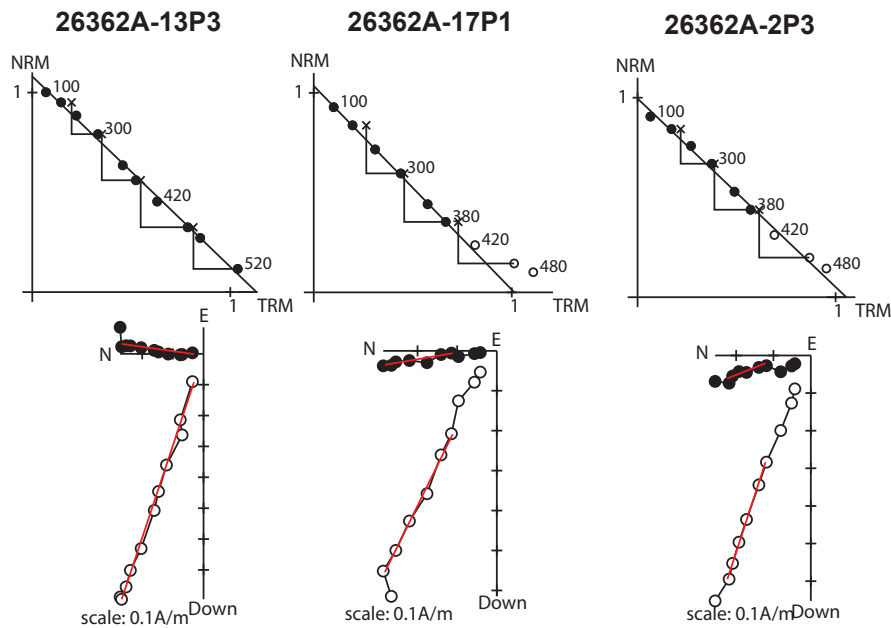


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens à gauche et au milieu sont acceptés car ils respectent les critères définis. L'échantillon de droite est rejeté car le diagramme ARN-ATR n'est pas rigoureusement linéaire. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 3 et 8% (Tableau 1). A l'échelle de la structure, aucune fabrique particulière ne semble se dessiner (Figure 7). La correction d'anisotropie n'a pas été appliquée pour l'archéodirection, comme elle les disperse légèrement (Tableau 3). Mais elle a été appliquée pour l'archéointensité.

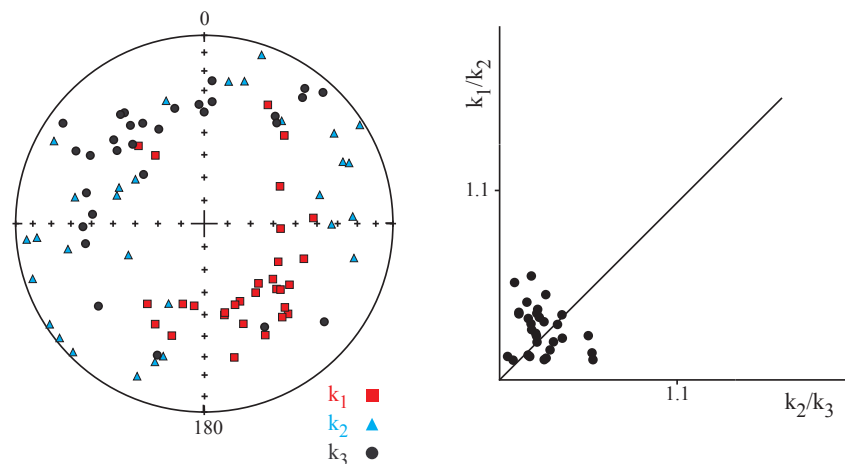


Figure 7 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Annexe 3 : Etude des sites français, Valence Angle-rue-d'Arménie-rue-Bouffier

La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à l'ensemble des échantillons (Tableau 2). La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures est en général comprise entre 3.5 et 4.5%. L'application de la correction n'améliore pas le regroupement des archéointensités (Tableau 3).

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} Si)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Dérive (%)	Anisotropie				Vitesse de refroidissement		
															K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	F _a \pm std (μ T)	% corr	% evol	F _{a+c} \pm std (μ T)
26362A-1P1	5,6E-01	2,3E+02	100 - 380	6	342.8	69.3	62.6 \pm 2.7	5.3	5.2	0.53	0.79	9.8	0.043	-0.1	1.052	1.035	1.016	62.1 \pm 2.8	4.5	-0.3	59.3 \pm 2.6
26362A-2P3	7,0E-01	2,1E+02	100 - 380	6	345.0	68.3	66.1 \pm 3.9	3.0	3.2	0.47	0.79	6.3	0.059	-0.8	1.061	1.045	1.015	66.0 \pm 3.9	4.5	-1.4	63.0 \pm 3.7
26362A-4P1	4,6E-01	2,0E+02	100 - 350	5	347.8	66.2	65.1 \pm 1.3	4.1	3.9	0.68	0.75	26.0	0.019	0.1	1.063	1.040	1.021	63.2 \pm 1.2	4.3	-1.1	60.5 \pm 1.1
26362A-7P1	3,9E-01	1,6E+02	100 - 380	6	344.1	66.2	54.5 \pm 1.5	4.4	2.1	0.54	0.80	15.7	0.027	0.6	1.031	1.014	1.017	54.2 \pm 1.5	5.3	-0.7	51.3 \pm 1.4
26362A-8P2	5,4E-01	2,3E+02	100 - 380	6	349.2	67.0	67.6 \pm 1.9	3.6	3.5	0.58	0.79	16.1	0.028	1.1	1.059	1.033	1.025	66.9 \pm 2.0	3.6	0.3	64.5 \pm 1.9
26362A-9P3	6,2E-01	2,1E+02	100 - 380	6	348.9	65.3	64.3 \pm 2.0	3.7	2.2	0.50	0.79	12.6	0.031	-0.2	1.039	1.013	1.026	63.1 \pm 2.0	3.7	-0.2	60.8 \pm 1.9
26362A-12P1	7,3E-01	2,1E+02	100 - 380	6	353.9	66.4	64.8 \pm 3.0	3.2	4.7	0.45	0.79	7.8	0.046	-1.3	1.031	1.015	1.016	64.9 \pm 2.9	4.2	-2.0	62.2 \pm 2.8
26362A-13P3	8,4E-01	2,3E+02	100 - 520	10	4.4	71.6	66.8 \pm 1.4	2.3	1.2	0.84	0.87	34.0	0.021	-2.3	1.046	1.017	1.028	67.0 \pm 1.5	4.0	-1.2	64.3 \pm 1.4
26362A-17P1	6,7E-01	2,4E+02	100 - 380	6	353.3	62.6	71.5 \pm 0.9	2.6	1.5	0.56	0.79	35.3	0.012	-0.6	1.065	1.056	1.008	69.8 \pm 1.0	4.3	-0.9	66.8 \pm 0.9
26362A-20P2	7,8E-01	2,6E+02	100 - 380	6	353.1	64.2	66.9 \pm 2.5	3.7	3.5	0.47	0.79	9.9	0.037	-0.8	1.065	1.012	1.053	65.0 \pm 2.4	4.5	-0.6	62.1 \pm 2.3

Tableau 2 : Résultats d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

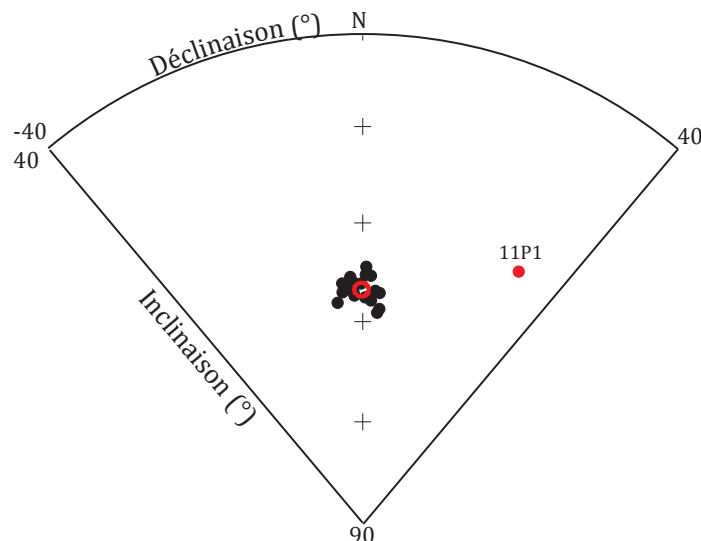


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation (non corrigées de l'anisotropie). La direction du spécimen 11P1 est considérée hors-tendance.

Résultats

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées après désaimantation thermique. La direction de l'échantillon 11P1 est hors-tendance, sans doute en raison de problèmes d'orientation lors de la préparation des spécimens. Le regroupement des directions d'aimantation des autres prélèvements est très bon avec un facteur k égal à 2098 (Figure 8 et Tableau 3). L'archéointensité moyenne, calculée pour les huit spécimens acceptés, est pondérée par le nombre d'échantillons et le facteur de qualité (Prévôt, 1985).

Moyennes sans correction

$$D = -0.7^\circ \quad I = 66.7^\circ \quad N=19, n=19 \quad k=2098 \quad \alpha_{95} = 0.7^\circ \\ F = 65.2 \pm 4.9 \mu\text{T} \quad N=8, n=8$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = 0.8^\circ \quad I = 66.7^\circ \quad N=13, n=26 \quad k=1388 \quad \alpha_{95} = 0.9^\circ \text{ (non appliquée)} \\ F = 64.3 \pm 4.6 \mu\text{T} \quad N=8, n=8 \text{ (appliquée)}$$

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

$$F = 61.6 \pm 4.6 \mu\text{T} \quad N=8, n=8$$

A Paris (VGP et VDM)

$$D_p = -0.4 \pm 2.0^\circ \quad I_p = 69.5 \pm 0.7^\circ \quad F_p = 64.2 \pm 4.2 \mu\text{T} \\ \text{VDM} = 9.7 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2 \quad \text{VADM} = 10.1 \cdot 10^{22} \text{ A.m}^2$$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four F40 de l'Angle-Rue-d'Arménie-et-Bouffier à Valence

Bibliographie

Maza, G., Silvino, T. & Hanotte, A., 2011. *Les origines de la colonie de Valence (Drôme) : définition des faciès céramiques de la seconde moitié du I^{er} siècle avant J.-C. à partir de la fouille de l'angle des rues d'Arménie et Bouffier*, SFECAG, Actes du Congrès d'Arles 2011, 467-495

Silvino, T., (dir.), 2009. *Valence, angle rue-d'Arménie – rue Bouffier*, Rapport Final d'Opération, Archéodunum SA, SRA Rhône-Alpes, 328 p.

Silvino, T., Maza, G., Faure, P., Tran, N. & Argant, T., 2011. Les origines de la colonie romaine de Valence (Drôme), *Gallia*, 68(2), 109-154

Villeneuve-sur-Lot, la Dardenne-Haut

Code archéomagnétique: 47323A et 47323B

Contexte archéologique

Au nord du centre-ville de Villeneuve-sur-Lot, plusieurs opérations préventives ont permis de mettre au jour une agglomération ouverte de la fin de l'Age du Fer, ainsi qu'une agglomération secondaire gallo-romaine. Une de ces opérations, à la Dardenne-Haut (Lat : 44.418°N ; Long : 0.733°E), a mis en évidence un quartier artisanal de l'agglomération laténienne des II^{ème} et I^{er} siècles av. J.-C.. Cette fouille, dirigée par Aurélien Alcantara (INRAP Grand Sud-Ouest), était menée sur une faible emprise, en préalable à la construction d'un pavillon.

Les vestiges comprennent notamment de nombreuses fosses, plusieurs puits, des plaques-foyers et 3 fours. Les études archéomagnétiques ont porté sur la plaque-foyer la mieux conservée (Structure 122) et sur le four de potier 3186. (A cause des mauvaises conditions météorologiques, les autres fours mis au jour ne se sont pas bien conservés jusqu'au prélèvement en fin de fouilles.)

A) Etude du four de potier 3186

Description et datation de la structure



Figure 1: Le four 3186 de la Dardenne-Haut avec localisation des prélèvements archéomagnétiques (Cliché Ph. Lanos)

Le four 3186 est un four à 2 chambres, avec une aire de chauffe située à l'entrée de l'alandier (Figure 1). La fosse d'accès du four a partiellement disparue, recoupée par une fosse. La chambre de chauffe, circulaire (le diamètre atteint environ 1m) est creusée dans le substrat local sableux. Elle comporte un pilier central, probable support d'une sole radiale (Les superstructures du four ont disparu). La rubéfaction des parois reste modérée avec une épaisseur qui atteint 5 cm environ à l'entrée du four et seulement 1.8 cm à l'extrémité opposée.

La production de ce four est probablement la céramique commune, destinée à une production locale.

La datation du four repose sur le mobilier céramique retrouvé dans le comblement de la chambre de chauffe. L'analyse indique un fonctionnement du four à la fin de la Tène C2 et au début de la Tène D1, soit dans l'intervalle [-125 ; -75].

Prélèvement archéomagnétique

Vingt-sept prélèvements (Figure 1) ont été réalisés par Philippe Lanos et Gwenaël Hervé le 29 avril 2009 sur les parois du four (17 prélèvements de 11 à 27) et sur la bouche de l'alandier (10 prélèvements numérotés de 1 à 10). Presque tous les prélèvements ont été orientés à l'équerre solaire et à la boussole (Les prélèvements 1, 10, 19 et 20 n'ont été orientés qu'à la boussole.). Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté après induration au silicate de sodium. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Huit fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement.

Vingt-neuf échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 550°C ont été effectuées sur le four MMTD. Vingt échantillons ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour l'ensemble des échantillons à 400 ou 490°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été testé sur huit échantillons dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 60μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Dix chauffes ont été réalisées entre 100 et 530°C.

Minéralogie magnétique

L'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.04 et 2.6 A/m et de la susceptibilité en champ faible entre 42 et 725 10⁻⁵SI. Ceci correspond à des rapports de Koenigsberger Q assez homogènes entre 1 et 5 (Figure 2a). Les échantillons de la bouche de l'alandier ont des valeurs plus élevées que les échantillons des parois du four. De plus, ces valeurs moyennes soulignent que l'intensité de la chauffe est restée limitée particulièrement au niveau des parois du four.

Les caractéristiques minéralogiques de l'ensemble des prélèvements sont homogènes, d'après les températures de déblocage (Figure 2b), les Median Demagnetizing Field (Figure 2c) et les courbes thermomagnétiques (Figure 3). L'aimantation est portée par une phase de faible coercivité, dont les points de Curie entre 540 et 550°C assurent son identification comme titanomagnétite pauvre en titane.

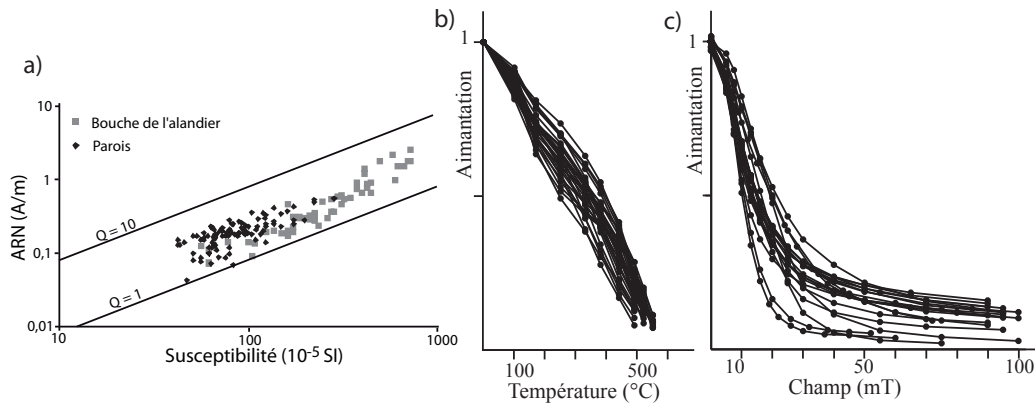


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Villeneuve-sur-Lot. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif. Les Median Demagnetizing Field (MDF) sont compris entre 10 et 20 mT.

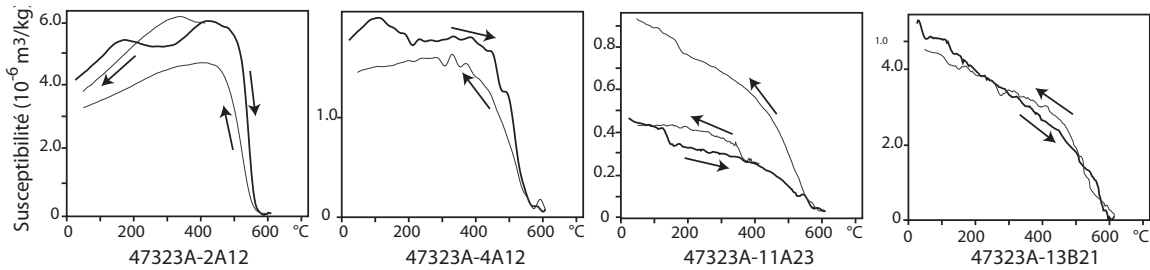


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). Tous les échantillons présentent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe du four (Figure 4). Les directions d'aimantation déterminées sont récapitulées dans le Tableau 1.

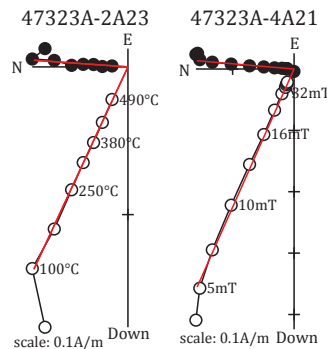


Figure 4 : Diagrammes de Zijderveld représentatifs de spécimens désaimantés thermiquement (à gauche) et par champ alternatif (à droite). Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie entre 3 et 13% (Tableau 1). La fabrique des prélèvements des parois semble dominée par la foliation, alors que la fabrique pour ceux de la bouche de l'alandier semble dominée par la linéation. Pour les deux types de prélèvements, l'axe minimal du tenseur d'anisotropie est proche de la verticale (Figure 5). L'application de la correction d'anisotropie n'a pas d'effet sur le regroupement des archéodirections (Tableau 2).

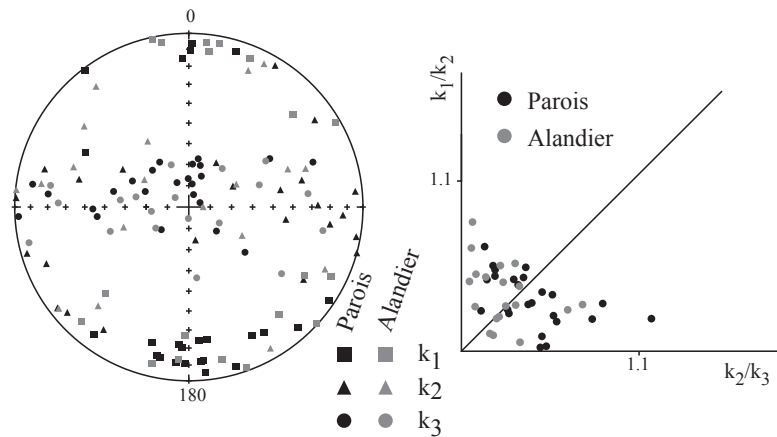


Figure 5 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les prélèvements du pourtour des parois (en bleu) sont distingués des prélèvements de la bouche de l'alandier (en rouge).

Protocole de Thellier-Thellier

Tous les échantillons (choisis pourtant en fonction de leur intensité d'aimantation et de leurs rapports de Koenigsberger élevés) présentent un diagramme ARN-ATR convexe et une déviation significative de la direction d'ARN dans la direction du champ appliqué (Figure 6). Ce rejet des échantillons est dû à des évolutions minéralogiques, qui sont plus ou moins accentuées selon les échantillons (Figure 6).

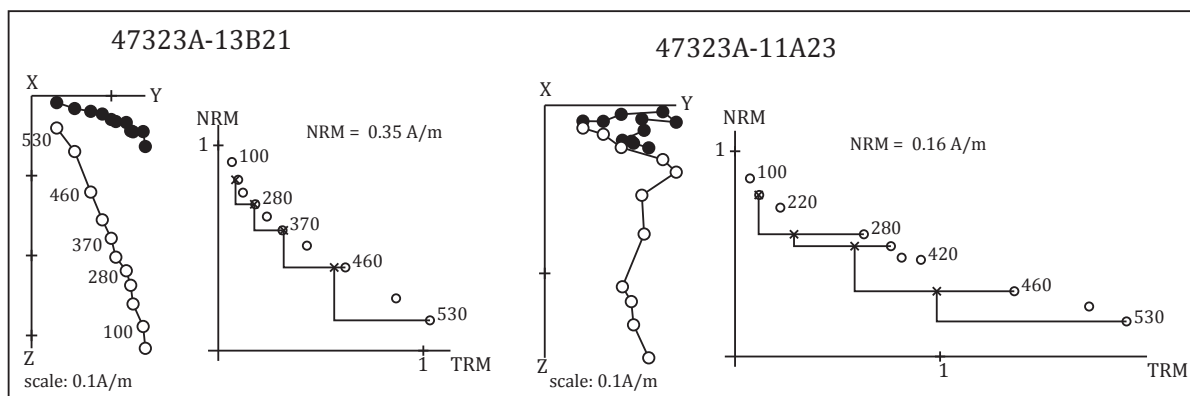


Figure 6 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijdeveld et diagrammes ARN-ATR. Pour les premiers, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées échantillon. Les températures sont indiquées en degré Celsius. Le champ laboratoire est appliqué selon l'axe Y des échantillons.

Annexe 3 : Etude des sites français, Villeneuve-sur-Lot, la Dardenne-Haut

	ARN (A/m)	χ (10^{-5} SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie				
									K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
47323A-1A11	2,2E+00	5,9E+02	Th 100 - 520	8	1.1	64.3	0.6	1,1	1.053	1.044	1.008	0.6	64.8
47323A-1A21	1,8E-01	1,5E+02	AF 10 - 100	11	3.4	67.1	0.4	1.2	1.028	1.009	1.018	2.8	67.5
47323A-2A11	1,2E+00	4,1E+02	Th 100 - 550	9	0.7	64.5	1.4	1,8	1.081	1.074	1.006	356.4	64.3
47323A-2A23	1,9E-01	1,8E+02	Th 100 - 490	7	4.1	65.0	0.7	1,3	1.083	1.050	1.031	4.7	65.0
47323A-3A11	7,8E-01	4,3E+02	Th 100 - 520	8	359.3	64.6	1.0	1,1	1.065	1.059	1.006	356.9	65.0
47323A-3A12	9,1E-01	3,8E+02	AF 10 - 72	10	358.8	66.8	0.1	-8.8	1.039	1.019	1.020	357.4	67.3
47323A-4A11	1,5E+00	6,8E+02	Th 100 - 550	9	358.7	65.0	1.4	1,7	1.065	1.040	1.024	357.8	64.3
47323A-4A21	4,5E-01	3,1E+02	AF 7.5 - 52	10	7.0	65.3	0.4	-0.3	1.057	1.042	1.014	4.9	64.8
47323A-5A11	4,5E-01	1,6E+02	Th 100 - 550	9	356.9	65.1	0.8	3,8	1.098	1.027	1.070	358.3	67.0
47323A-5A12	5,0E-01	2,5E+02	AF 7.5 - 60	11	355.6	66.9	0.8	-3.6	1.039	1.005	1.034	356.3	67.9
47323A-6A11	1,4E-01	1,0E+02	Th 100 - 490	7	0.6	65.6	1.2	-3,5	1.086	1.024	1.061	359.2	64.8
47323A-6A12	3,0E-01	1,8E+02	AF 9 - 90	12	358.8	65.2	0.3	-0.1	1.042	1.020	1.022	359.7	64.8
47323A-7A11	3,0E-01	1,9E+02	Th 100 - 520	8	2.5	62.6	0.9	2,1	1.073	1.049	1.022	1.5	63.5
47323A-8A11	7,3E-01	3,8E+02	Th 100 - 550	9	358.5	63.6	0.8	4,5	1.058	1.026	1.031	359.0	64.2
47323A-8A12	2,2E-01	1,8E+02	AF 10 - 95	10	357.1	64.5	0.5	-0.2	1.027	1.010	1.016	356.1	65.1
47323A-9A11	6,5E-01	4,0E+02	Th 100 - 520	8	355.7	63.7	1.0	1,1	1.034	1.025	1.008	356.3	63.8
47323A-9B11	8,5E-01	4,3E+02	AF 10 - 100	10	356.8	65.9	0.2	-2.8	1.072	1.037	1.033	1.0	66.8
47323A-10A11	5,4E-01	2,8E+02	Th 100 - 520	8	352.4	64.6	1.1	0,1	1.045	1.040	1.005	352.7	65.6
47323A-10A12	1,5E+00	6,3E+02	AF 7.5 - 75	10	356.3	65.4	0.2	-3.3	1.052	1.026	1.026	354.7	65.6
47323A-11A11	1,3E-01	6,8E+01	Th 170 - 490	6	1.4	59.2	1.1	-7,8	1.051	1.024	1.027	0.4	58.7
47323A-11A12	1,2E-01	6,3E+01	AF 7.5 - 100	12	7.4	63.0	0.8	-25.8					
47323A-12A11	1,9E-01	9,0E+01	Th 100 - 520	8	0.3	62.8	0.8	-6,6	1.082	1.034	1.046	359.2	62.5
47323A-13A11	1,9E-01	1,0E+02	Th 100 - 490	7	2.4	61.2	1.4	-7,7	1.074	1.060	1.013	358.6	61.4
47323A-13B11	3,4E-01	1,5E+02	AF 7.5 - 90	11	354.4	64.3	0.3	-7,7	1.055	1.008	1.046	355.2	64.7
47323A-14A11	2,2E-01	7,4E+01	Th 100 - 520	8	357.7	61.5	1.0	-8,6	1.063	1.043	1.019	356.2	62.0
47323A-14A21	2,0E-01	7,4E+01	AF 10 - 90	10	356.7	63.5	1.0	-23.1					
47323A-15A11	3,0E-01	1,2E+02	Th 100 - 550	9	358.9	62.9	0.7	-7	1.067	1.047	1.019	357.4	63.3
47323A-15B11	4,3E-01	1,8E+02	AF 7.5 - 90	11	2.5	65.4	0.7	-5.7	1.111	1.027	1.081	357.3	67.1
47323A-16A11	3,6E-01	1,1E+02	Th 100 - 550	9	359.9	62.2	1.0	-5,9	1.073	1.041	1.030	358.3	63.0
47323A-16A12	1,7E-01	7,9E+01	AF 7.5 - 90	11	358.3	63.6	0.7	-22.9				358.3	63.6
47323A-17A11	5,3E-01	2,3E+02	Th 100 - 520	8	359.6	60.9	0.5	-2,4	1.080	1.042	1.036	358.3	62.2
47323A-18A11	4,1E-01	1,4E+02	Th 250 - 550	7	359.6	61.8	0.7	-1,1	1.086	1.032	1.052	357.3	63.6
47323A-18A13	1,7E-01	7,4E+01	AF 5 - 90	12	355.6	61.5	0.7	-26.8				355.6	61.5
47323A-19A11	2,3E-01	1,0E+02	Th 100 - 520	8	358.9	62.4	0.9	-4,8	1.066	1.027	1.038	357.5	63.0
47323A-19B11	2,9E-01	1,1E+02	AF 5 - 95	12	356.2	63.3	0.3	-3.8	1.074	1.020	1.053	356.8	64.2
47323A-20A11	2,3E-01	1,3E+02	Th 250 - 490	5	3.1	60.1	1.3	-2,8	1.069	1.028	1.040	3.3	60.7
47323A-21A11	1,7E-01	7,6E+01	Th 100 - 520	8	357.7	59.4	1.2	-1,5	1.052	1.003	1.049	357.4	60.8
47323A-21A12	2,5E-01	8,4E+01	AF 5 - 95	12	0.9	61.2	0.8	-19.9					
47323A-22A11	1,5E-01	1,1E+02	Th 100 - 490	7	0.6	62.0	1.1	-5,7	1.087	1.048	1.037	356.3	61.8
47323A-22A12	1,7E-01	8,9E+01	AF 5 - 95	12	359.0	61.7	0.7	-27.8					
47323A-23A11	1,9E-01	9,0E+01	Th 100 - 520	8	0.6	60.5	0.7	-7,1	1.068	1.049	1.018	0.9	60.7
47323A-23B11	2,7E-01	9,0E+01	AF 7.5 - 80	11	3.5	61.8	0.8	-4.8	1.130	1.019	1.109	6.6	61.4
47323A-24A11	1,9E-01	7,8E+01	Th 100 - 550	9	358.5	61.0	1.2	-7,3	1.072	1.038	1.033	357.8	61.6
47323A-25A11	2,5E-01	1,4E+02	Th 100 - 550	9	0.9	62.8	1.4	-4,5	1.050	1.022	1.027	0.1	63.5
47323A-25A12	1,1E-01	6,9E+01	AF 13 - 95	9	9.5	60.7	1.2	-29.9					
47323A-26A11	7,6E-02	5,6E+01	Th 250 - 550	7	12.7	60.8	2.1	-1,3	1.056	1.041	1.015	10.3	61.3
47323A-26B11	1,4E-01	1,3E+02	Th 100 - 520	8	1.5	55.1	0.8	-0,2	1.073	1.017	1.055	0.3	56.6
47323A-27A11	1,9E-01	8,1E+01	Th 250 - 550	7	4.8	60.8	1.3	-7,6	1.035	1.023	1.011	4.8	60.6
47323A-27B11	2,8E-01	8,0E+01	AF 5 - 95	12	2.6	59.9	1.1	-5.8	1.048	1.002	1.045	1.2	60.6

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantations thermique et par champ alternatif)

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Archéodirection moyenne

La Figure 7 montre le très bon regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement, avec un facteur k égal à 1018. Tous les prélèvements sont pris en compte dans le calcul de la direction d'aimantation moyenne par la statistique de Fisher (Tableau 2).

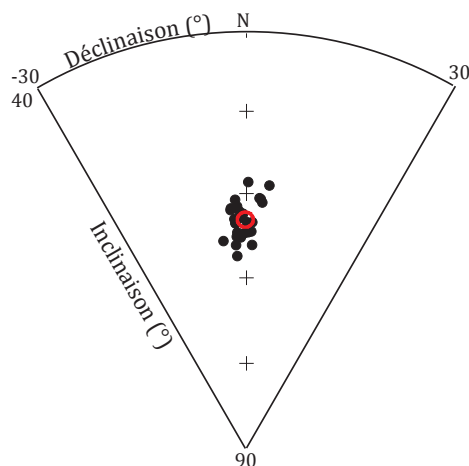


Figure 7 : Regroupement des directions d'aimantation moyennes par prélèvement après correction de l'anisotropie.

Moyennes sans correction

$$D = 0.3^\circ \quad I = 62.8^\circ \quad N=27, n=49 \quad k=1051 \quad \alpha_{95} = 0.9^\circ$$

Moyennes avec correction d'anisotropie

$$D = -0.8^\circ \quad I = 63.2^\circ \quad N=27, n=42 \quad k=1018 \quad \alpha_{95} = 0.9^\circ$$

A Paris (VGP)

$$D_p = -0.9 \pm 2.3^\circ \quad I_p = 66.6 \pm 0.9^\circ$$

Tableau 2 : Archéodirection moyenne du four 3186 de la Dardenne-Haut à Villeneuve-sur-Lot.

B) Etude de la plaque-foyer 122

Description et prélèvement de la structure

La plaque-foyer 122 (référence archéomagnétique : 47323B) du site de la Dardenne-Haut à Villeneuve-sur-Lot a été étudiée, pour l'archéointensité uniquement. La plaque est constituée d'un niveau d'argile cuite (u.s. 2124) de 2 à 3 cm d'épaisseur, posée sur un radier de tessons de céramiques posés à plat (u.s. 2136). Le fonctionnement de la plaque foyer est daté de la fin de la Tène D1 et du début de la Tène D2, soit dans l'intervalle [-125 ; -75].

Treize tessons (numérotés de T1 à T2, puis de T14 à T24) ont été prélevés pour les analyses d'archéointensité. Au laboratoire, les tessons ont été débités en petits spécimens de quelques millimètres de côté. Onze fragments d'argile (numérotés de A1 à A11) ont aussi été étudiés : quatre fragments présentent en inclusion des tessons (A3, A4, A8 et A9). Les fragments d'argile ont été découpés en cubes de 1,8 cm de côté, après consolidation par trempage dans du

silicate de sodium. Tous les spécimens du même tesson ou du même fragment d'argile ont été orientés dans le même repère.

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Deux tessons (T21 et T24) et deux fragments d'argile (A1 et A6) ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'ARI a été menée pour les mêmes échantillons.

Un spécimen de chaque échantillon a au préalable été désaimanté thermiquement, pour vérifier le nombre de composantes d'aimantation et caractériser la composante acquise lors de la dernière chauffe.

Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été mené sur les treize tessons et les onze fragments d'argile dans les fours « maison » avec un champ laboratoire de 60μT. Douze chauffes ont été réalisées entre 100 et 575°C. L'effet d'anisotropie d'ATR a été vérifié à 480 ou 500°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures).

Minéralogie magnétique

L'aimantation des tessons et des fragments d'argile est dominée par une phase de faible coercivité (Figure 8), qui est identifiée par ses points de Curie (entre 570 et 580°C) à une titanomagnétite pauvre en titane (Figure 9). La courbe d'acquisition d'ARI du tesson T21 montre aussi la présence de phase de forte coercivité (titanohématite ?).

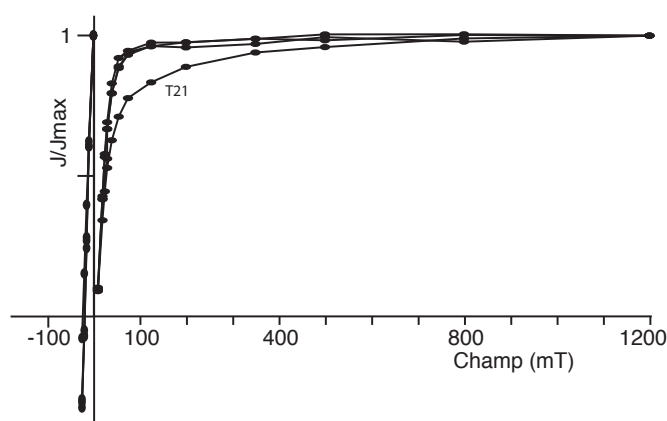


Figure 8 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et « backfield » pour deux tessons (T21 et T24) et deux fragments d'argile (A1 et A6). Les champs coercitifs rémanents H_{cr} sont respectivement 24.1, 18.8, 19.4 et 19.0 mT pour des aimantations rémanentes à saturation J_{rs} de 4, 12, 25 et 49 A/m.

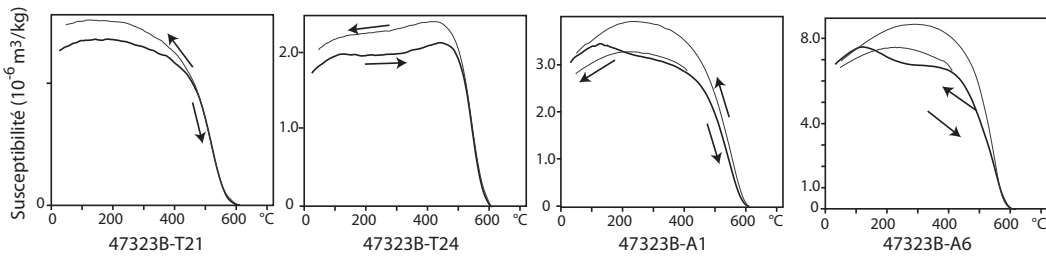


Figure 9 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

Désaimantation thermique

Presque tous les tessons (sauf T22) portent deux composantes d'aimantation. La composante secondaire est acquise en place, alors que la composante primaire est acquise lors de la cuisson de la céramique. La température entre les deux composantes, assez homogène entre les échantillons entre 370 et 500°C, marque les températures maximales atteintes en place par les tessons. Les fragments d'argile portent une seule composante d'aimantation, sauf les numéros A3, A4, A8 et A9, qui ont deux composantes car ils présentent en inclusion des tessons. Dans tous les cas, les directions d'aimantation ont été interprétées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980).

Protocole de Thellier-Thellier

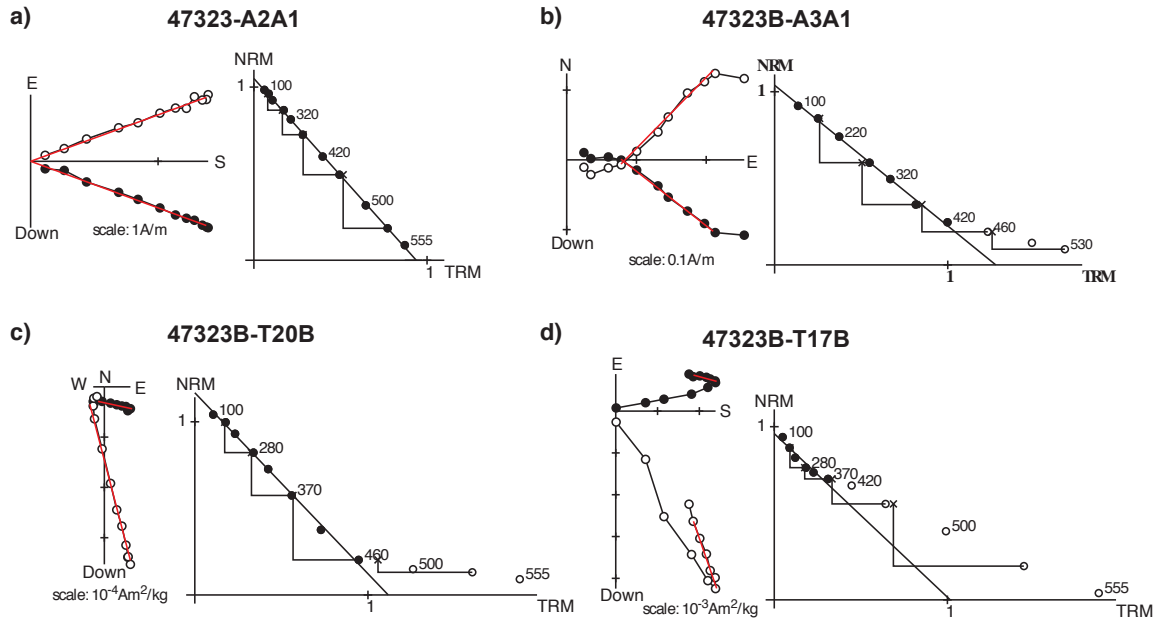


Figure 10 : Résultats d'archéointensité, après application de la correction d'anisotropie, pour deux fragments de la sole d'argile (a et b) et deux tessons (c et d). Le fragment d'argile a) porte une composante d'aimantation, alors que le fragment b) présentant un tesson en inclusion porte deux composantes. L'archéointensité du tesson c) est acceptée, mais le résultat du tesson d) est rejeté en raison de la trop faible proportion d'ARN prise en compte dans le calcul de l'archéointensité. Pour chaque échantillon, à gauche, diagramme de Zijderveld visualisant la variation de la direction d'aimantation [Les cercles pleins (vides) représentent les projections sur le plan horizontal (vertical)] et à droite, diagramme ARN/ATR.

Annexe 3 : Etude des sites français, Villeneuve-sur-Lot, la Dardenne-Haut

Tous les échantillons donnent d'excellents résultats avec des diagrammes ARN-ATR linéaires dans l'intervalle de température correspondant à la dernière chauffe et sans déviation de la direction d'ARN dans la direction du champ du laboratoire (Tableau 3 et Figure 10). Sauf le tesson T27, ils respectent les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$).

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	ChRM/ II ^{re}	n	F ± std (μT)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie				Vitesse de refroidissement			
													Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	F _a ± std (μT)	%corr	%evol	F _{a+c} ± std (μT)
47323B-A1A1	4.0E+00	6.6E-03	100 - 530	ChRM	10	52.7 ± 2.0	5.1	4.3	0.65	0.82	14.1	0.038	-2.0	1.204	1.049	1.147	56.6 ± 2.1	-1.7	-1.0	57.6 ± 2.1
47323B-A2A1	1.5E+00	3.9E-03	100 - 555	ChRM	11	64.8 ± 0.5	2.4	0.6	0.86	0.87	95.9	0.008	0.5	1.072	1.037	1.034	67.1 ± 0.5	6.2	-0.2	62.9 ± 0.5
47323B-A3A1	2.8E-01	1.8E-03	100 - 420	II ^{re}	7	47.5 ± 1.2	2.7		0.65	0.83	20.7	0.026	1.5	1.232	1.079	1.142	48.7 ± 1.3	11.4	1.9	43.2 ± 1.2
47323B-A4A1	1.3E+00	4.3E-03	100 - 500	II ^{re}	9	61.7 ± 1.7	3.4		0.73	0.84	23.3	0.027	4.9	1.331	1.286	1.035	62.2 ± 1.6	11.4	2.8	55.1 ± 1.4
47323B-A5A2	3.8E-01	1.4E-03	100 - 520	ChRM	8	46.6 ± 1.5	3.3	0.9	0.76	0.83	19.3	0.033	-0.1	1.082	1.049	1.032	49.3 ± 1.6	5.4	1.7	46.6 ± 1.5
47323B-A6A2	4.0E+00	9.3E-03	100 - 575	ChRM	12	56.2 ± 1.0	1.7	0.6	0.87	0.89	46.0	0.017	-1.7	1.040	1.035	1.005	55.4 ± 0.9	5.7	0.5	52.2 ± 0.8
47323B-A7B1	1.5E+00	4.1E-03	100 - 520	ChRM	8	67.7 ± 0.9	2.1	0.4	0.75	0.83	45.4	0.014	-0.3	1.059	1.003	1.056	71.1 ± 1.0	5.5	1.1	67.2 ± 0.9
47323B-A8B1	9.7E-01	3.3E-03	170 - 480	II ^{re}	6	59.0 ± 0.5	2.7		0.67	0.78	66.6	0.008	0.4	1.341	1.073	1.249	66.3 ± 0.5	9.2	2.8	60.2 ± 0.5
47323B-A9A1	1.5E+00	4.7E-03	170 - 480	II ^{re}	6	53.2 ± 0.4	2.2		0.64	0.78	68.6	0.007	-0.5	1.397	1.207	1.158	72.7 ± 0.5	9.9	3.2	65.5 ± 0.5
47323B-A11A1	1.8E+00	4.4E-03	100 - 530	ChRM	10	66.0 ± 0.6	3.2	1.6	0.80	0.84	72.7	0.009	3.4	1.077	1.027	1.048	64.5 ± 0.7	8.3	-0.4	59.1 ± 0.6
47323B-A12A1	2.2E+00	6.5E-03	100 - 550	ChRM	9	64.1 ± 1.7	1.9	1.5	0.91	0.85	30.4	0.026	-1.9	1.134	1.083	1.047	68.7 ± 2.0	6.9	3.4	64.0 ± 1.9
47323B-T1B	3.3E-04	1.2E-06	100 - 460	II ^{re}	8	71.2 ± 3.5	4.0		0.67	0.83	11.2	0.049	4.7	1.640	1.152	1.424	54.1 ± 2.4	11.6	1.2	47.8 ± 2.1
47323B-T2B	4.6E-04	1.2E-06	100 - 460	II ^{re}	8	91.2 ± 3.5	3.0		0.71	0.83	15.5	0.038	4.3	1.621	1.162	1.395	90.4 ± 3.4	12.4	2.3	79.2 ± 3.0
47323B-T14B	1.1E-03	4.3E-06	100 - 420	II ^{re}	7	73.9 ± 1.7	2.8		0.48	0.82	17.0	0.023	5.7	1.408	1.062	1.326	72.0 ± 1.7	14.9	2.7	61.2 ± 1.4
47323B-T15B	8.9E-04	2.1E-06	100 - 460	II ^{re}	8	77.8 ± 4.0	3.9		0.41	0.83	6.7	0.051	0.5	1.484	1.099	1.351	74.5 ± 4.1	8.1	2.7	68.5 ± 3.8
47323B-T16B	8.4E-04	1.7E-06	100 - 460	II ^{re}	8	75.6 ± 5.0	1.5		0.83	0.83	10.6	0.066	1.7	1.472	1.040	1.415	64.1 ± 4.4	10.7	2.2	57.2 ± 3.9
47323B-T17B	2.8E-03	8.9E-06	100 - 370	II ^{re}	6	58.6 ± 7.9	4.9		0.24	0.79	1.4	0.135	-12.8							
47323B-T18B	8.3E-04	2.8E-06	100 - 420	II ^{re}	7	67.5 ± 2.6	4.7		0.45	0.79	9.1	0.039	2.2	1.544	1.013	1.524	56.6 ± 2.6	8.1	1.9	52.0 ± 2.4
47323B-T19B	6.7E-05	4.8E-07	100 - 420	II ^{re}	7	80.3 ± 1.4	1.8		0.77	0.82	34.5	0.018	0.4	1.432	1.140	1.256	76.9 ± 1.5	13.9	1.7	66.2 ± 1.3
47323B-T20B	2.7E-04	1.2E-06	100 - 460	II ^{re}	8	68.4 ± 1.6	0.9		0.74	0.83	25.9	0.024	5.3	1.674	1.151	1.454	62.7 ± 1.5	11.5	2.0	55.5 ± 1.3
47323B-T21B	2.1E-04	7.2E-07	100 - 420	II ^{re}	7	87.4 ± 1.3	1.7		0.63	0.82	34.1	0.015	4.5	1.730	1.039	1.666	70.6 ± 1.3	17.8	1.7	58.0 ± 1.1
47323B-T22B	2.6E-04	1.1E-06	100 - 530	ChRM	10	74.6 ± 2.6	2.2	1.0	0.90	0.88	22.5	0.035	2.1	1.425	1.096	1.301	66.3 ± 2.5	12.7	1.4	57.9 ± 2.2
47323B-T23B	1.4E-03	2.4E-06	100 - 500	II ^{re}	9	80.7 ± 2.3	1.2		0.86	0.83	25.3	0.028	0.4	1.315	1.050	1.252	81.0 ± 2.3	8.8	0.6	73.9 ± 2.1
47323B-T24B	5.2E-04	1.3E-06	100 - 420	II ^{re}	7	73.9 ± 2.1	3.3		0.47	0.80	13.4	0.028	0.6	1.675	1.079	1.552	63.5 ± 1.1	6.3	0.5	59.5 ± 1.0

Tableau 3 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités pour les fragments d'argile en haut et pour les tessons en bas

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; ChRM/II^{re} : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) ; nombre d'étapes ; Archéointensité et déviation standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Archéointensité et déviation standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (12 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et déviation standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Les fragments d'argile ont des taux d'anisotropie en général entre 5 et 10% (jusqu'à 20%), alors que les tessons peuvent avoir des anisotropies jusqu'à 73%, qui résultent d'orientations préférentielles des minéraux magnétiques lors du façonnage. L'anisotropie des tessons est dominée par la foliation et l'axe minimal d'anisotropie correspond à l'épaisseur du tesson, c'est-à-dire l'axe Z dans le repère choisi (Figure 11). Ces propriétés sont caractéristiques des céramiques (Hill *et al.*, 2007).

L'effet de la vitesse de refroidissement est également plus important pour les tessons que pour les fragments d'argile (Figure 12). Cet effet pourrait être lié à la présence d'hématite dans les tessons, comme le prouverait la comparaison des tessons 21 et 24.

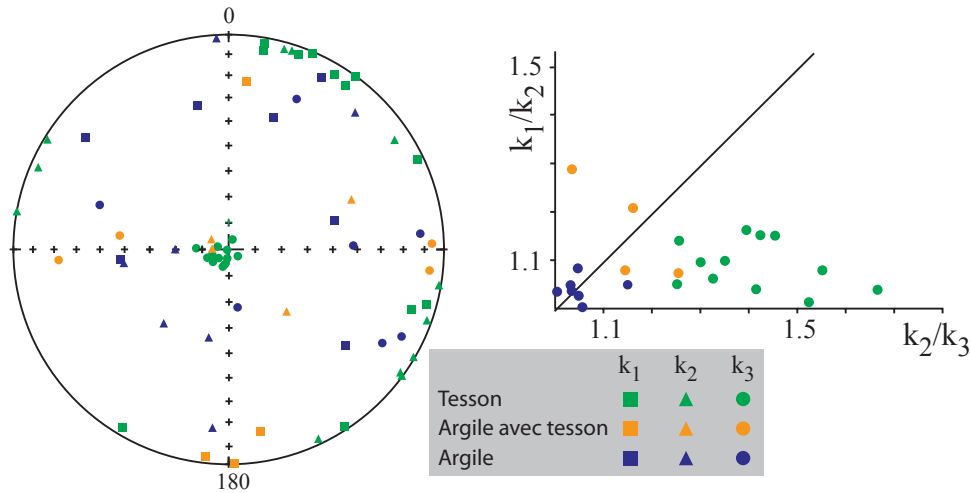


Figure 11 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

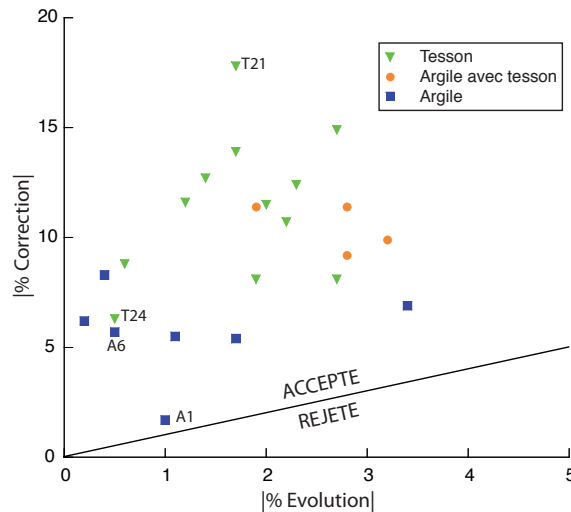


Figure 12 : Résultats de la vitesse de refroidissement. Les facteurs de correction correspondent à la différence entre les ATR acquises lors des refroidissements rapides et lents (12h).

Archéointensité moyenne

La Figure 13 compare les archéointensités moyennes pour les tessons et pour les fragments d'argile. Après application des corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement, les deux archéointensités moyennes (pondérées selon Prévôt *et al.*, 1985) deviennent cohérentes entre elles, même si la dispersion est assez importante.

Annexe 3 : Etude des sites français, Villeneuve-sur-Lot, la Dardenne-Haut

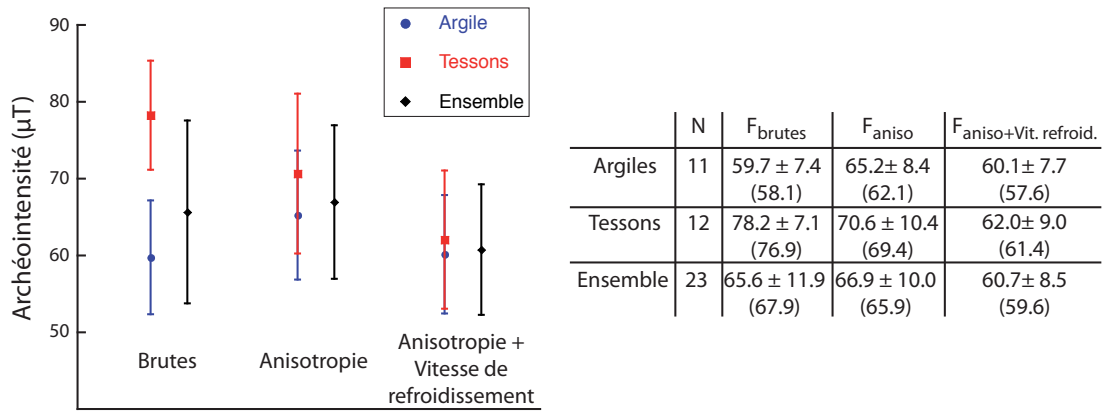


Figure 13 : A gauche, comparaison des archéointensités moyennes des fragments d'argile et des tessons. A droite, archéointensités moyennes avec leur déviation standard sans correction, avec correction d'anisotropie et avec corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement. N est le nombre d'échantillons. Les moyennes sont pondérées par le facteur de qualité q et le nombre d'étapes n (Prévôt et al., 1985). Les moyennes non pondérées sont indiquées entre parenthèses.

Vix, sondage 2009 Mont-Lassois-Est

Code archéomagnétique: 21711A

Contexte archéologique

Le Mont-Lassois, sur la commune de Vix (Lat : 47.911°N ; Long : 4.533°E), est un site-modèle du concept des résidences princières du Hallstatt final. C'est une butte témoin, dominant la vallée de la Seine, à une dizaine de kilomètres au nord de Châtillon-sur-Seine. Le site est particulièrement connu pour ses nécropoles, situées dans la plaine au sud du Mont-Lassois, comme la fameuse tombe au mobilier exceptionnel (Rolley (dir.), 2003). Si les fouilles anciennes (de René Joffroy entre 1946 et 1960, puis de Bruno Chaume et Walter Reinhardt de 1991 à 1993) se focalisaient sur ce secteur, un PCR (actuellement dirigé par Stefan Wirth et Bruno Chaume de l'UMR5594 Artheis) a été mis en place en 2001 pour compléter la documentation des autres versants du plateau, du plateau lui-même. Les travaux de ce PCR (Chaume et Wirth, 2010) ont mis en évidence sur le plateau (le Mont Saint Marcel plus précisément) des bâtiments absidiaux monumentaux et sur les versants plusieurs fortifications du Hallstatt final, mais aussi du Bronze final (Chaume & Mordant, 2011).

D'autres travaux portent sur l'environnement du Mont-Lassois, comme le travail de doctorat de Frédéric Cruz (Université de Bourgogne, sous la direction de Claude Mordant et Christophe Petit), qui s'attache à la dynamique sédimentaire de la plaine alluviale de la Seine et à ses relations avec l'anthropisation du secteur à l'Age du Fer. Lors d'un sondage sur le flanc oriental du Mont-Lassois, entre la voie ferrée et la Seine, il a découvert un nouveau rempart (non localisé auparavant) et un four (Cruz *et al.*, 2009). La stratigraphie indique que le four a fonctionné après la construction du rempart.

Seul le fond de ce four, qui a été partiellement fouillé, est conservé. Le four (1m de diamètre environ) est creusé dans le substrat local très argileux (Figure 1). Le fond présente une rubéfaction sur une épaisseur de 5 à 6 cm. La fonction de ce four n'a pas pu être identifiée : il s'agit peut-être d'un four domestique (four à pain) ou d'un four de potier (Cruz, comm. pers.).



Figure 1 : Cliché général du four du sondage est du Mont-Lassois (vu du nord) et cliché de la sole en cours de prélèvement (vue du sud)

Datation de la structure

Le mobilier céramique (étudié par David Bardel) retrouvé dans le comblement du four donne une datation au Hallstatt D2/D3, c'est-à-dire entre 530 et 460 av. J.-C. environ. Le calage chronologique du four est assuré par une datation radiocarbone, retrouvé juste au-dessus du fond du four. L'analyse a été réalisée au laboratoire de Poznan (échantillon Poz-35457). La calibration fournit plusieurs intervalles de date à 95.4% de confiance **[-749 ; -687]**, **[-666 ; -643]**, **[-592 ; -577]** et **[-568 ; -393]** av. J.-C. (Figure 2). Le dernier intervalle de date est le plus probable (76.9% de confiance), d'autant plus qu'il correspond à la datation chrono-typologique. Mais une datation plus ancienne n'est pas à exclure. L'exemple de ce four illustre l'intérêt d'utiliser la densité de probabilité de date pour le calage chronologique.

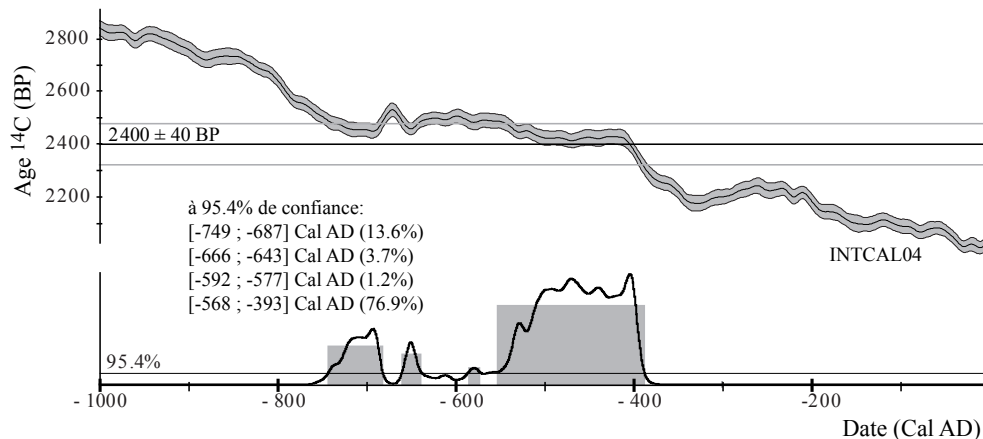


Figure 2 : Datation radiocarbone du charbon de bois prélevé sur le fond du four. La calibration de l'âge radiocarbone est réalisée avec la courbe INTCAL04 (Reimer et al., 2004) sur le logiciel RenddateModel.

Prélèvement archéomagnétique

Dix-sept prélèvements ont été réalisés sur le fond du four par Gwenaël Hervé et Frédéric Cruz le 6 novembre 2009 (Figure 1). En l'absence de soleil, les prélèvements n'ont été orientés qu'à la boussole. Au laboratoire, les prélèvements très fragiles ont été découpés après induration en cubes de 1.8 cm de côté. La numérotation des spécimens est du type 1A11 (Cf. Annexe 2).

Méthodes d'analyse

Les aimantations ont été mesurées au magnétomètre cryogénique 2G. La susceptibilité en champ faible a été mesurée au susceptibilimètre Bartington MS2. Huit fragments d'échantillons ont été soumis à des analyses d'évolution de la susceptibilité en fonction de la température sous air au KLY3-CS3 : la susceptibilité a été mesurée au cours de la chauffe jusqu'à 400 puis 600°C et lors du refroidissement. Une acquisition d'aimantation rémanente isotherme (ARI) a été menée pour quatre échantillons.

Vingt échantillons ont été désaimantés thermiquement. Les chauffes de 100 à 555°C ont été effectuées sur le four MMTD. Quinze échantillons (un de chaque prélèvement sauf les numéros 2 et 16) ont été désaimantés par champ alternatif sur le magnétomètre cryogénique. Le tenseur d'anisotropie d'aimantation thermorémanente a été déterminé pour les échantillons désaimantés thermiquement à 400°C. Le protocole de Thellier-Thellier dans sa version classique (Thellier et Thellier, 1959) a été appliqué à douze échantillons dans les fours « maison » avec un

champ laboratoire de 60 ou 70 μT appliqué selon l'axe Y des spécimens. Dix chaufes ont été réalisées entre 100 et 565°C. L'effet de vitesse de refroidissement a été contrôlé à 530 ou 565°C. Le taux de refroidissement lent a été choisi à 0,6°C/min (soit un refroidissement sur environ 12 heures), au vu des dimensions du four.

Minéralogie magnétique

L'intensité de l'aimantation rémanente naturelle (ARN) varie entre 0.1 et 2 A/m et la susceptibilité en champ faible (entre 50 et 740 10⁻⁵SI), ce qui correspond à des rapports de Koenigsberger assez homogènes entre 1.5 et 4.5 (Figure 2a). Ces rapports assez faibles indiquent une certaine instabilité des phases ferromagnétiques due à une cuisson modérée de l'argile.

L'aimantation est débloquée à des températures et des champs homogènes à l'échelle de la structure (Figure 2b et c). Les Median Demagnetizing Field (MDF) entre 12 et 13 mT marquent la prédominance d'une phase de faible coercivité. Les courbes thermomagnétiques (Figure 3) indiquent que cette phase ferromagnétique est une magnétite pauvre en titane (Les points de Curie sont compris entre 560 et 580°C). Les acquisitions d'ARI (Figure 4) confirment cette observation avec des aimantations rémanentes à saturation Jrs entre 12 et 36 A/m et des champs coercitifs rémanents Hcr entre 17 et 27 mT. La saturation des courbes d'acquisition d'ARI démontre l'absence d'une phase ferromagnétique de forte coercivité (comme l'hématite) dont la présence n'est en général pas détectée par les courbes thermomagnétiques.

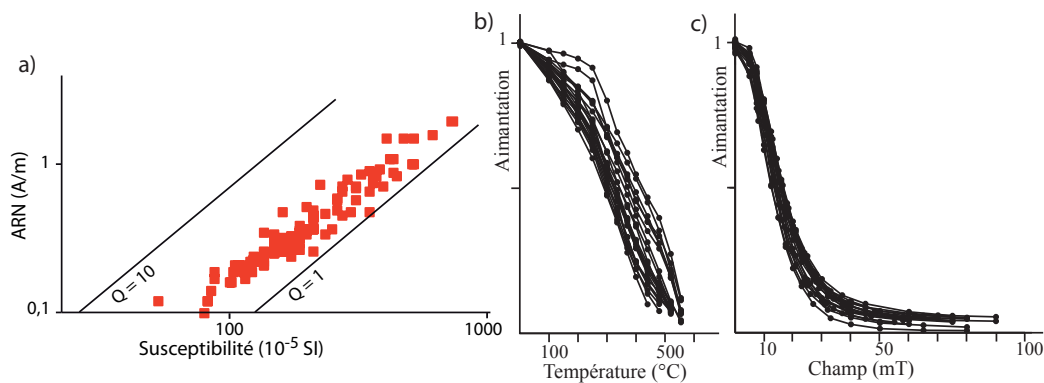


Figure 2 : (a) distribution de l'intensité de l'ARN en fonction de la susceptibilité en champ faible de l'ensemble des spécimens du four de Vix. Deux isolignes des rapports de Koenigsberger sont aussi représentées. (b) diminution de l'aimantation en fonction de la température pour l'ensemble des spécimens désaimantés thermiquement. (c) diminution de l'aimantation en fonction du champ pour l'ensemble des spécimens désaimantés par champ alternatif.

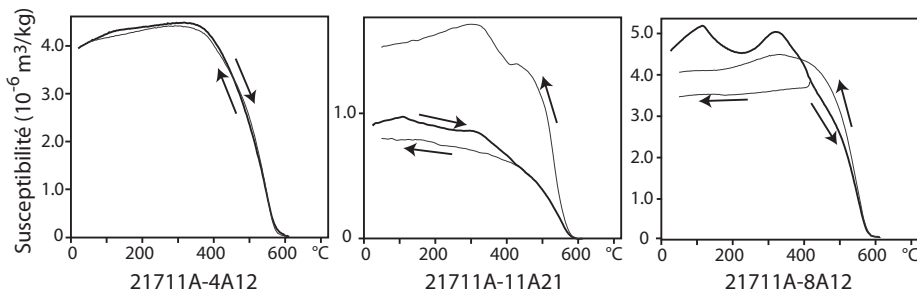


Figure 3 : Courbes thermomagnétiques caractéristiques du four de Vix. La courbe noire marque l'évolution de la susceptibilité au cours de la chauffe et la courbe(s) grise au cours du refroidissement.

tel-00738129, version 1 - 3 Oct 2012

Seules deux courbes thermomagnétiques (prélèvements 4 et 7) de chauffe et de refroidissement sont réversibles après une chauffe à 600°C. Pour trois prélèvements (14 et à moindre mesure 11 et 12), les courbes sont réversibles (ou presque) après une chauffe à 400-450°C. Enfin, les prélèvements 3, 5 et 8 montrent d'importantes évolutions à faible température.

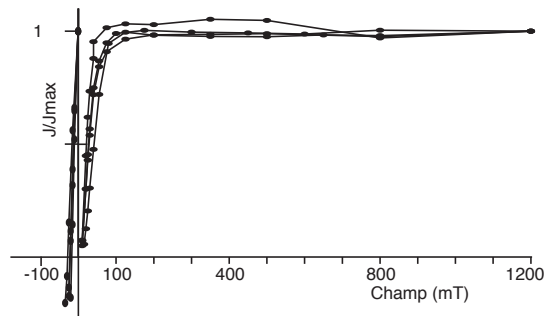


Figure 4 : Aimantation Rémanente Isotherme, courbes d'acquisition et de « backfield » pour 4 échantillons de Vix (3A12, 5B22, 11A11, 14B12).

Désaimantation thermique et par champ alternatif

Les directions d'aimantation ont été analysées par analyse en composante principale (Kirschvink, 1980). 33 échantillons (sur 35) portent une seule composante d'aimantation, acquise au moment de la dernière chauffe (Figure 5). Pour les deux autres échantillons, la direction utilisée est la direction de la composante secondaire d'aimantation. Les directions d'aimantation sont récapitulées dans le tableau 1.

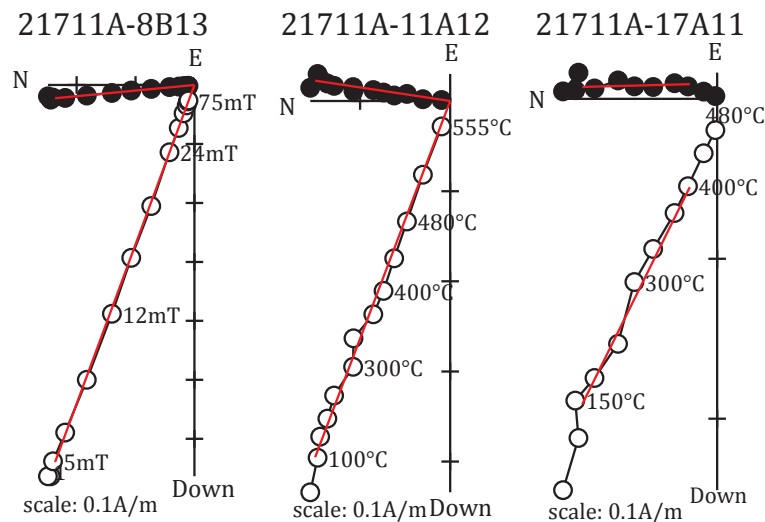


Figure 5 : Résultats de désaimantation par champ alternatif (à gauche) et thermique (au centre et à droite) de spécimens représentatifs. La plupart des spécimens portent une seule composante d'aimantation. Seuls deux spécimens, comme celui de droite portent deux composantes d'aimantation. Les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical). Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Annexe 3 : Etude des sites français, Vix, Sondage 2009 Mont-Lassois-Est

Nom	ARN (A/m)	χ (10 ⁻⁵ SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	ChRM/ II ^e	n	D(°)	I(°)	Mad (°)	Dérive (%)	Anisotropie					
										K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	
21711A-1A11	2,2E-01	1,4E+02	Th	100 - 520	ChRM	11	0.2	64.4	1.7	0.0	1.137	1.022	1.112	8.2	65.0
21711A-2A11	4,8E-01	1,6E+02	Th	150 - 555	ChRM	11	26.1	64.5	0.9	-10.6					
21711A-2A12	7,3E-01	2,3E+02	AF	5 - 60	ChRM	10	31.3	73.1	0.4	-0.5	1.134	1.039	1.092	30.1	69.8
21711A-3A11	8,6E-01	3,3E+02	AF	5 - 80	ChRM	13	11.9	76.4	0.2	-1.1	1.070	1.031	1.037	9.1	74.7
21711A-3A21	2,9E-01	1,5E+02	Th	200 - 520	ChRM	9	4.8	68.5	1.4	-12.4					
21711A-3A23	6,0E-01	2,6E+02	AF	5 - 65	ChRM	12	345.7	66.7	0.3	0.7	1.049	1.031	1.017	343.9	66.8
21711A-3A33	3,7E-01	2,0E+02	Th	200 - 520	ChRM	9	358.9	66.2	1.1	-7.1	1.024	1.011	1.013	359.0	66.6
21711A-4A11	5,8E-01	2,6E+02	Th	200 - 555	ChRM	10	358.7	67.0	1.8	-6.5	1.045	1.030	1.014	0.0	67.3
21711A-4B12	3,9E-01	1,9E+02	AF	5 - 80	ChRM	12	347.8	67.0	0.3	-2.4	1.099	1.075	1.022	354.1	67.6
21711A-5A11	1,0E+00	5,1E+02	Th	150 - 520	ChRM	10	351.4	66.7	1.1	-10.9					
21711A-5B11	7,1E-01	4,0E+02	AF	5 - 90	ChRM	14	359.9	69.0	0.7	-1.2	1.069	1.029	1.039	356.7	68.5
21711A-6A12	2,4E-01	1,4E+02	Th	200 - 480	II ^e	8	1.7	66.0	5.5	-7.2	1.030	1.009	1.022	1.4	65.8
21711A-7A12	9,1E-01	3,5E+02	Th	300 - 555	ChRM	8	13.0	69.1	1.4	-4.2	1.095	1.042	1.050	6.2	69.1
21711A-7B11	7,0E-01	3,1E+02	AF	5 - 75	ChRM	14	351.0	66.8	0.4	-1.3	1.075	1.050	1.024	347.3	66.1
21711A-8A12	8,4E-01	3,8E+02	Th	250 - 555	ChRM	9	359.7	61.9	1.4	-3.0	1.049	1.012	1.037	0.1	61.2
21711A-8B13	7,1E-01	2,8E+02	AF	5 - 90	ChRM	12	354.6	69.6	0.3	-0.6	1.061	1.019	1.041	355.1	71.0
21711A-9A12	3,5E-01	1,9E+02	Th	250 - 520	ChRM	8	358.2	56.9	1.2	-3.5	1.048	1.008	1.039	0.3	57.5
21711A-9A14	3,2E-01	1,8E+02	AF	5 - 58	ChRM	12	353.2	58.9	0.6	1.7	1.039	1.035	1.004	353.2	59.1
21711A-10A22	3,7E-01	2,0E+02	AF	5 - 55	ChRM	12	1.6	71.9	0.2	3.7	1.075	1.027	1.046	357.3	71.5
21711A-10A13	3,7E-01	2,1E+02	Th	150 - 555	ChRM	11	353.8	58.9	1.1	-4.6	1.044	1.007	1.036	353.1	60.0
21711A-11A12	4,6E-01	2,1E+02	Th	150 - 555	ChRM	11	7.4	69.0	1.0	-5.8	1.075	1.022	1.052	10.3	68.0
21711A-11A14	3,4E-01	2,4E+02	AF	10 - 70	ChRM	12	14.0	63.2	0.4	-0.3	1.070	1.033	1.036	10.8	62.4
21711A-12A21	1,7E-01	1,2E+02	Th	200 - 440	ChRM	7	6.6	58.4	1.2	-5.3	1.053	1.011	1.042	8.4	57.7
21711A-12B11	1,6E-01	1,0E+02	AF	10 - 75	ChRM	11	9.5	56.2	0.5	-6.7	1.059	1.012	1.047	7.9	55.4
21711A-13A11	2,6E-01	1,6E+02	Th	150 - 555	ChRM	11	9.8	66.2	1.4	-3.3	1.041	1.010	1.031	11.0	67.0
21711A-13A13	1,2E-01	5,3E+01	AF	7.5 - 80	ChRM	13	354.1	63.3	0.4	4.5	1.066	1.039	1.025	354.3	62.6
21711A-14A11	1,4E-01	8,5E+01	Th	150 - 520	ChRM	10	6.5	62.5	1.5	-2.3	1.081	1.040	1.040	3.9	64.9
21711A-14B11	3,7E-01	2,1E+02	AF	7.5 - 58	ChRM	12	358.3	68.3	0.2	-0.9	1.075	1.065	1.009	3.5	68.8
21711A-15A22	2,1E-01	1,2E+02	Th	150 - 480	ChRM	9	4.8	64.8	1.4	-2.0	1.058	1.016	1.042	6.2	63.9
21711A-15A14	2,9E-01	1,5E+02	Th	150 - 520	ChRM	10	13.0	57.6	1.6	-1.5	1.033	1.013	1.020	12.3	57.9
21711A-15A15	2,2E-01	1,3E+02	AF	10 - 60	ChRM	10	4.5	66.0	0.7	-1.0	1.076	1.025	1.050	6.2	64.4
21711A-16A12	2,8E-01	1,8E+02	AF	10 - 75	ChRM	13	4.8	64.6	0.2	-0.6	1.062	1.040	1.021	7.5	64.6
21711A-16A22	2,6E-01	1,6E+02	Th	200 - 520	ChRM	9	356.0	60.4	2.0	-3.4	1.022	1.014	1.008	355.7	61.0
21711A-16A14	2,1E-01	1,4E+02	Th	150 - 520	ChRM	10	346.3	61.7	1.2	1.1	1.098	1.046	1.050	344.4	63.3
21711A-17A11	2,6E-01	1,4E+02	Th	150 - 400	II ^e	7	2.5	63.6	3.4	-18.2					

Tableau 1 : Résultats d'archéodirections (désaimantation thermique et par champ alternatif)

Nom de l'échantillon ; déclinaison locale, calculée à partir de l'angle entre les orientations à la boussole et à l'équerre solaire ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ou désaimantation par champ alternatif (AF) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction ; ChRM/II^e : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^e) ; nombre d'étapes ; Déclinaison ; Inclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

Correction d'anisotropie

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 2 et 13% (Tableau 1). L'échantillon 5A11 présente un taux supérieur de 21%. A l'échelle de la structure, les échantillons ne présente pas de fabrique commune (Figure 6). De plus, comme la correction d'anisotropie disperse significativement les archéodirections, la correction n'est pas appliquée (Tableau 2).

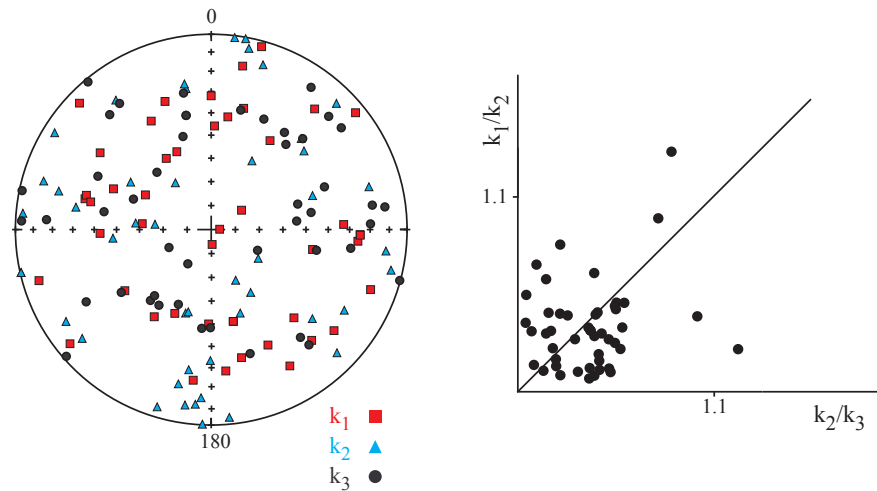


Figure 6 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn.

Protocole de Thellier-Thellier

Les douze échantillons, sélectionnés par leur forte intensité d'aimantation rémanente naturelle, évoluent minéralogiquement généralement à partir de 450°C, voire 350°C (échantillon 16A13). Ces acquisitions d'aimantation rémanente chimique sont plus détectées par la déviation de la direction de l'ARN dans la direction du champ du laboratoire que par les pTRM checks, en général positifs (la différence limite entre les ATR acquises a été fixée à 10% de l'ATR acquise). L'absence de variation de la direction d'ARN est le critère principal pour déterminer la composante d'aimantation.

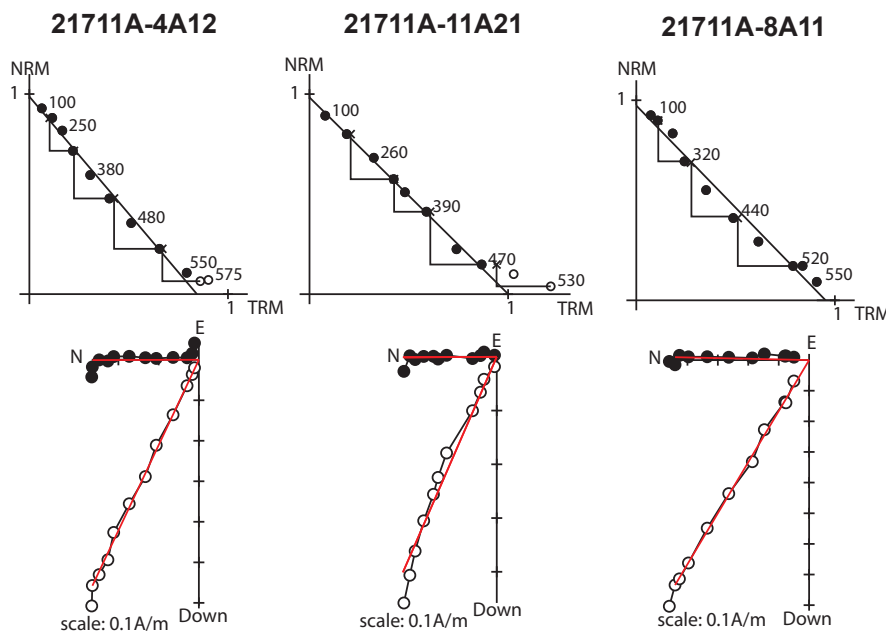


Figure 7 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Les spécimens à gauche et au milieu respectent les critères définis. L'échantillon à droite est rejeté car le diagramme ARN-ATR présente une forme légèrement convexe. Pour les diagrammes de Zijderveld, les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Dans cet intervalle de température, les diagrammes ARN-ATR présentent une forme généralement linéaire (8 échantillons, Figure 7 à gauche et au milieu) ou légèrement convexe (Figure 7 à droite). Seule la première catégorie est acceptée, car les échantillons respectent les critères définis ($f > 0.5$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les résultats d'archéointensité sont présentés Tableau 2. Aucune relation systématique n'est perceptible entre le rejet ou l'acceptation des échantillons et la réversibilité des courbes thermomagnétiques. Cette différence résulte probablement de l'hétérogénéité de la minéralogie magnétique.

Les archéointensités n'ont pas été corrigées de l'anisotropie, suite aux résultats de la désaimantation thermique et par champ alternatif. L'effet d'anisotropie a cependant été testé et provoque une dispersion des archéointensités. La correction de vitesse de refroidissement est appliquée à dix échantillons (Tableau 2). La différence entre l'ATR acquise rapidement et sur 12 heures est comprise entre 0 et 10%.

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	n	D (°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Vitesse de refroidissement		
														%corr	%evol	F _{a+c} \pm std (μ T)
21711A-2A13	7,9E-01	2,9E+02	100 - 530	10	12.2	73.6	65.7 \pm 2.7	2.5	0.3	0.86	0.87	18.3	0.041	9.0	-0.9	67.2 \pm 2.5
21711A-3A22	1,5E+00	4,8E+02	100 - 520	8	350.7	770.6	73.5 \pm 4.3	1.7	1.0	0.72	0.82	10.1	0.059	9.5	7.4	71.1 \pm 3.9
21711A-4A12	6,6E-01	2,8E+02	100 - 550	9	359.8	64.6	70.9 \pm 2.8	2.4	1.3	0.85	0.86	18.5	0.044	6.0	7.9	70.9 \pm 2.8
21711A-5B12	1,0E+00	5,3E+02	100 - 480	7	1.9	56.9	71.2 \pm 2.9	2.2	1.2	0.74	0.82	14.7	0.041	2.7	2.4	70.1 \pm 2.8
21711A-7A13	8,4E-01	3,6E+02	170 - 480	6	1.5	65.8	71.6 \pm 4.1	2.7	2.8	0.56	0.78	7.7	0.057	2.8	2.5	72.4 \pm 4.0
21711A-8A11	9,3E-01	3,9E+02	100 - 480	7	1.0	59.0	69.3 \pm 3.5	2.9	1.9	0.64	0.80	10.1	0.051	2.8	1.7	71.7 \pm 3.4
21711A-9A21	3,4E-01	1,5E+02	100 - 440	7	4.3	54.6	73.2 \pm 2.6	2.5	2.7	0.73	0.82	16.8	0.035	7.6	-0.7	73.3 \pm 2.4
21711A-10A11	4,0E-01	2,1E+02	100 - 470	8	357.9	71.1	56.4 \pm 2.0	3.6	1.0	0.74	0.84	17.8	0.035	9.0	-0.8	55.4 \pm 1.8
21711A-11A21	4,9E-01	2,6E+02	100 - 470	8	359.7	66.3	62.0 \pm 1.6	3.6	2.1	0.77	0.84	25.9	0.025	7.9	-0.6	63.3 \pm 1.5
21711A-14A13	4,6E-01	2,1E+02	100 - 440	6	357.0	67.5	65.1 \pm 1.5	4.9	1.6	0.61	0.76	20.1	0.023	-0.1	1.3	65.1 \pm 1.5
21711A-15A11	3,6E-01	2,0E+02	100 - 390	6	9.7	67.2	66.4 \pm 1.5	2.5	2.3	0.49	0.78	16.8	0.024	6.7	-1.1	65.9 \pm 1.4
21711A-16A13	3,7E-01	2,0E+02	100 - 350	5	354.8	68.9	81.2 \pm 4.1	4.2	4.5	0.47	0.72	6.8	0.052	6.6	-0.8	82.1 \pm 3.8

Tableau 2 : Résultats d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; températures entre lesquelles est déterminée l'archéointensité ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction de vitesse de refroidissement

Archéodirection et archéointensité moyennes

La direction moyenne est calculée par la statistique de Fisher uniquement à partir des directions d'aimantation déterminées par désaimantation thermique et par champ alternatif. La Figure 8 montre le bon regroupement (facteur k égal à 791) des directions d'aimantation moyennes par prélèvement. Comme leur direction d'aimantation est hors-tendance, les prélèvements 2, 9 et 12 ne sont pas pris en compte. L'archéointensité moyenne, seulement corrigée des effets de la vitesse de refroidissement, est calculée à partir des 8 échantillons acceptés et pondérée selon la méthode de Prévôt. Les résultats sont récapitulés sur le Tableau 3.

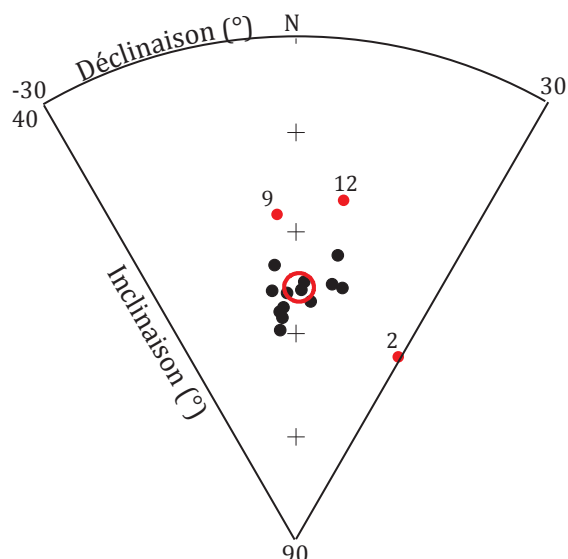


Figure 8 : Regroupement des directions d'aimantation (non corrigées de l'anisotropie) du four du sondage est 2009 du Mont-Lassois. Les directions des prélèvements 2,9 et 12 sont hors-tendance.

Moyennes sans correction

$D = 0.5^\circ$ $I = 65.8^\circ$ $N=14, n=29$ $k=791$ $\alpha_{95} = 1.4^\circ$
 $F = 70.7 \pm 5.2 \mu T$ $N=8, n=8$

Moyennes avec correction d'anisotropie (non appliquée)

$D = 0.9^\circ$ $I = 66.2^\circ$ $N=13, n=26$ $k=693$ $\alpha_{95} = 1.6^\circ$
 $F = 70.1 \pm 5.3 \mu T$ $N=8, n=8$

Moyennes avec correction de vitesse de refroidissement

$F = 66.4 \pm 5.5 \mu T$ $N=8, n=8$

A Paris (VGP et VDM)

$D_p = 0.9 \pm 3.6^\circ$ $I_p = 66.8 \pm 1.4^\circ$ $F_p = 66.6 \pm 5.5 \mu T$
 $VDM = 10.5 \cdot 10^{22} A.m^2$ $VADM = 10.5 \cdot 10^{22} A.m^2$

Tableau 3 : Archéodirection et archéointensité moyennes du four au sondage 2009 à l'est du Mont-Lassois.

Bibliographie

Chaume, B. & Wirth, S., (dir.), 2010. *Projet collectif de recherche, rapport 2010, Vix et son environnement*, Dijon, Université de Bourgogne, 216 p.

Chaume, B. & Mordant, C., (dir.) 2011. *Le complexe aristocratique de Vix – Nouvelles recherches sur l'habitat, le système de fortification et l'environnement du mont Lassois*, 2 vol., 867 p.

Cruz, F., Petit, C. & Bardel, D., 2009. Sondages archéologiques à proximité du site de Vix, in Chaume, B. & Wirth, S., (dir.), *Projet collectif de recherche, rapport 2009, Vix et son environnement*, Dijon, Université de Bourgogne, p 223-245

Rolley, C. (dir.), 2003. *La tombe princière de Vix*, Picard et Société des amis du musée de Châtillonnais, Paris, 2 volumes

Bibliographie de l'annexe 3

- Avellan, C., 2009. *La cuisine à Bibracte : éléments de réflexion sur les pratiques culinaires gauloises*, Mémoire de fin d'études de l'université de Lausanne, 149 p.
- Bernard, V., 1993. *Approche dendrochronologique des ponts celtiques de Houdancourt « les Esquillons » (Oise)*, Mémoire de diplôme de l'EHESS, Toulouse, 137p.
- Bouchet, M., Surgent, M. & Hervé, G., 2009. Le four de potier gallo-romain de Chateaumeillant /Mediolanum (Cher). Etudes céramique et archéomagnétique., *SFECAG, Actes du congrès de Colmar (21-24 mai 2009)*, 441-452
- Buchsenschutz, O., Guillaumet, J.P. & Ralston, I., 1999. *Les remparts de Bibracte, recherches récentes sur la porte du Rebout et le tracé des fortifications*, Bibracte, 3, Centre archéologique européen, Glux-en-Glenne, 320 p.
- Carozza, L., 2010. *L'âge du Bronze de la grotte des Fraux, Saint-Martin-de-Fressengeas (Dordogne)*, Rapport de fouille programmée triennale 2008-2010, SRA Aquitaine, 226 p.
- Carrara, S., Monin, M., Bertrand, E. & Mège, C., 2009. Les habitats de la fin du VI^{ème} et du V^{ème} s. av. J.-C., rue du Mont d'Or à Lyon-Vaise (Rhône), *Bulletin de l'association française pour l'étude de l'âge du Fer*, 27, 13-18
- Châtelet, M. (dir.), 2006. *Marelenheim « Maison Apprederis » (Bas-Rhin). Du premier âge du Fer à l'époque médiévale : à l'origine du village actuel*, Document Final de Synthèse, INRAP Grand Est Nord, Strasbourg
- Chaume, B. & Wirth, S., (dir.), 2010. *Projet collectif de recherche, rapport 2010, Vix et son environnement*, Dijon, Université de Bourgogne, 216 p.
- Chaume, B. & Mordant, C., (dir.) 2011. Le complexe aristocratique de Vix – Nouvelles recherches sur l'habitat, le système de fortification et l'environnement du mont Lassois, 2 vol., 867 p.
- Conche, F. (dir.), 1998. *Marseille, 9 rue Jean-François Leca, Document final de synthèse*, SRA Provence Alpes Côte d'Azur, AFAN, 2 volumes, 533 p.
- Conche, F., 2001. Les fouilles du 9 rue J.-F. Leca, in Bouiron, M., Tréziny, H. (dir.), *Marseille, trames et paysages urbains de Gyptis au roi René*, Collection Etudes Massaliètes, Edisud, centre Camille Julian, Marseille, p. 131-136
- Coulon, L. & Dupont, F., 2011. Un four à fosse d'accès du Néolithique moyen I (?) à Chartres (28), *Bulletin de la Société Préhistorique Française, Actualités scientifiques*, 108(2), 361-363
- Coulon, L., Dupont, F., Hervé, G., Lanos, P. & Salavert, A., 2011. Le four Néolithique à fosse d'accès des « Petits Clos » à Chartres (28) : une attribution chrono-culturelle complexe, Colloque Internéo 7 et 8 octobre 2011, Tours, communication par poster
- Cruz, F., Petit, C. & Bardel, D., 2009. Sondages archéologiques à proximité du site de Vix, in Chaume, B. & Wirth, S., (dir.), *Projet collectif de recherche, rapport 2009, Vix et son environnement*, Dijon, Université de Bourgogne, p 223-245
- Deberge, Y., Cabezuelo, U., Cabanis, M., Foucras, S., Garcia, M., Gruel, K., Loughton, M., Blondel, F. & Caillat, P., 2009. *L'oppidum arverne de Gondole (Le Cendre, Puy-de-Dôme). Topographie de l'occupation protohistorique (La Tène D2) et fouille du quartier artisanal : un premier bilan*, *Revue archéologique du Centre de la France*, 48, 33-130

Annexe 3 : Etude des sites français, Bibliographie

- Desfossés, Y. & Weller, O., 1999. *Sorrus, la »Pâture à vaches » et la »Bruyère »*, Document Final de Synthèse, SRA Nord Pas-de-Calais, 121 p.
- Dhenequin, L., Guillaumet, J.P. & Szabó, M. dir., 2008. *L'oppidum de Bibracte (Mont-Beuvray, France). Bilan de 10 années de recherche (1996-2005)*, *Acta Archaeologica Hungarica*, 59
- Dietler, M., Kohn, A., Moya i Gara, A. & Rivalan, A., 2008a. Les maisons à cour des III^{ème}-II^{ème} siècles av. J.-C. à Lattes, émergence d'une différenciation dans l'habitat indigène, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 111-122
- Dietler, M., Janin, T., Lopez, J.B. & Py, M., 2008b. Conclusion, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 201-209
- Durost, S., Houbrechts, D. & Lambert, G.N., 2008. Dendrochronologie d'éléments en bois carbonisé mis au jour sur le site de la Côte Chaudron à Bibracte, Rapport d'analyses, 9 p.
- Gomez, E., 2002. Aspects de la colonisation d'Agde et de l'exploitation de son territoire : le site de Saint-Michel du Bagnas. Mémoire de DEA, Université d'Aix en Provence, France
- Hermay, A., Hesnard, A. & Tréziny, H., 1999. *Marseille grecque, la cité phocéenne (600-49 av. J.-C.)*, Hauts-lieux de l'histoire, Errance, Paris, 181 p.
- Hesnard, A., Moliner, M., Conche, F. & Bouiron, M., 1999. *Parcours de villes, Marseille, 10 ans d'archéologie, 2600 ans d'histoire*, Musées de Marseille, Edisud, Marseille, 183 p.
- Kirschvink, J.L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 62, 699-718
- Krausz, S., 2009. L'oppidum de Châteaumeillant-Mediolanum (Cher), in *L'âge du Fer dans la boucle de la Loire. Les Gaulois entrent dans la ville*. Actes du XXXII^e colloque de l'AFEAF, Bourges, 1-4 mai 2008, RACF 35e suppl.
- Lamboglia, N., 1952. *Per una classificazione preliminare della ceramica campana*, Atti del I Congresso di studi liguri, Bordighera, 139-206
- Lebeaupin, D. & Séjalon, P., 2008. *Lattara et l'Etrurie, nouvelles données sur l'installation d'un comptoir vers 500 av. J.-C.*, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 45-64
- Luginbühl, T., Avellan, C., Barrier, S. & Hoznour, J., 2009. La céramologie à Bibracte : méthodes de base et nouvelles approches, in *Festschrift für Sabine Rieckhoff zum 65. Geburtstag, Teil 2*, Universitätsforschungen zum prähistorischen archäologie, ARTeFACT, Verlag Dr Rudolf Habelt GmbH, Bonn, 499-512
- Marichal, R. & Rébé, I., 2003. *Les origines de Ruscino (Château-Roussillon, Perpignan, Pyrénées-Orientales) du Néolithique au premier âge du Fer*, Monographies d'archéologie méditerranéenne, 16, Lattes, 300 p.
- Masse, A., (dir.), Tachet, N., Chombart, J., Delage, M. & Meurisse-Fort, M., 2011. *Gouy-Saint-André « le Rossignol », Rapport final d'opération de fouille archéologique*, Dainville, Centre départemental d'archéologie, Pas-de-Calais, 232 p.
- Maza, G., Silvino, T. & Hanotte, A., 2011. *Les origines de la colonie de Valence (Drôme) : définition des faciès céramiques de la seconde moitié du I^{er} siècle avant J.-C. à partir de la fouille de l'angle des rues d'Arménie et Bouffier*, SFECAG, Actes du Congrès d'Arles 2011, 467-495

Annexe 3 : Etude des sites français, Bibliographie

Moya i Garra, A. & Munos, S., 2008. Recherche sur l'habitat récent de Lattes, une maison à cour centrale du III^{ème} siècle av. n.è. : la zone 54, *Lattes 2008, Rapport intermédiaire 2008*, UFRAL, Lattes, 115-152

Olive, C., Ugolini, D., Ratsimba, A., Jandot, C. & Wiégant, J.P., 2010. Un four de potier de l'Age du Fer pour la cuisson de *pithoi* à Béziers (Hérault), production, diffusion et fonction du *pithos* dans le Midi (VI^e-IV^e s. av. J.-C.), *Gallia*, 66, 2, 29-57

Ott, M. & Pancin, S., 2007. *Mas de Fourques II à Lunel (Hérault), Rapport final d'opération de fouille archéologique*, SRA Languedoc-Roussillon, Montpellier, 158 p.

Paunier, D. & Luginbühl, T., 2004. *Le site de la maison 1 du Parc aux chevaux (PC1), des origines de l'oppidum au règne de Tibère*, Bibracte, 3, Centre archéologique européen, Glux-en-Glenne, 472 p.

Prilaux, G., 2000. *La production du sel à l'Age du Fer, contribution à l'établissement d'une typologie à partir des exemples de l'autoroute A16*, Eds Monique Mergoïl, AFAN, Coll. Protohistoire européenne, vol 5, 109 p.

Py (Dir), 1993. *DICOCER : dictionnaire des céramiques antiques (VII^{ème} av. n.è. – VII^{ème} de n.è.) en Méditerranée nord-occidentale (Provence, Languedoc, Ampurdan)*, Lattes, éd. ARALO (coll. *Lattara*, 6), 624 p

Py, M., 1997. *Syslat 3.1, système d'information archéologique, manuel de référence*, Lattes, éd. ARALO (coll. *Lattara*, 10), 380 p.

Py, M., 2008. Nouvelles données, nouvelles questions sur l'urbanisme et la société de *Lattara* protohistorique, *Gallia, Dossier Lattara/Lattes (Hérault), nouvelles données, nouveaux acquis sur une ville portuaire protohistorique et romaine*, 65, p. 123-129

Py, M. 2009. *Lattara, Lattes (Hérault), comptoir méditerranéen entre Etrusques, Grecs et Romains*, Errance, Paris, 348 p.

Rancoule, G., 1970. Ateliers de potiers et céramique indigène au 1^{er} siècle avant J.-C., *Revue archéologique de Narbonnaise*, 3, 33-70

Rolley, C. (dir.), 2003. *La tombe princière de Vix*, Picard et Société des amis du musée de Châtillonais, Paris, 2 volumes

Rothé, M.P. & Tréziny, H., 2005. *Marseille et ses alentours*, Carte archéologique de la Gaule 13/3, Académie des inscriptions et des belles-lettres, p. 468-483

Roux, J.-C. & Raux, S., 1996. Les foyers domestiques dans l'habitat lattois du II^e Age du Fer (IV^e-I^{er} s. av. n.è.), *Lattara*, 9, 401-432

Sapin, C., Baylé, M., Büttner, S., Guibert, P., Blain, S., Lanos, P., Chauvin, A., Dufresne, P. & Oberlin, C., 2008. Archéologie du bâti et archéométrie au Mont-Saint-Michel, nouvelles approches de Notre-Dame-sous-Terre, *Archéologie Médiévale*, 38, 71-122

Séjalon, P., 1998. Un atelier de potiers gaulois des années 150/50 av. n.è. à Bouriège (Aude), *Revue archéologique de Narbonnaise*, 31, 1-11

Silvino, T., (dir.), 2009. *Valence, angle rue-d'Arménie – rue Bouffier*, Rapport Final d'Opération, Archéodunum SA, SRA Rhône-Alpes, 328 p.

Silvino, T., Maza, G., Faure, P., Tran, N. & Argant, T., 2011. Les origines de la colonie romaine de Valence (Drôme), *Gallia*, 68(2), 109-154

Annexe 3 : Etude des sites français, Bibliographie

Ugolini, D. & Olive, C., 1987-1988. Un four de potier du V^e s. av. J.-C. à Béziers, place de la Madeleine, *Gallia*, 45, 13-28

Ugolini, D., 2010. De la vaisselle au matériau de construction : techniques et emplois de la terre cuite en tant que traceur culturel (VI-IV^{ème} siècles av. J.-C.), in *Grecs et indigènes de la Catalogne à la mer Noire*, Errance, Paris, 433-454

Annexe 4

Etude des sites italiens

Contexte et analyses

Sommaire de l'annexe 4

Pompéi, Insula 5, four de l'espace 13

page 283

Megara Hyblaea

page 289

Pompéi, *insula* 5, four de l'espace 13

Code archéomagnétique: ITPOMPA

Contexte archéologique

La partie sud de l'*insula* 5 de la région I à Pompéi (Lat : 40.75°N ; Long : 14.49°E) est fouillée depuis 2001 par le Centre Jean Bérard, sous la direction de Jean-Pierre Brun et Martine Leguilloux. Cet îlot de l'agglomération était occupé par une grande tannerie, au moment de l'éruption du Vésuve en 79 ap. J.-C. Dans l'espace 13, les vestiges d'un four de potier (Cavassa, 2009) ont été mis au jour (Figure 1) sous des cuves de tanneurs antérieures au tremblement de terre de 63 ap. J.-C. Le four est construit sur les niveaux d'occupation du I^{er} siècle av. J.-C. La stratigraphie date en conséquence le fonctionnement du four dans la première moitié du I^{er} siècle ap. J.-C. Cette datation confirme la datation des formes de céramiques communes produites dans le four, courantes au I^{er} siècle av. J.-C. et au I^{er} siècle ap. J.-C.

Prélèvement et préparation des échantillons

Seules une partie de la paroi ouest (Prélèvements 11 à 13) et une partie de la sole construite en briques (prélèvements 1 à 10) sont conservées (Fig. 1). Le prélèvement a été réalisé par Philippe Lanos et Annick Chauvin le 7 septembre 2010 avec la méthode du chapeau de plâtre. Le pendage des briques de la sole a été mesuré pour corriger les directions d'aimantation des éventuels mouvements post-cuisson. Ces mouvements sont en effet possibles en raison de la construction postérieure des cuves de tanneurs et du tremblement de terre de 63 ap. J.-C. Tous les prélèvements ont été orientés au soleil avec l'équerre solaire et au Nord magnétique avec la boussole. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en spécimens cubiques de 2 cm de côté après induration au silicate de sodium. Les spécimens ont été numérotés selon la nomenclature présentée en annexe 2.



Figure 1 : Photographies des vestiges du four (vus de l'est) de potier de l'espace 13 avant et pendant le prélèvement. (Clichés Ph. Lanos et A. Chauvin)

Protocole

Après mesure de l'aimantation rémanente naturelle (ARN, aimantation brute), un spécimen de chaque prélèvement a été soumis au protocole de Thellier-Thellier dans le four Magnetic Measurement Thermal Demagnetization (MMTD) avec un champ de 70 μ T appliqué

selon l'axe X des spécimens. Dix ou onze chauffeures ont été réalisées pour les spécimens du four de l'espace 13 entre 100 et 590°C. Les aimantations acquises après chaque chauffe ont été mesurées au magnétomètre Molspin. Pour contrôler l'absence d'évolutions minéralogiques au cours des chauffeures successives, la susceptibilité en champ faible a été mesurée après chaque étape avec un susceptibilimètre Bartington MS2 et des bouclages ont été réalisés tous les deux paliers de température.

Les archéointensités et les archéodirections ont été corrigées des effets de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement. La correction d'anisotropie consiste en six chauffeures successives (suivant les six axes des spécimens cubiques, +X, -X, +Y, -Y, +Z et -Z) réalisées à 560°C. Le protocole de correction de la vitesse de refroidissement a été réalisé à 565°C avec un refroidissement lent d'une durée de 24 heures.

Résultats

Douze échantillons (sur treize) ont donné d'excellents résultats d'archéodirection et d'archéointensité (Fig. 2 à gauche). Ils présentent une forme linéaire sur les diagrammes ARN-ATR avec des bouclages positifs et une absence de variation de la direction d'ARN sur les diagrammes de Zijdeveld. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.5$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$).

Seul l'échantillon 1A12 a dû être rejeté en raison d'évolutions minéralogiques en cours du protocole (Fig. 2 à droite). Elles se manifestent par une déviation importante de la direction d'ARN (visible sur le diagramme de Zijdeveld) dans la direction du champ magnétique appliqué.

Les archéointensités et les archéodirections déterminées pour chaque spécimen sont récapitulées dans le Tableau 1.

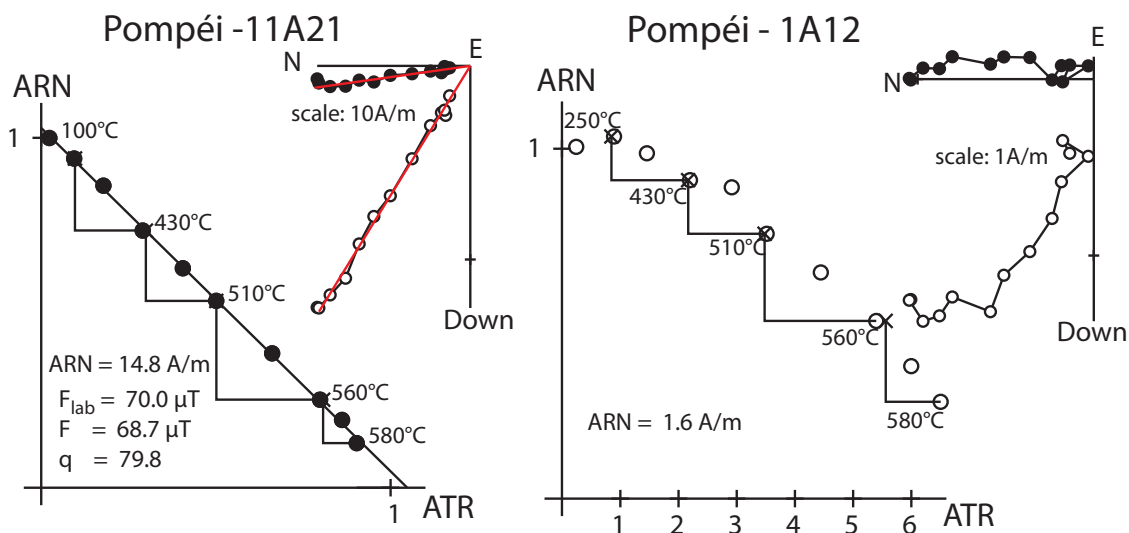


Figure 2 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijdeveld et diagrammes ARN-ATR. Le spécimen 11A21 (à gauche) est accepté. Seul le spécimen 1A12 (à droite) est rejeté, car le diagramme ARN-ATR présente une forme convexe. Pour les diagrammes de Zijdeveld (visualisant l'évolution de la direction d'aimantation en cours de chauffe), les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ. Les températures sont indiquées en degré Celsius.

Les échantillons présentent une anisotropie moyenne avec des pourcentages d'anisotropie qui varient entre 6 et 19% (Tableau 1). Il ne semble pas y avoir de différence entre les prélèvements des parois et les autres prélèvements (Figure 3 à droite). Aucune fabrique particulière ne se dessine à l'échelle de la structure. (Figure 3 à gauche).

L'effet de la vitesse de refroidissement est très faible (inférieur à 3%) et seules quatre archéointensités ont été corrigées.

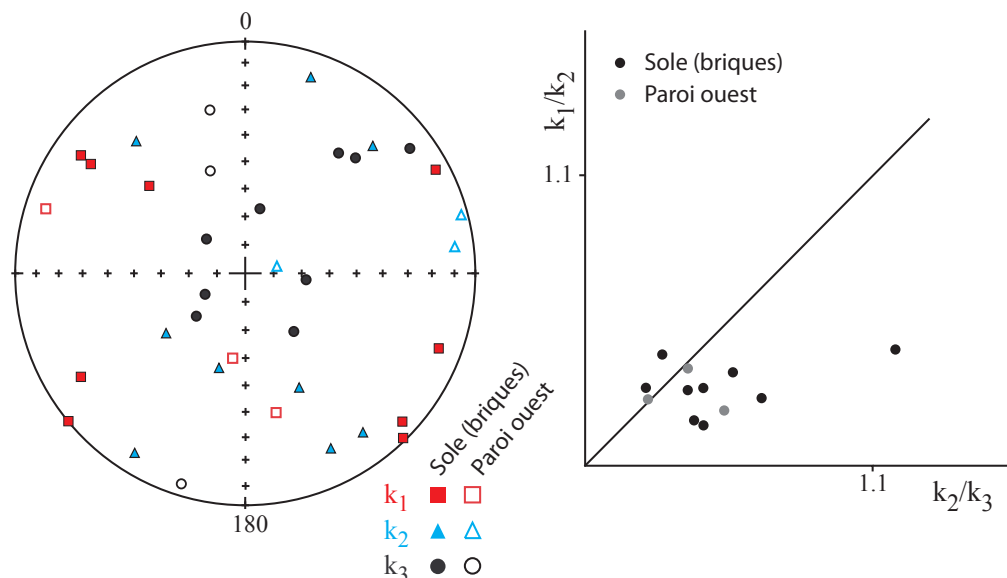


Figure 3 : Représentation stéréographique en coordonnées échantillon des directions des trois axes K_1 , K_2 et K_3 des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn. Les échantillons qui proviennent de la sole sont distingués des échantillons provenant de la paroi ouest.

L'archéointensité moyenne est calculée pour les 12 spécimens acceptés. La moyenne pondérée par le facteur de qualité q (moyenne de Prévôt) est égale à $65.2 \pm 2.0 \mu T$ (valeur à Pompéi).

Les archéodirections présentent plus de dispersion, même après application de la correction de pendage pour les échantillons de la sole (Fig. 5). La direction d'aimantation du prélèvement 7 est clairement hors-tendance et n'est pas pris en compte dans le calcul de la direction moyenne. La moyenne est calculée selon la statistique de Fisher. L'application de la correction de pendage améliore le regroupement des points (augmentation de 24% du facteur k de la statistique de Fisher). Les directions d'aimantation de la paroi ouest, en marge sans correction de pendage, se rapprochent plus des directions d'aimantation des briques de la sole après la correction (Figure 4). Pour ces deux raisons, il a donc été décidé d'appliquer la correction de pendage, même si la dispersion (facteur α_{95}) reste élevée : l'inclinaison moyenne est égale à $I = 63.1 \pm 2.7^\circ$ et la déclinaison moyenne à $D = 354.2 \pm 5.9^\circ$.

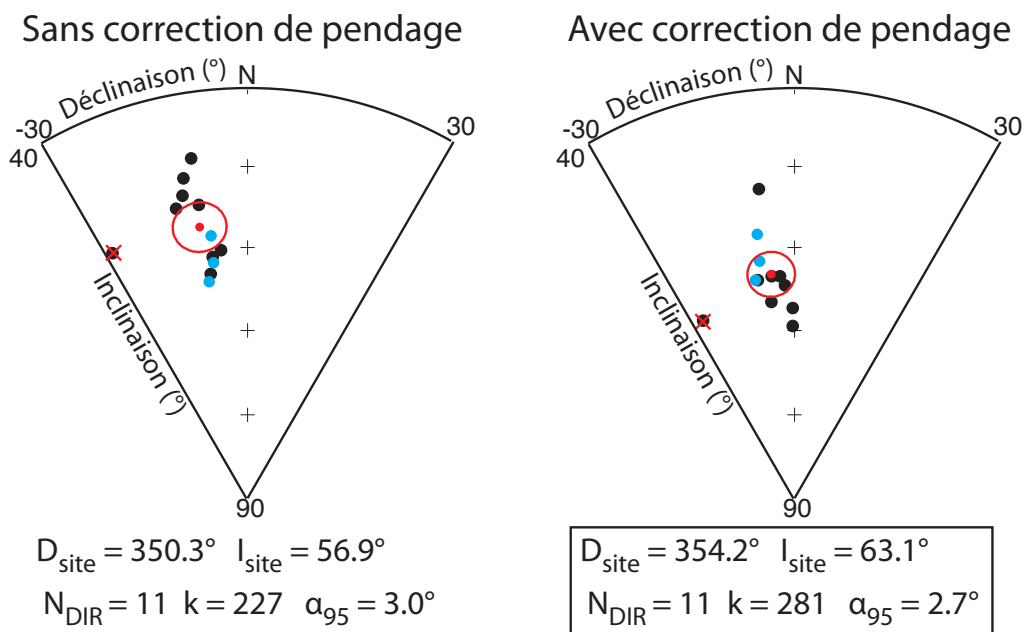


Figure 4 : Représentation stéréographique des directions d'aimantation sans et avec la correction du pendage des briques de la sole. Les échantillons des briques sont indiqués en noir et les échantillons de la paroi ouest en bleu. La direction moyenne (valeurs indiquées) avec son erreur à 95% de confiance est indiquée en rouge. L'échantillon 7 a une direction hors-tendance (sa déclinaison plus exactement) et n'est pas pris en compte dans le calcul de la direction moyenne.

Bibliographie

Cavassa, L., 2009. La production de céramique commune à Pompéi, un four de potier dans l'*insula* 5 de la région I, in Pasqualini, M. (éd.) *Les céramiques communes d'Italie et de Narbonnaise, structures de production et contextes inédits (Ile siècle av. J.-C. – IIIe siècle ap. J.-C., Centre Jean Bérard, 30, 95-104*

Megara Hyblaea

Codes archéomagnétiques: ITPMEGAA, ITMEGAB, ITMEGAC, ITMEGAD

Contexte archéologique

Quatre fours ont été prélevés en septembre 2010 à Megara Hyblaea (Lat : 37.20°N ; Long : 15.18°E). Cette ancienne colonie grecque fait l'objet de nouvelles fouilles depuis 2006 dirigées par Henri Tréziny. Les structures étudiées, comprises à l'intérieur de l'enceinte hellénistique, ont été dégagées par les fouilles de Georges Vallet et François Villard de l'Ecole Française de Rome dans les années 50 et 60. La documentation sur ces fours, probablement datés de l'époque hellénistique, est très lacunaire (Vallet *et al.*, 1983).

Les fours **50,71** (Figure 1) et **50,92** (Figure 2) sont situés au centre de l'agglomération hellénistique. Ces deux structures, dont la fonction reste indéterminée (four de potier ?), recourent des murs d'habitat de la ville archaïque. La chambre de chauffe du four **50,71** est d'abord creusée dans le substrat calcaire puis les parois sont construites en briques. Longue de 3m environ, elle est conservée sur une hauteur de plus de 2 mètres. Des blocs de basaltes constituent aussi les parois à l'entrée de la chambre de chauffe. La surface très sombre, vitrifiée et parfois pulvérulente (surtout au fond du four) atteste de l'importance des températures atteintes dans le four.

Le four **50,92** est moins bien conservé. Les parois de la chambre de chauffe, longues de 1,70m, sont également construites en briques et ont été considérablement restaurées. La couleur rouge des briques de la restauration permet heureusement de les distinguer très facilement des briques d'origine. Les briques en place ont fortement chauffées d'après l'état de leur surface. En l'absence de documentation sur ce four, il est difficile de dire si la forme courbe de la chambre de chauffe est d'origine ou a été accentuée par la restauration.

Le petit four **14,75** est situé à l'ouest de l'agglomération hellénistique, à une dizaine de mètres de l'enceinte. La chambre de chauffe était probablement circulaire avec un diamètre de 1,50m (Figure 3). Seule la moitié sud a été préservée. Les parois sont construites en briques, dont la couleur rouge indiquerait des températures assez faibles dans le four. Ce four ne semble pas avoir été restauré. L'absence de documentation sur ce four ne permet pas de proposer une datation archéologique.

Enfin, le four **32,21j** (Fig. 4) est rattaché aux thermes hellénistiques de l'agglomération, pour lesquels la documentation est moins lacunaire (Vallet *et al.*, 1983). Le complexe thermal, fouillé entre 1962 et 1964, est situé au sud de l'*agora*. Le four, situé dans la pièce j des thermes et en contrebas des autres pièces, est en très bon état de conservation (Les assises supérieures ont cependant été peut-être restaurées). Le four a une longueur de 4 m pour une largeur de 1,10m. Les parois du four sont constituées de briques, comme les autres fours. Les thermes hellénistiques auraient fonctionné dans la première moitié du III^{ème} siècle av. J.-C., mais le four aurait été réutilisé à l'époque romaine.

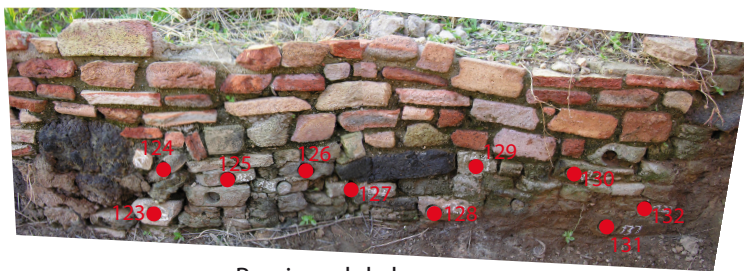


Figure 1 : Photographies du four 50,71 avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.

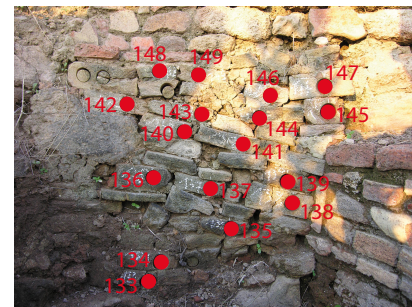
tel-00738129, version 1 - 3 Oct 2012

Four **50,92**

Vue d'ensemble de la
chambre de chauffe
(vue de l'ouest)



Paroi nord de la
chambre de chauffe



Paroi est de la
chambre de chauffe

Figure 2 : Photographies du four **50,92** avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.
(Cliché H. Tréziny)



Figure 3 : Photographies du four **14,75**, vue d'ensemble depuis l'est et vue de la paroi sud « dépliée »
avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.

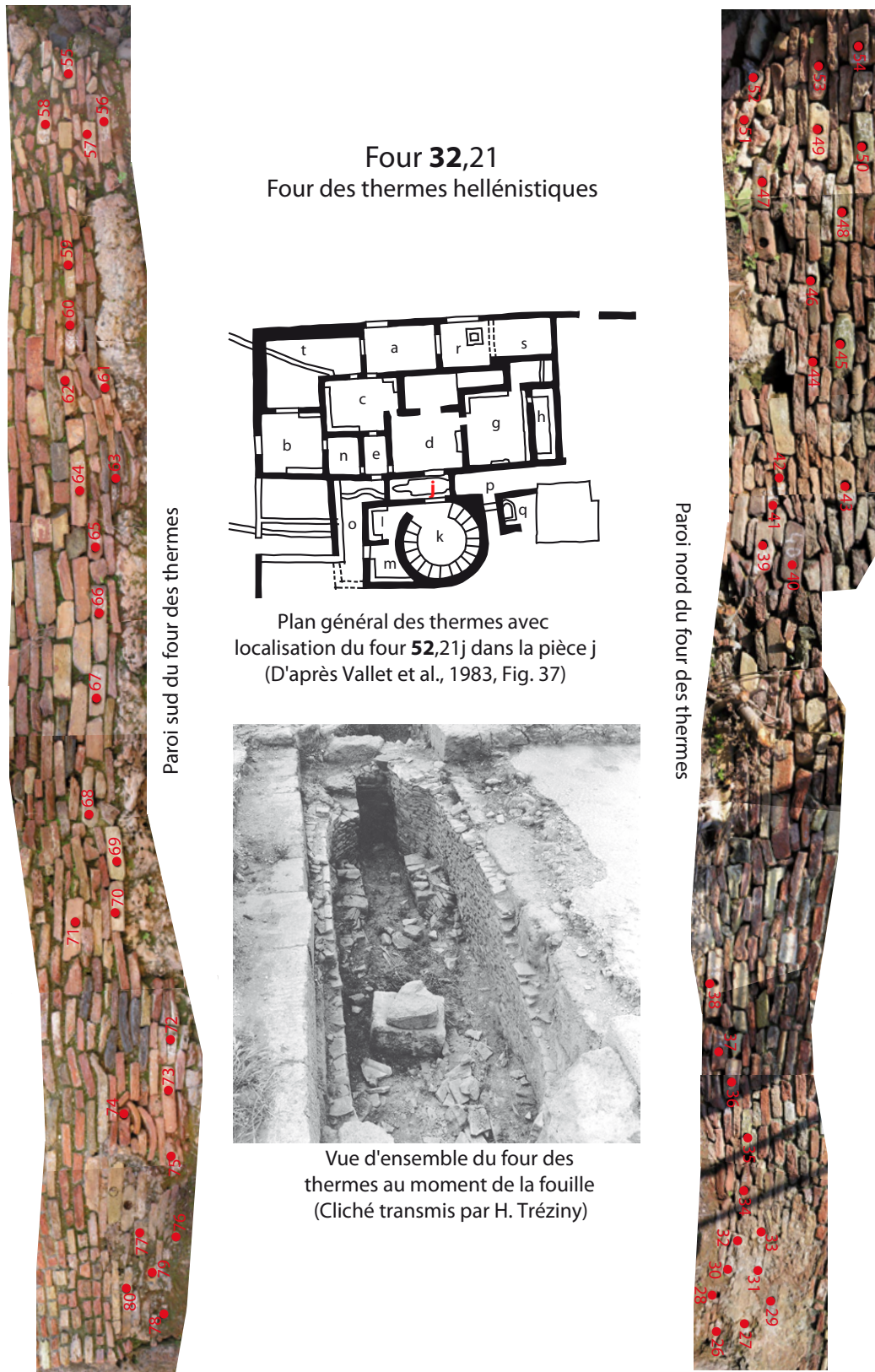


Figure 4: Photographies du four des thermes hellénistiques 32,21j avec localisation des prélèvements archéomagnétiques.

Prélèvements archéomagnétiques

Les briques constituant les parois ont été carottées puis orientées au soleil (c'est-à-dire dans le repère géographique) avec l'outil d'orientation Pomeroy (Figure 5). Les parties des parois, ayant été restaurées ou susceptibles d'avoir bougé depuis la dernière chauffe du four (cas du four 32,21j) n'ont pas été prélevées. Les figures 1 à 4 indiquent le nombre et la localisation des prélèvements pour chacun des fours. Au laboratoire, les carottes (de 2,5 cm de diamètre) ont été découpées en spécimens de 2,2 cm de long.



Figure 5 : Dispositif d'orientation des carottes

Distribution des directions d'ARN et protocole d'analyse

La distribution des directions d'aimantation rémanente naturelle (ARN) indique deux comportements (Figure 6).

- Les échantillons des fours 50,71 et 50,92 présentent un regroupement important des directions d'ARN, ce qui indique probablement l'existence d'une seule composante d'aimantation et une chauffe suffisante pour effacer de la terre cuite toute aimantation antérieure.
- La dispersion des directions d'ARN pour les fours 14,75 et 32,21j est en revanche très importante. Une majorité des briques présentent des directions très différentes des directions attendues pour les derniers millénaires. Ce comportement est expliqué en général par une insuffisance de la chauffe dans le four pour effacer toute l'aimantation acquise antérieurement : la terre cuite porte alors deux composantes d'aimantation, une composante secondaire acquise à la dernière chauffe du four et une composante primaire probablement acquise à la cuisson de la brique dans le cas de ces fours de Megara Hyblaea.

a. Protocole pour les fours 14,75 et 32,21j

Ces différents comportements ont justifié l'application de deux protocoles d'analyse différents. Pour les fours 14,75 et 32,21j, respectivement 4 et 31 spécimens ont été soumis à des désaimantations thermiques dans le four Magnetic Measurements. Les spécimens sont chauffés par paliers successifs de température (en l'occurrence entre 5 et 6 paliers de 100 à 555°C) pour isoler la composante d'aimantation acquise à la dernière chauffe du four.

Les archéodirections déterminées ont été corrigées des effets de l'anisotropie. La correction d'anisotropie consiste en six chauffes successives (suivant les six axes des spécimens,

+X, -X, +Y, -Y, +Z et -Z) réalisées à 500 ou 550°C, qui permettent de reconstituer le tenseur d'anisotropie d'ATR.

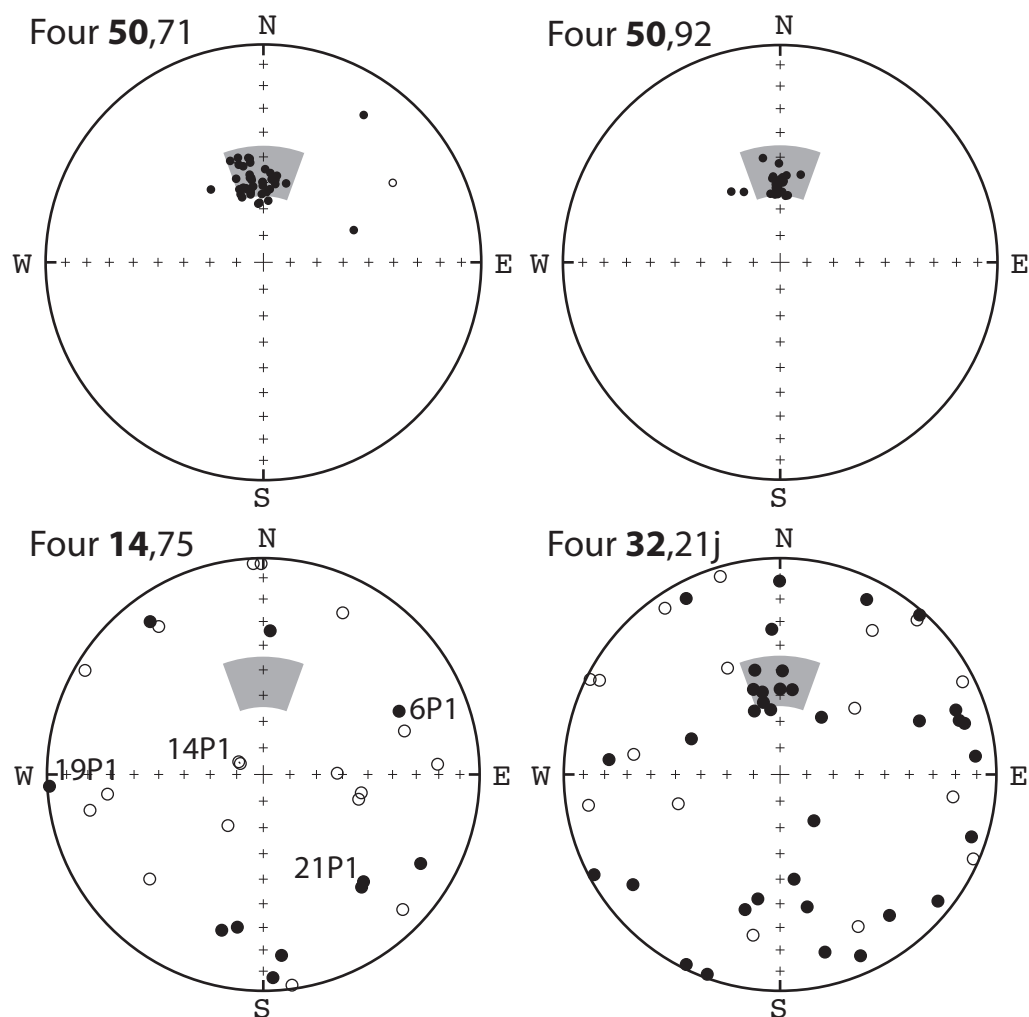


Figure 6 : Distribution des directions d'aimantation rémanente naturelle (ARN) pour les 4 fours. La zone grisée recouvre les intervalles des variations de la déclinaison et de l'inclinaison pour les derniers millénaires.

b. Protocole pour les fours 50,71 et 50,92

Pour ces deux fours, respectivement 13 et 11 échantillons ont été soumis au protocole de Thellier-Thellier, dans le four Magnetic Measurements avec un champ de 70 μ T appliqué selon l'axe z des spécimens. Douze ou treize chauffes ont été réalisées entre 100 et 595°C. Les aimantations acquises après chaque chauffe ont été mesurées au magnétomètre Molspin. Pour contrôler l'absence d'évolutions minéralogiques au cours des chauffes successives, la susceptibilité en champ faible a été mesurée après chaque étape avec un susceptibilimètre Bartington MS2 et des bouclages sont réalisés tous les deux paliers de température. Les archéointensités et les archéodirections déterminées ont été corrigées des effets de l'anisotropie et de la vitesse de refroidissement. Le tenseur d'anisotropie d'ATR a été déterminé à 545°C en suivant le même protocole que les fours 14,75 et 32,21j. L'effet de vitesse de refroidissement a été déterminé suivant le protocole de Gomez-Paccard *et al.* (2008) au dernier palier de température à 575°C. La durée du refroidissement lent a été fixée à 24 heures.

Afin de compléter les archéodirections déterminées par le protocole de Thellier-Thellier, des désaimantations thermique et par champ alternatif ont également été menées sur 3/9 échantillons du four **50,71** et 9 échantillons du four **50,92**. Les échantillons sont soumis à des champs alternatifs d'intensité croissante (à température ambiante), pour les désaimanter progressivement. Les archéodirections ont également été corrigées de l'anisotropie d'aimantation thermo-rémanente.

Résultats du four 14,75

Les quatre échantillons testés en désaimantation thermique portent une seule (Figure 7, 19P1, 21P1 et 6P) ou deux composantes d'aimantation (Figure 7, 14P1). Dans ce dernier cas, la composante secondaire est utilisée. Les directions d'aimantation des composantes déterminées sont très variables entre les échantillons et incohérentes par rapport aux directions du champ magnétique terrestre en Italie au cours des derniers millénaires.

Aussi, ces résultats indiquent une chauffe en place des briques très limitée : l'aimantation des briques semble acquise durant leur cuisson plutôt qu'en place dans le four **14,75**. Les faibles températures atteintes permettent de s'interroger sur la fonction de ce « four ». L'hypothèse d'un prélèvement de briques de restauration, qui n'ont pas chauffé en place, ne peut pas être non plus totalement écartée, même en l'absence des indices évidents de restauration (couleur des briques, nature du mortier) visibles sur les fours **32,21j**, **50,71** et **50,92**.

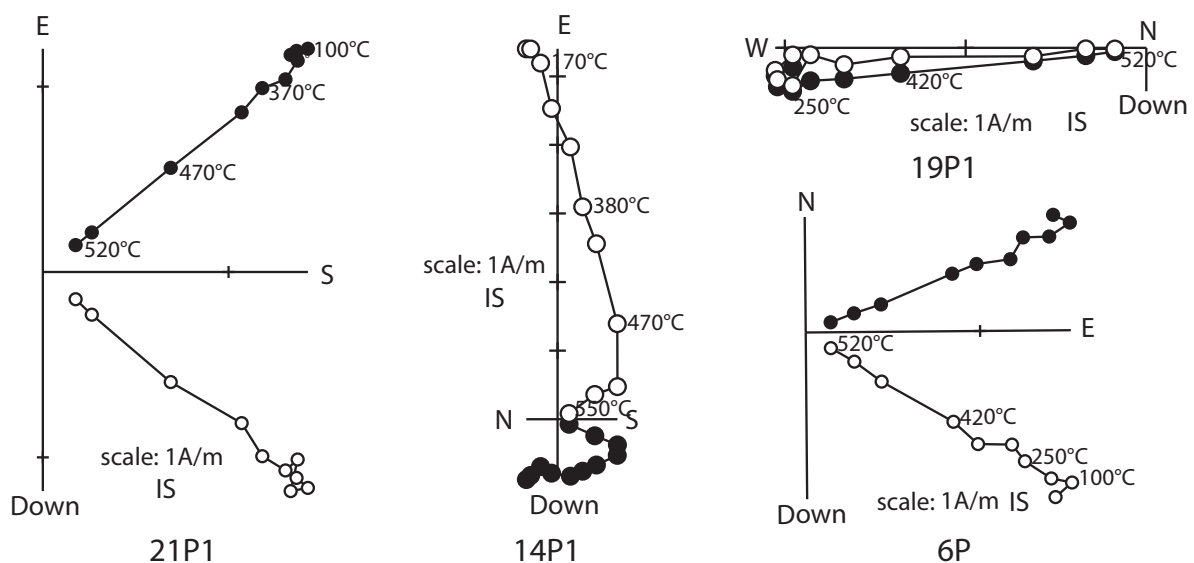


Figure 7 : Diagrammes de Zijderveld des spécimens du four **14,75** désaimantés thermiquement.

En conclusion, l'étude archéomagnétique de la structure **14,75** n'a pas donné de résultats concluants, probablement en raison d'une chauffe insuffisante de la structure. Ce résultat donne peut-être des indices sur la nature et la fonction de cette structure, peu décrite dans la documentation archéologique (Vallet *et al.*, 1983).

Résultats du four des thermes hellénistiques 32,21j

La désaimantation thermique de 31 échantillons a permis de distinguer trois groupes d'échantillons (Figure 8 et Tableau 1). Les échantillons A portent une seule composante d'aimantation acquise lors de la dernière chauffe du four. La température atteinte par la brique a été suffisante pour effacer l'aimantation précédemment enregistrée lors de la cuisson initiale de la brique.

Les échantillons B portent deux composantes d'aimantation. Dans ce cas, la composante utilisée pour la datation archéomagnétique est la composante secondaire acquise en place lors de la dernière chauffe du four. La composante primaire est probablement acquise lors de la cuisson de la brique. La température de passage entre les deux composantes indique la température de chauffe maximale de la brique dans le four.

Les échantillons C portent également une seule composante d'aimantation, dont les valeurs farfelues de l'inclinaison et de la déclinaison par rapport aux valeurs possibles en Italie au cours des derniers millénaires indiquent que l'aimantation a été acquise lors de la cuisson initiale de la brique.

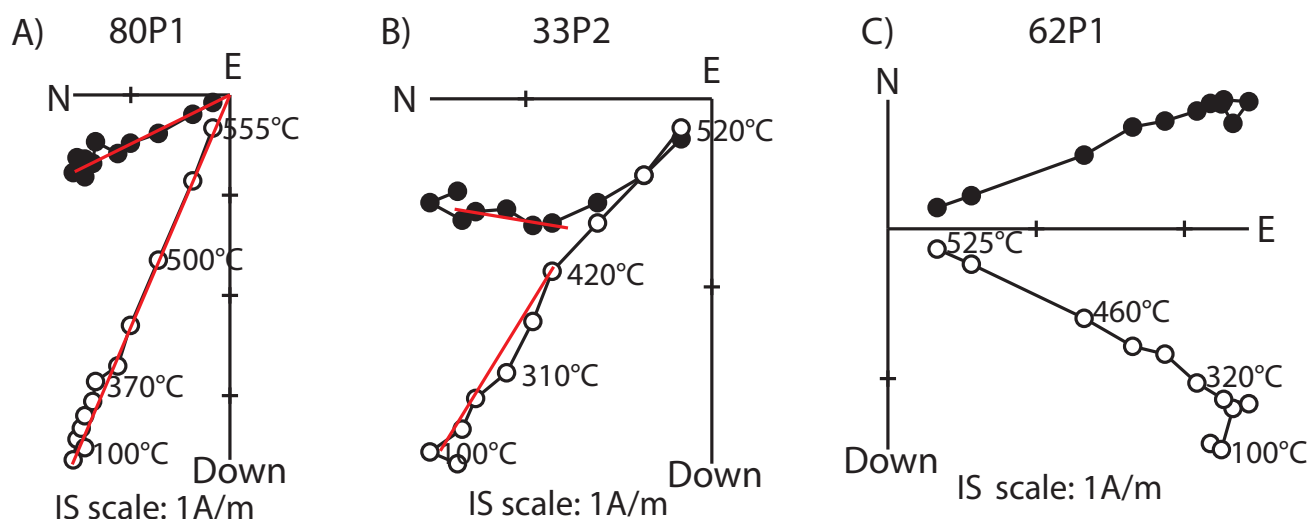


Figure 8 : Diagrammes de Zijderveld des spécimens du four 32,21j désaimantés thermiquement. A) Echantillon portant une seule composante d'aimantation acquise lors de la dernière chauffe du four. B) Echantillon portant deux composantes d'aimantation : la composante secondaire est acquise en place lors de la dernière chauffe du four et la composante primaire lors de la cuisson de la brique. C) Echantillon portant une seule composante d'aimantation acquise par la brique lors de sa cuisson.

Les trois catégories A, B et C marquent un gradient de la chauffe dans le four, que l'on peut relier à la position des prélèvements. Les échantillons de la catégorie A sont tous situés à l'entrée est du four, où était alimenté le foyer. Les échantillons de la catégorie C sont situés à l'opposé du four et les échantillons de la catégorie B en position intermédiaire comme il est attendu. On observe aussi une différence entre les parois sud (communication avec la pièce k, la rotonde) et nord du four (communication avec la pièce d). L'intensité de la chauffe (Cf. répartition des échantillons B par rapport à l'entrée du four) semble plus forte pour la paroi sud. Cette différence est-elle une coïncidence ou reflète-t-elle une volonté de chauffer préférentiellement la rotonde k (et donc la paroi sud) par rapport à la pièce d (Figure 4)?

Categorie:	Echantillons	Descriptif
A	27, 79, 80	une seule composante acquise lors de la dernière chauffe du four
B	26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 64, 66, 68, 71, 75, 76, 78	deux composantes, la secondaire acquise lors de la dernière chauffe du four et la primaire lors de la cuisson initiale de la brique
C	35, 36, 38, 43, 44, 47, 50, 54, 58, 61, 62, 73, 74	une seule composante acquise lors de la cuisson initiale de la brique

Tableau 1 : Classement des échantillons en fonction de la nature et du nombre de composantes d'aimantation

Seuls les directions des composantes d'aimantation des groupes A et B sont utilisées pour la datation archéomagnétique (Tableau 2). Les directions ont principalement été déterminées par analyse en composante principale (Figure 8 A et B). Pour les échantillons 30 et 68 du groupe B, il est plus difficile de distinguer les deux composantes d'aimantation et une analyse par grand cercle a été privilégiée (Figure 9).

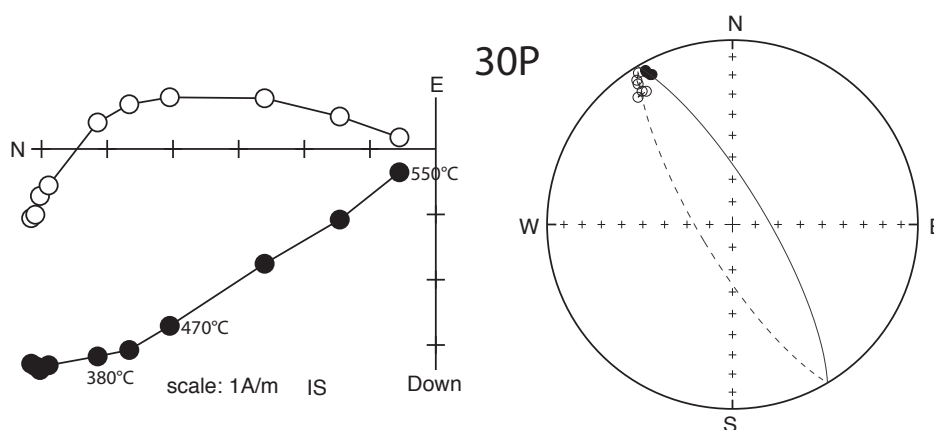


Figure 9 : Exemple d'échantillon dont la direction d'aimantation est analysée par un grand cercle, comme la distinction entre les deux composantes d'aimantation est difficile. A gauche, diagramme de Zijderveld et à droite, représentation stéréographique.

Les briques du four **32,21j** présentent une anisotropie élevée (prévisible pour ce type de terre cuite) et très variable entre 6 et 43% (Tab. 2). L'anisotropie est dominée par la foliation (Figure 10 à droite). L'axe minimal d'anisotropie (k_3) est proche de la verticale en coordonnées *in situ* (Figure 10 à gauche) et correspond donc à l'épaisseur de la brique. Une telle géométrie du tenseur d'anisotropie est caractéristique des briques (Chauvin *et al.*, 2000 ; Hill *et al.*, 2008).

La Figure 11 présente la distribution des directions corrigées de l'anisotropie. Les échantillons 64 et 80 portent une direction d'aimantation hors-tendance et ne sont pas pris en compte dans le calcul de moyenne suivant la statistique de Fisher. Le regroupement des directions des 15 autres échantillons est bon avec un facteur de regroupement k égal à 369. L'inclinaison moyenne est égale à $I = 59.9 \pm 2.0$ et la déclinaison moyenne à $D = 353.5 \pm 4.0^\circ$.

Annexe 4 : Etude des sites italiens, Megara Hyblaea

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C)	PCA/ GCA	ChRM /II ^{re}	n	D(°)	I (°)	Mad (°)	Anisotropie					
										Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)
26P1	2.2	2.37E-05	Th 100 - 370	PCA	II ^{re}	5	355.9	55.7	4.9	-3.7	1.154	1.031	1.119	357.1	59.3
27P1	3.6	3.83E-05	Th 100 - 555	PCA	ChRM	11	359.5	61.1	1.3	-9.6	1.087	1.038	1.048	1.0	61.4
28P1	16.9	1.82E-04	Th 100 - 320	PCA	II ^{re}	5	356.1	63.6	3.4	-3.1	1.091	1.025	1.064	356.9	64.1
29P	4.8	5.18E-05	Th 100 - 500	PCA	II ^{re}	9	347.7	57.6	0.9	0.1	1.229	1.034	1.189	354.3	56.8
30P	7.1	7.62E-05	Th 100 - 550	GCA	ChRM	9	59.2	-14.5	5.7	-4.4	1.153	1.065	1.083	57.9	-13.8
31P1	4.2	4.52E-05	Th 100 - 460	PCA	II ^{re}	8	2.8	51.7	3.3	-4.1	1.335	1.058	1.261	356.1	58.3
32P	4.0	4.37E-05	Th 100 - 500	PCA	II ^{re}	9	354.4	58.0	3.7	-6.0	1.084	1.049	1.033	351.7	58.5
33P2	2.4	2.62E-05	Th 100 - 420	PCA	II ^{re}	6	7.9	55.6	6.9	-2.5	1.076	1.059	1.016	9.0	57.6
64P1	5.7	6.21E-05	Th 100 - 370	PCA	II ^{re}	6	333.9	51.9	5.6	-8.2	1.093	1.021	1.071	332.6	53.9
66P2	2.2	2.39E-05	Th 170 - 370	PCA	II ^{re}	4	350.4	55.7	6.0	-4.4	1.132	1.047	1.080	348.2	57.2
68P	7.2	7.83E-06	Th 100 - 555	GCA	ChRM	11	244.0	5.8	2.9	-1.1	1.145	1.080	1.060	244.2	3.6
71P1	10.3	1.11E-04	Th 100 - 320	PCA	II ^{re}	5	348.2	58.3	2.7	0.5	1.426	1.082	1.319	352.3	58.1
75P1	6.9	7.44E-05	Th 100 - 320	PCA	II ^{re}	5	350.1	61.3	5.8	-2.9	1.109	1.038	1.068	353.1	60.7
76P	7.1	7.71E-05	Th 100 - 460	PCA	II ^{re}	8	347.1	56.5	1.5	-2.7	1.098	1.019	1.078	347.0	58.9
78P1	5.6	6.05E-05	Th 100 - 520	PCA	II ^{re}	9	346.9	60.6	2.0	-1.0	1.137	1.038	1.095	344.5	63.8
79P1	4.3	4.62E-05	Th 100 - 555	PCA	ChRM	11	355.6	59.3	1.8	-4.0	1.065	1.024	1.040	356.0	60.6
80P1	3.8	4.12E-05	Th 100 - 555	PCA	ChRM	11	334.8	64.0	1.4	-8.2	1.069	1.022	1.046	333.9	65.2

Tableau 2 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction d'aimantation ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; ChRM/II^{re} : la composante est une composante primaire (ChRM) ou secondaire (II^{re}) nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie

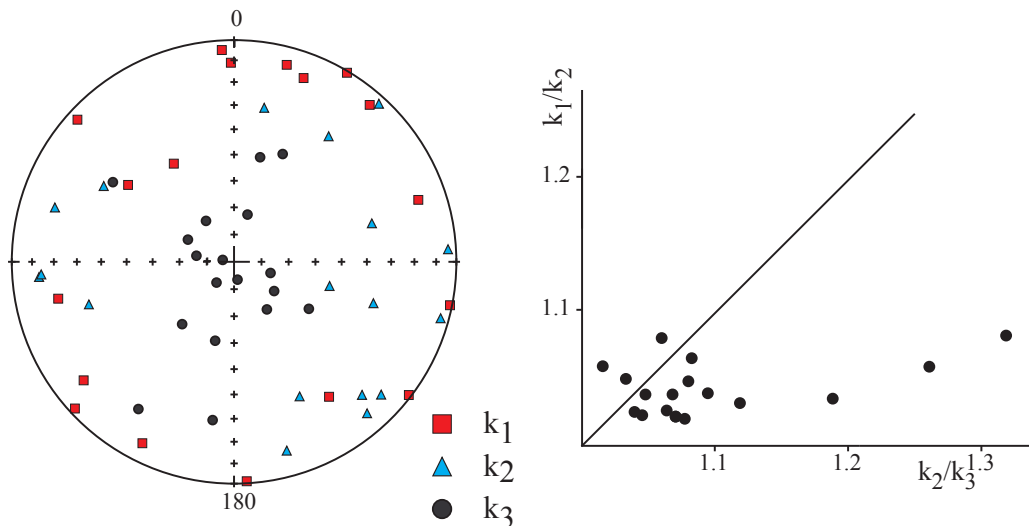


Figure 10 : Représentation stéréographique en coordonnées in situ des directions des trois axes K₁, K₂ et K₃ des tenseurs d'anisotropie et diagramme de Flinn, pour le four 32,21j.

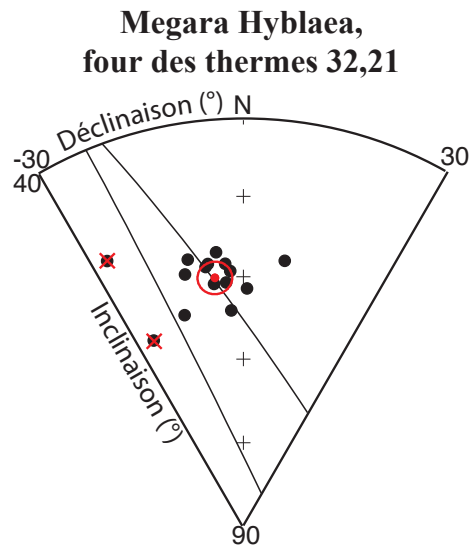


Figure 11 : Représentation stéréographique des directions d'aimantation par prélèvement et de la direction moyenne avec son intervalle à 95% de confiance. Les directions d'aimantation des échantillons 64 et 80 (croix) sont considérées hors-tendance.

Résultats des fours 50,71 et 50,92

a. Résultats de la désaimantation thermique et par champ alternatif

L'ensemble des échantillons des deux fours 50,71 et 50,92 porte une seule composante d'aimantation (Figure 12), dont la direction a été déterminée par analyse en composante principale. Seul l'échantillon 122P2 du four 50,71 porte deux composantes d'aimantation peu distinctes, qui ont été analysées par un grand cercle. Les directions déterminées sont présentées dans les Tableaux 3 et 4.

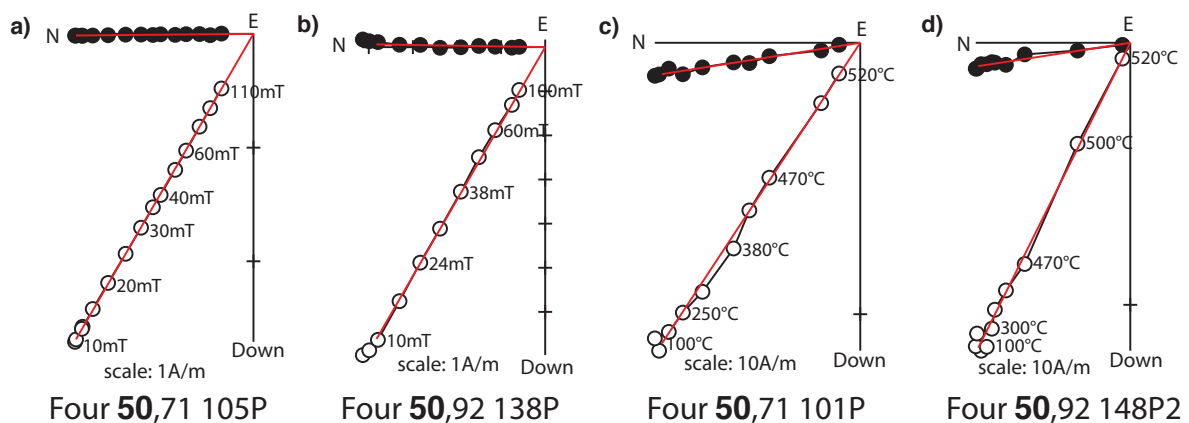


Figure 12 : Exemples caractéristiques de désaimantation par champ alternatif (a et b) et thermique (c et d) pour les échantillons des fours 50,71 et 50,92. Les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

b. Résultats du protocole de Thellier-Thellier et détermination des archéointensités

Les 13 échantillons du four 50,71 et les 11 du four 50,92 donnent d'excellents résultats d'archéodirection (Fig. 13). Ils présentent une forme linéaire sur les diagrammes ARN-ATR avec des bouclages positifs et une absence de variation de la direction d'ARN sur les diagrammes de Zijderveld. Ces échantillons respectent tous les critères d'acceptation définis ($f > 0.4$; $Mad < 5^\circ$; $Dang < 5^\circ$; $\beta < 0.05$). Les archéointensités et les archéodirections déterminées pour chaque échantillon sont récapitulées dans les Tableaux 3 et 4.

c. Corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

La correction d'anisotropie a été appliquée à l'ensemble des archéodirections déterminées par désaimantation thermique et par champ alternatif et par le protocole de Thellier-Thellier. Les échantillons présentent une anisotropie globalement forte et variable entre 5 et 53% (Tableaux 3 et 4). La Figure 14 montre que l'anisotropie des briques du four 50,92 est dominée par la foliation et que l'axe minimal correspond à l'épaisseur de la brique, comme il est observé pour le four des thermes. Ces caractéristiques sont moins évidentes pour le four 50,71. L'effet de la vitesse de refroidissement est faible (au maximum 7,7%) et n'est pas appliqué lorsque le facteur de correction est inférieur au facteur d'évolution des échantillons.

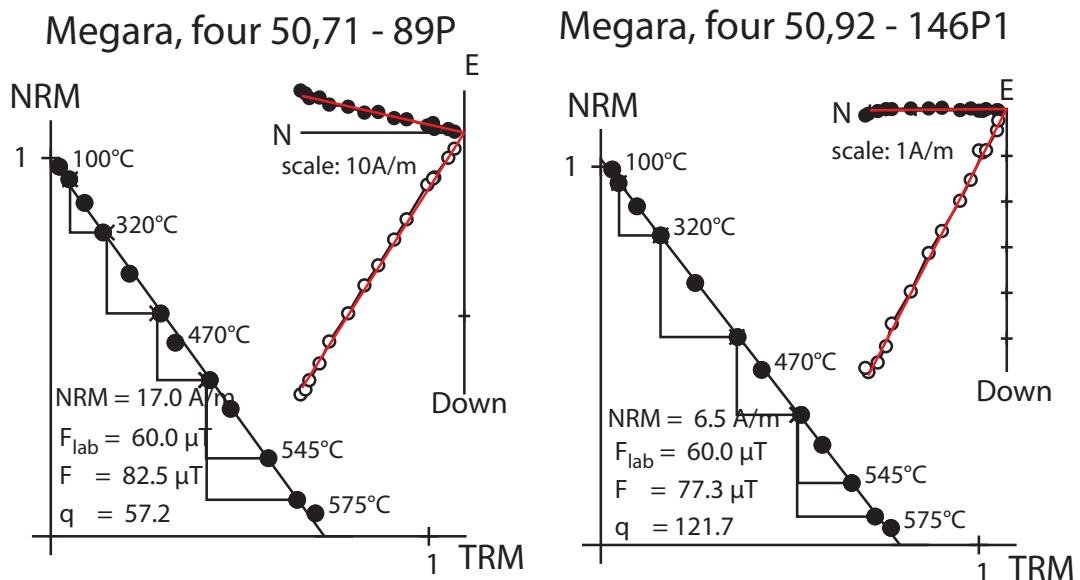


Figure 13 : Résultats d'archéointensité représentatifs, diagrammes de Zijderveld et diagrammes ARN-ATR. Pour les diagrammes de Zijderveld (visualisant l'évolution de la direction d'aimantation en cours de chauffe), les cercles pleins (vides) sont les projections sur le plan horizontal (vertical) et les directions sont représentées dans le système de coordonnées in situ.

Annexe 4 : Etude des sites italiens, Megara Hyblaea

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/ GCA	n	D(°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie						Vitesse de refroidissement				
															Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a \pm std (μ T)	%corr	%evol	F _{a+c} \pm std (μ T)	
82P1	2.2	3.19E-03	Th-Th	100 - 575	PCA	12	9.7	59.7	68.4 \pm 1.6	2.7	3.6	0.85	0.88	31.7	0.024	-2.3	1.057	1.013	1.043	8.4	60.7	69.8 \pm 1.7	2.3	-2.3	
84P1	1.9	1.33E-03	Th-Th	100 - 575	PCA	12	350.2	58.6	75.3 \pm 0.8	0.9	0.4	0.95	0.84	80.6	0.010	-2.4	1.075	1.012	1.063	353.3	59.0	77.8 \pm 0.8	0.2	-1.7	
86P	12.4	9.23E-03	Th-Th	100 - 490	PCA	7	4.4	56.3	92.1 \pm 0.8	0.4	0.2	0.52	0.81	48.8	0.009	-3.2	1.208	1.043	1.159	359.6	53.7	80.7 \pm 0.7	4.8	0.4	76.8 \pm 0.7
87P	3.3	2.38E-03	AF	5 - 90	PCA	15	3.1	63.7		1.3						-0.6	1.465	1.158	1.265	3.2	57.7				
88P	18.1	3.21E-02	Th	100 - 520	PCA	9	7.7	61.0		1.7						-6.1	1.150	1.083	1.062	5.0	59.7				
89P	16.4	2.27E-02	Th-Th	100 - 575	PCA	12	7.2	56.7	78.9 \pm 1.1	0.8	0.7	0.92	0.89	57.4	0.014	-4.3	1.161	1.062	1.093	12.8	56.9	82.5 \pm 1.2	2.5	-5.3	
90P	9.8	5.63E-03	AF	5 - 100	PCA	6	1.1	59.8		2.4						-1.3	1.128	1.106	1.020	356.6	60.5				
93P	17.1	2.46E-02	AF	5 - 100	PCA	11	3.5	61.5		0.9						-3.3	1.244	1.100	1.131	1.4	58.6				
96P	2.2	2.03E-03	Th-Th	100 - 595	PCA	13	354.9	54.6	101.1 \pm 1.7	1.9	3.2	0.88	0.90	49.2	0.016	-2.8	1.136	1.048	1.083	353.6	54.8	94.4 \pm 1.5	0.6	-5.2	
99P	0.9	1.04E-03	AF	5 - 125	PCA	16	342.6	49.9		0.2						-9.2	1.121	1.105	1.014	347.0	49.3				
101P	13.6	8.39E-03	Th	100 - 520	PCA	9	351.0	56.2		1.1						-3.3	1.102	1.089	1.011	352.1	58.6				
103P	21.4	1.04E-02	Th-Th	100 - 575	PCA	12	349.0	53.7	83.0 \pm 0.8	0.8	0.2	0.95	0.87	87.0	0.010	5.5	1.119	1.079	1.037	345.4	50.2	79.7 \pm 0.8	2.5	-2.2	
104P	10.8	8.40E-03	Th-Th	100 - 490	PCA	7	344.4	49.4	88.8 \pm 1.8	1.0	1.8	0.54	0.80	22.0	0.020	-6.1	1.070	1.017	1.052	349.2	54.9	93.6 \pm 1.9	2.4	-1.5	91.4 \pm 1.8
105P	3.0	2.05E-03	AF	5 - 110	PCA	13	359.5	59.8		0.1						-8.9	1.123	1.075	1.045	1.4	62.1				
108P1	7.0	1.03E-02	Th-Th	100 - 575	PCA	12	349.1	58.0	72.0 \pm 2.3	1.1	1.2	0.77	0.88	22.2	0.031	1.2	1.140	1.049	1.087	347.7	59.9	72.1 \pm 2.2	4.2	-2.1	70.7 \pm 2.2
109P1	9.9	1.39E-02	Th-Th	100 - 490	PCA	7	343.8	62.2	80.2 \pm 1.2	1.1	2.0	0.65	0.82	38.2	0.014	-2.3	1.264	1.074	1.177	343.8	66.3	79.1 \pm 1.1	3.8	-1.5	76.1 \pm 1.0
111P	8.0	4.24E-03	AF	5 - 100	PCA	12	339.1	63.3		0.5						-0.6	1.106	1.054	1.049	337.5	62.5				
112P1	5.5	6.79E-03	Th-Th	100 - 490	PCA	7	346.1	61.8	74.9 \pm 0.9	0.7	1.3	0.73	0.82	53.1	0.011	-3.2	1.123	1.070	1.049	341.3	64.2	78.2 \pm 0.9	5.8	-2.3	73.7 \pm 0.8
114P	23.9	1.11E-02	Th-Th	100 - 490	PCA	7	343.5	60.9	87.4 \pm 2.0	0.5	0.9	0.41	0.76	14.3	0.023	2.3	1.195	1.120	1.067	346.3	61.3	82.9 \pm 1.8	4.4	-1.7	79.3 \pm 1.7
115P	22.4	1.60E-02	AF	5 - 100	PCA	10	349.5	60.8		0.4						0.9	1.244	1.101	1.130	349.9	60.7				
116P	2.3	2.20E-03	Th-Th	100 - 490	PCA	7	346.4	62.7	83.2 \pm 1.1	0.6	1.9	0.42	0.82	26.1	0.013	-2.9	1.136	1.056	1.075	346.6	65.0	83.8 \pm 1.1	7.7	-3.5	77.7 \pm 1.0
117P	3.9	4.45E-03	AF	5 - 125	PCA	14	349.7	63.1		0.2						-3.9	1.079	1.037	1.040	349.7	63.1				
118P	8.6	4.68E-03	Th-Th	100 - 490	PCA	7	349.4	62.2	81.3 \pm 0.8	0.5	0.8	0.45	0.77	36.9	0.010	-2.9	1.115	1.044	1.068	347.4	64.1	82.1 \pm 0.8	3.8	-2.2	79.0 \pm 0.8
119P	5.5	3.57E-03	AF	5 - 125	PCA	14	354.6	67.4		0.2						-0.3	1.075	1.064	1.011	351.5	67.1				
122P2	6.7	8.70E-03	Th	170 - 550	GCA	9	130.8	19.6		10.0						1.3	1.075	1.045	1.029	130.8	19.4				

Tableau 3 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités du four 50,71

Nom de l'échantillon ; intensité d'ARN ; susceptibilité en champ faible à température ambiante ; protocole d'analyse : désaimantation thermique (Th), désaimantation par champ alternatif (AF) ou protocole de Thellier-Thellier (Th-Th) ; températures entre lesquelles est déterminée la direction et l'archéointensité ; PCA/GCA : la composante d'aimantation est interprétée par analyse en composante principale (PCA) ou avec un grand cercle (GCA) ; nombre d'étapes ; Inclinaison ; Déclinaison ; Archéointensité et erreur standard sans correction ; fraction de l'ARN ; facteur « gap » g ; facteur de qualité q ; Maximum Angular Deviation quantifiant la linéarité de la direction sur une projection orthogonale ; Deviation Angle ; rapport de l'erreur standard de la pente sur la pente dans un diagramme ARN/ATR ; Dérive lors de la correction d'anisotropie ; Pourcentage d'anisotropie ; Pourcentage de linéation ; Pourcentage de foliation ; Déclinaison corrigée de l'anisotropie ; Inclinaison corrigée de l'anisotropie ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie ; Pourcentage de correction de vitesse de refroidissement (24 heures) ; Pourcentage d'évolution minéralogique lors de la correction de vitesse de refroidissement ; Archéointensité et erreur standard avec correction d'anisotropie et de vitesse de refroidissement

Annexe 4 : Etude des sites italiens, Megara Hyblaea

	ARN (A/m)	χ (SI)	Et.1 - Et.2 (°C ou mT)	PCA/ GCA	n	D(°)	I (°)	F \pm std (μ T)	Mad (°)	Dang (°)	f	g	q	β	Anisotropie						Vitesse de refroidissement				
															Dérive (%)	K ₁ /K ₃	K ₁ /K ₂	K ₂ /K ₃	D _a (°)	I _a (°)	F _a \pm std (μ T)	% corr	% evol	F _{a+c} \pm std (μ T)	
125P1	10.3	1.08E-04	Th-Th	100 - 565	PCA	11	350.8	49.6	59.2 \pm 2.2	1.2	2.7	0.99	0.82	21.9	0.037	1.6	1.189	1.067	1.115	349.8	53.4	69.0 \pm 2.6	2.6	-0.7	67.2 \pm 2.5
125P2	9.2	9.89E-05	Th	100 - 520	PCA	9	348.2	52.6		0.9						-0.4	1.149	1.078	1.066	350.1	58.0				
129P	3.2	1.97E-05	Th-Th	100 - 490	PCA	7	3.7	67.0	105.8 \pm 7.5	1.7	5.9	0.57	0.80	6.5	0.071	0.6	1.055	1.028	1.026	349.1	61.5	85.5 \pm 4.5	6.9	-2.8	79.6 \pm 4.2
132P	10.0	1.08E-04	Th-Th	100 - 490	PCA	7	7.7	56.5	81.8 \pm 1.1	0.8	2.4	0.61	0.81	35.7	0.014	0.7	1.136	1.100	1.033	355.9	56.9	73.2 \pm 1.1	1.6	-0.9	72.0 \pm 1.0
134P	3.7	4.00E-05	AF	5 - 125	PCA	15	4.0	56.4		0.8						0.2	1.524	1.090	1.397	356.6	65.9				
135P1	13.9	1.50E-04	Th-Th	100 - 575	PCA	12	359.6	58.7	70.1 \pm 0.5	1.1	1.7	0.95	0.87	121.1	0.007	-2.2	1.427	1.311	1.088	0.5	60.8	76.6 \pm 0.6	1.3	-2.2	
136P	26.8	2.89E-04	AF	10 - 100	PCA	9	356.4	65.3		0.4						-4.5	1.216	1.060	1.146	357.0	65.1				
137P	22.1	2.38E-04	Th-Th	100 - 490	PCA	7	358.7	58.3	74.7 \pm 1.1	0.7	2.8	0.51	0.80	28.9	0.014	-3.5	1.080	1.051	1.028	6.2	60.7	79.8 \pm 1.1	4.5	-0.6	76.2 \pm 1.1
138P	8.1	8.76E-05	AF	100 1000	PCA	9	1.0	60.0		0.5						-2.4	1.116	1.047	1.066	0.5	62.4				
139P	32.2	3.48E-04	Th-Th	100 - 490	PCA	7	1.3	63.7	81.0 \pm 1.2	0.6	2.7	0.50	0.79	26.7	0.015	-1.5	1.154	1.066	1.083	359.7	64.0	82.2 \pm 1.2	2.5	-0.3	80.1 \pm 1.2
140P	18.7	2.02E-04	AF	5 - 100	PCA	11	358.0	61.3		0.4						-2.2	1.101	1.030	1.069	0.3	63.1				
141P1	13.2	1.43E-04	Th-Th	100 - 575	PCA	12	358.3	59.1	76.3 \pm 0.8	1.2	1.7	0.93	0.89	75.5	0.011	-2.4	1.053	1.020	1.032	357.8	58.9	80.9 \pm 0.9	1.0	-3.3	
142P1	11.5	1.25E-04	Th-Th	100 - 490	PCA	7	358.2	60.3	73.1 \pm 0.7	0.7	1.8	0.65	0.82	60.0	0.009	-2.3	1.423	1.131	1.258	358.7	62.6	74.9 \pm 0.7	1.6	-0.9	73.7 \pm 0.7
143P1	8.7	9.34E-05	AF	5 - 100	PCA	11	0.3	61.8		0.5						-3.5	1.503	1.051	1.430	1.6	61.9				
144P	20.6	2.23E-04	AF	5 - 100	PCA	10	2.5	63.9		0.5						0.5	1.092	1.021	1.069	2.2	62.2				
145P	7.6	8.22E-05	Th-Th	100 - 490	PCA	7	2.9	58.4	85.1 \pm 1.9	0.7	2.1	0.71	0.81	26.5	0.022	0.9	1.109	1.064	1.043	3.3	59.9	77.7 \pm 1.7	5.1	-1.1	73.7 \pm 1.7
146P1	6.5	6.99E-05	Th-Th	100 - 575	PCA	12	358.1	61.8	76.2 \pm 0.5	1.0	1.8	0.93	0.89	119.6	0.007	-1.1	1.092	1.012	1.079	360.0	62.1	77.3 \pm 0.5	-0.1	-1.3	
147P	5.4	5.85E-05	Th-Th	100 - 490	PCA	7	358.6	62.1	76.3 \pm 1.2	0.8	3.2	0.52	0.80	27.1	0.016	0.8	1.128	1.017	1.109	1.9	64.3	75.9 \pm 1.2	2.4	-3.0	
148P2	13.1	1.41E-04	Th	170 - 520	PCA	8	350.0	64.0		1.0						0.1	1.107	1.032	1.072	351.3	63.2				
149P	12.9	1.39E-04	AF	50 - 100	PCA	5	356.8	62.8		1.4						-4.0	1.137	1.026	1.107	355.7	59.5				

Tableau 4 : Résultats d'archéodirections et d'archéointensités du four 50,92

Cf. Tab.3 pour la légende du tableau.

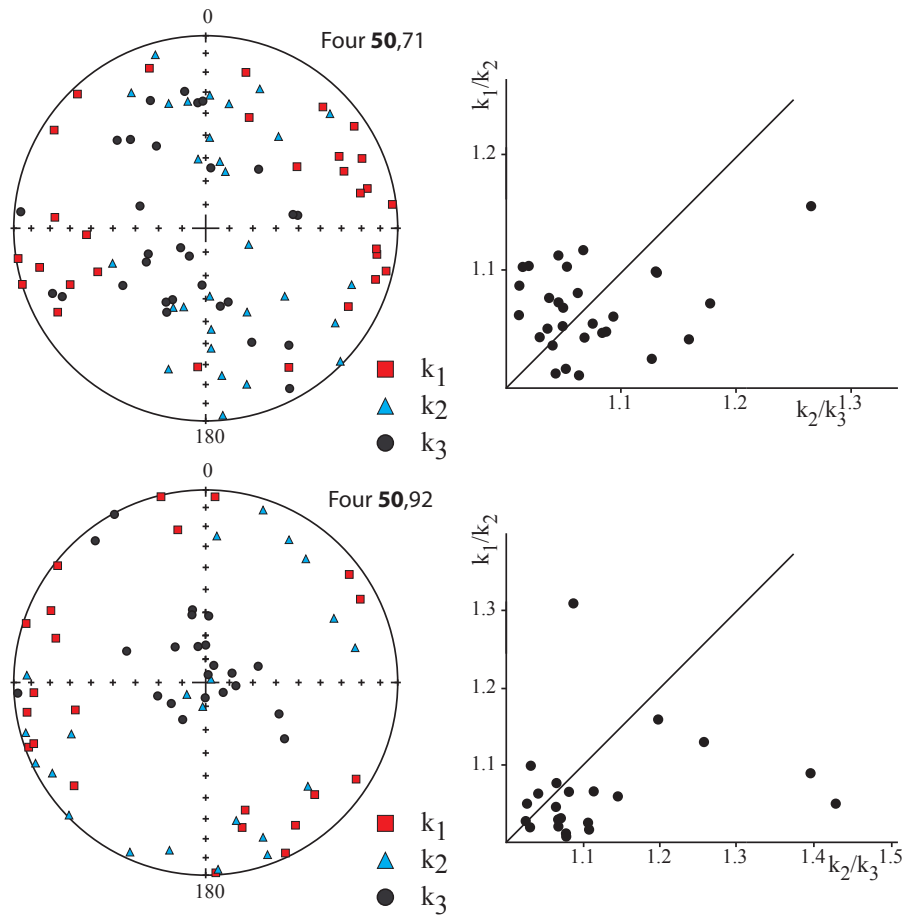


Figure 14 : Représentations stéréographiques (coordonnées in situ) des directions des axes K_1 , K_2 et K_3 du tenseur d'anisotropie et diagrammes de Flinn, pour les fours 50,71 et 50,92.

d. Directions et intensités moyennes des fours 50,71 et 50,92

L'application des corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement réduit significativement la dispersion des archéodirections et des archéointensités. L'archéointensité moyenne des deux fours 50,71 et 50,92 est calculée avec l'ensemble des échantillons. Pour le four 50,71, la moyenne pondérée par le facteur de qualité q (moyenne de Prévôt) est égale à $79.1 \pm 7.1 \mu\text{T}$ (13 échantillons). Pour le four 50,92, l'archéointensité moyenne est égale à $76.6 \pm 4.1 \mu\text{T}$ (11 échantillons).

L'archéodirection moyenne est calculée par la statistique de Fisher. La moyenne des directions par prélèvement (carotte) est d'abord réalisée puis la moyenne des prélèvements. Les archéodirections sont bien regroupées (Figure 15) pour le four 50,71 (facteur de regroupement k égal à 161 pour 25 échantillons), et plus particulièrement encore pour le four 50,92 (facteur k égal à 567 pour 19 échantillons).

Pour le four 50,71, l'inclinaison moyenne est égale à $I = 60.0 \pm 2.3^\circ$ et la déclinaison moyenne à $D = 353.4 \pm 4.6^\circ$.

Pour le four 50,92, l'inclinaison moyenne est égale à $I = 61.7 \pm 1.4^\circ$ et la déclinaison moyenne à $D = 358.3 \pm 2.9^\circ$.

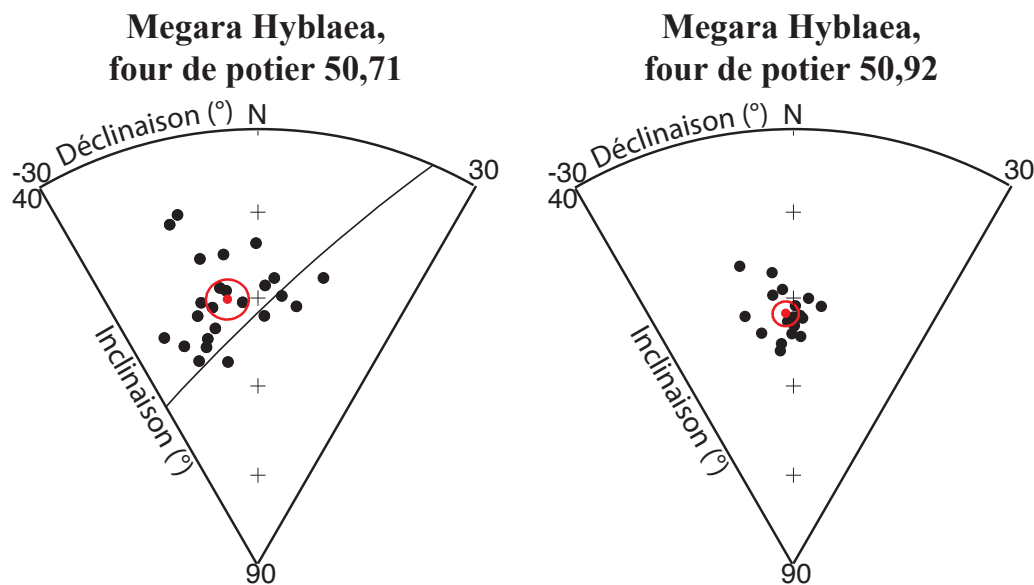


Figure 15 : Représentation stéréographique des directions individuelles en noir et de la direction moyenne avec son erreur à 95% de confiance en rouge des fours 50,71 et 50,92.

Synthèse

Le tableau 5 récapitule les résultats d'archéodirection et d'archéointensité obtenus pour trois des quatre fours prélevés à Megara Hyblaea. Ces valeurs sont utilisées pour la datation de la dernière chauffe de ces trois fours (Cf. Chapitre 10).

	N_{DIR}	D_{site} (°)	I_{site} (°)	α_{95}	k	N_{INT}	$F \pm \sigma$ (μT)
Megara Hyblaea, four 14,21	-	-	-	-	-	-	-
Megara Hyblaea, four des thermes 32,21j	15	353.5	59.9	2.0	369	-	-
Megara Hyblaea, four de potier 50,71	25	353.4	60.0	2.3	161	13	79.1 ± 7.1
Megara Hyblaea, four de potier 50,92	19 (21)	358.3	61.7	1.4	567	11	76.6 ± 4.1

Tableau 5 : Synthèse des résultats archéomagnétiques à Megara Hyblaea

Structure ; Nombre d'échantillons utilisés pour l'archéodirection moyenne ; Inclinaison moyenne, Déclinaison moyenne ; Alpha 95 ; Paramètre de Fisher, quantifiant le regroupement des directions individuelles ; Nombre d'échantillons utilisés pour l'archéointensité moyenne ; Archéointensité moyenne et déviation standard en microTesla

Bibliographie

Vallet, G., Villard, F. & Auberson, P., 1983. *Megara Hyblaea, Guida alla scavi : introduzione alla storia di una città coloniale d'occidente*, Mélanges d'archéologie et d'histoire de l'école française de Rome, Supplément 3, Rome, 182 p.

