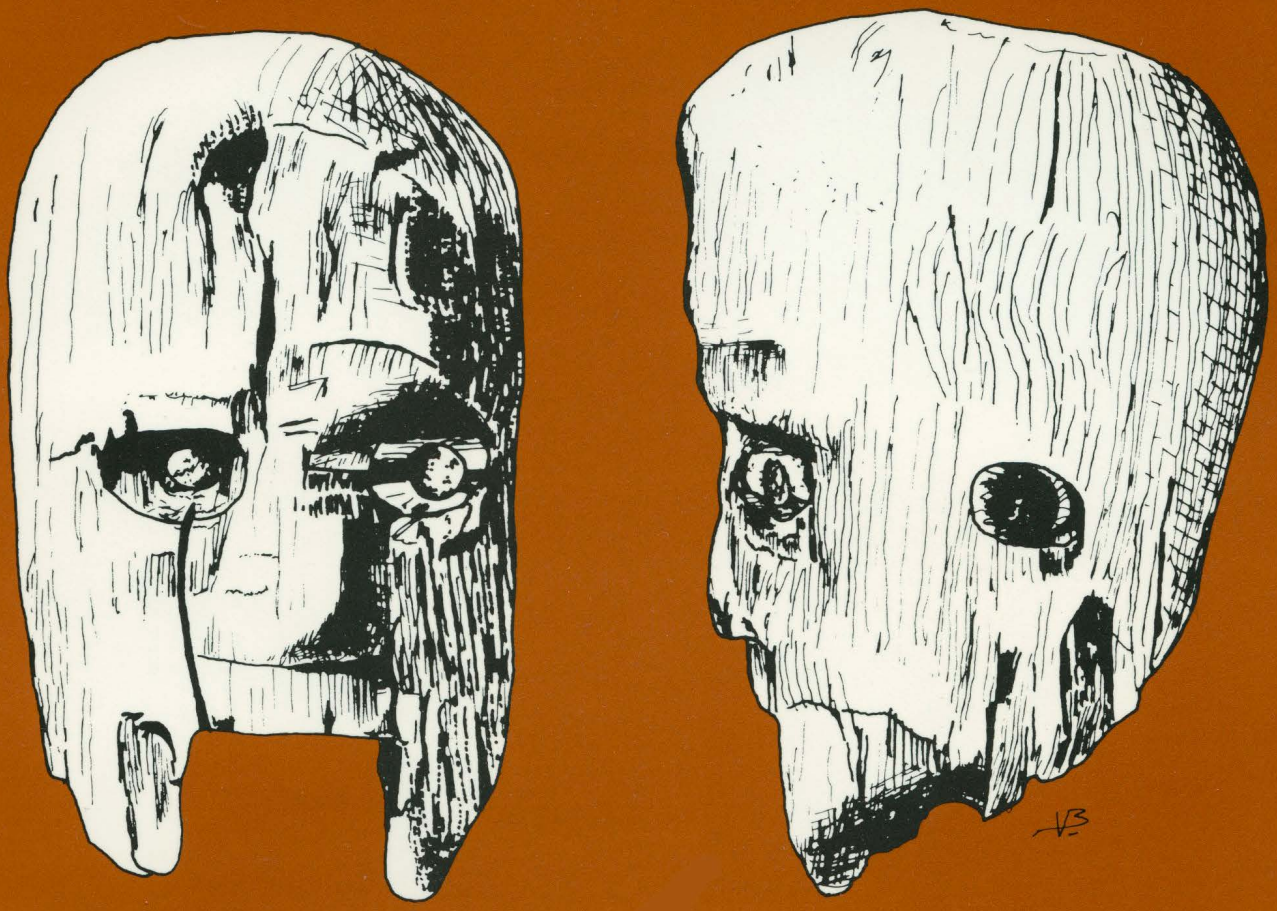
REVUE ARCHEOLOGIQUE DE PICARDIE

Trimestriel - N° 3-4 1989/110 F



- Le Mésolithique du Nord de la France
- L'établissement rural gaulois de La Tène finale à Creil (Oise)
- La maison Forte de ''La Cologne'' à Hargicourt (Aisne)

LA DATATION PAR L'ARCHÉOMAGNÉTISME DES TUILES MÉDIÉVALES DE LA MAISON FORTE DE ''LA COLOGNE'' A HARGICOURT (AISNE)

par Louis GOULPEAU et Philippe LANOS *

PRINCIPES DE LA MÉTHODE

La datation des argiles cuites par l'archéomagnétisme est maintenant classique, mais un bref rappel aidera sans doute à une meilleure compréhension de son application au cas des tuiles médiévales de la maison forte de ''La Cologne'' à Hargicourt (Aisne).

La datation archéomagnétique repose, d'une part sur l'existence d'un champ magnétique terrestre (CMT) variable dans le temps en grandeur et en orientation et, d'autre part, sur la propriété que possèdent les argiles d'acquérir et de mémoriser, au cours du refroidissement consécutif à tout chauffage, une aimantation dite thermorémanente (notée ATR), parallèle et proportionnelle au champ agissant. Les argiles cuites ont donc la propriété d'''enregistrer'' le champ magnétique terrestre ou son image, à un instant donné (celui de leur dernière chauffe) et en un lieu donné.

La variation séculaire du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre et, corrélativement, l'aimantation rémanente qu'il a induite sont des grandeurs vectorielles qui peuvent être caractérisées par leur amplitude (ou intensifié) et leur orientation (repérable par deux angles appelés inclinaison et déclinaison, qui sont les analogues du site et de l'azimut utilisés en topographie). Ces trois paramètres varient simultanément dans le temps, mais leur mesure en laboratoire et l'étude de leurs variations n'ont commencé qu'au XVIIe siècle. La restitution, en deça de ces premières mesures, de la courbe des variations séculaires de l'inclinaison et de la déclinaison repose sur la mesure de la direction des aimantations mémorisées par des argiles cuites, issues de structures archéologiques (fours, foyers...), bien datées par le contexte et recueillies en place. Ce travail, initié en France par E. Thellier (1971 et 1981), est toujours en cours et conduit progressivement, soit à l'affinage du tracé de la courbe là où elle existe, soit tout simplement à son tracé là où il est inconnu.

A Paris, pris comme site de référence, la courbe associant la déclinaison et l'inclinaison (figure 1) montre, qu'au cours de la période historique, la déclinaison a varié entre 23° ouest et 21° est et que l'inclinaison a oscillé entre 54° et 73°. Un tracé plus pratique des variations séculaires de l'inclinaison à Paris, de 800 ap. J.C. à nos jours, est donné en figure 2.

L'archéomagnétisme des matériaux de construction

Si l'argile cuite est restée en place depuis sa dernière cuisson, on procède à un prélèvement *in situ* correctement repéré dans l'espace. La détermination en laboratoire de l'orientation de l'aimantation thermorémanente dans ce repère permettent après calcul de l'inclinaison et de la déclinaison de retrouver la date de dernière cuisson, par simple référence aux courbes de variations séculaires.

Mais pour les matériaux de construction, qui sont dans la plupart des cas, retrouvés lors de fouilles à leur lieu d'utilisation qui diffère de celui de production, la mémoire du trièdre de référence (verticale, nord géographique et un troisième axe) au site de cuisson lors de celle-ci a été perdue dans le transport. Seule une hypothèse supplémentaire, dont le bien-fondé devra être vérifié *a posteriori,* permet de se sortir de cette situation.

Pour des raisons de commodité et de logique de remplissage du four lors de son chargement, il apparaît raisonnable de supposer que les matériaux de construction, de forme parallèlépipèdique, reposaient dans le four sur une de leurs faces planes, sur une sole supposée, au moins statistiquement, horizontale ainsi que le sont les soles dans la majorité des cas. Pour des matériaux de forme aplatie, cette hypothèse entraîne l'existence de trois positions théoriques possibles : à plat, de chant, debout. Ainsi, dans la mesure où la sole du four est statistiquement horizontale et plane, la mémoire du plan horizontal au lieu de cuisson est conservée par l'une des faces des matériaux. L'inclinaison I, angle défini par rapport à ce plan horizontal, peut être retrouvée mais la mémoire de la déclinaison est définitivement perdue.

Dans la pratique, les échantillons sont prélevés sur les matériaux, en vue de la mesure, par carottage en position à plat, puis celle-ci étant effectuée dans le repère lié au matériau, un calcul trigonométrique simple permet de retrouver quelle serait l'inclinaison pour chacune des hypothèses : cuisson à plat, cuisson de chant ou cuisson debout. Il s'avère qu'une seule de ces hypothèses satisfait la condition d'une inclinaison comprise dans l'intervalle (54°, 73° de

* Laboratoire d'Archéométrie, Université de Rennes, Campus de Beaulieu 35042 Rennes cedex.

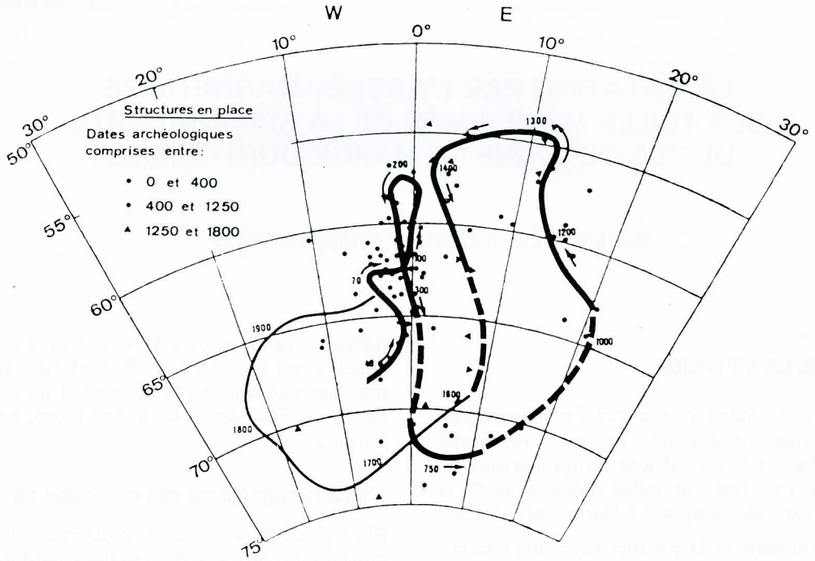


Fig. 1 : Courbe de variation séculaire de l'orientation du CMT à Paris d'après Thellier, 1981, pour les deux derniers millénaires.

variation du CMT (figure 1). Ainsi la position réelle de cuisson des matériaux peut être retrouvée et pour des ensembles importants, il est fréquemment possible de reconstituer la logique du chargement de ceux-ci dans le four de cuisson.

La présentation des résultats.
Le diagramme Inclinaison-Déviation

Si la mémoire de la déclinaison a été perdue lors du déplacement des matériaux depuis leur site de production jusque vers celui d'utilisation, l'orientation de l'aimantation, mesurée dans le plan horizontal, représente l'angle entre l'une des faces verticales des matériaux et le plan du méridien magnétique à l'époque et au lieu de cuisson. Cet angle sera appelé la déviation et noté Δ, pour bien le distinguer de la déclinaison D.

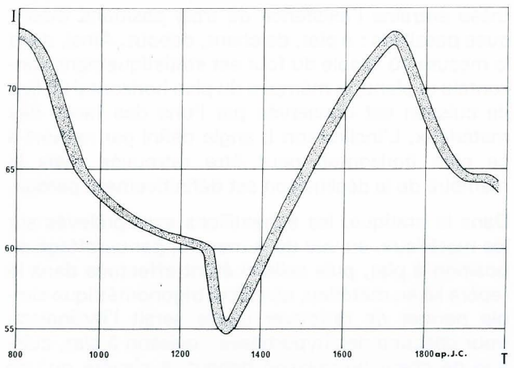


Fig. 2 : Courbe de variation séculaire de l'inclinaison du CMT à Paris, de 800 ap. J.C. à nos jours.

Les résultats des mesures de direction pour l'aimantation, effectuées sur chaque échantillon d'un lot cohérent et qui se traduisent par des couples de valeurs (I, Δ), sont rassemblés dans un diagramme unique dit de pointage, en coordonnées polaires. Le couple de valeurs pour chacun des échantillons de l'ensemble sera représenté par un point. L'inclinaison I figure radialement depuis 90° à l'origine jusqu'à 45° à la périphérie, pour nous limiter à l'intervalle des variations potentielles de l'inclinaison, en ne conservant que la valeur de celle-ci correspondant à la position réelle de cuisson. La variation de la déviation Δ représentée circulairement est limitée à l'intervalle de - 90° (90°W) à + 90° (90°E) puisqu'une indétermination demeure qui découle de l'impossibilité où nous sommes de différencier un bord droit d'un bord gauche par suite de la symétrie des matériaux. Par contre, on sait distinguer la face supérieure (face lissée par convention) de la face inférieure (brute de moulage). Lors du pointage dans le plan Inclinaison-Déviation, les matériaux cuits sur la tranche avec la face supérieure vers le nord seront repérés par un symbole plein et ceux cuits la face supérieure tournée vers le sud par un symbole vide.

Tous les matériaux cuits à la même date, dans une même position spatiale et donc probablement dans un même four constituent un lot cohérent et devraient donner à la mesure un même couple de valeurs et donc un même point dans le diagramme de pointage. En fait, on observe une dispersion autour d'une valeur moyenne que les méthodes statistiques permettront de déterminer. Cette dispersion s'explique principalement par l'inhomogénéité de l'aimantation dans les argiles cuites, par les erreurs commises lors du repèrage et des mesures, par la forme plus ou moins parallèlépipèdique des matériaux (fréquemment voilés) et par les écarts aléatoires entre les positions réelles et les positions théoriques supposées. L'augmentation des effectifs de l'échantillon étudié a précisément pour but d'essayer de minimiser statistiquement l'influence de ces différentes sources d'erreur.

L'organisation plus ou moins régulière des groupements de points dans le plan Inclinaison-Déviation permet d'interpréter, dans la majorité des cas, la logique de l'organisation des chargements dans le four. Par exemple, deux groupements de points, situés pour une même valeur de l'inclinaison (sur un même cercle centré sur l'origine) et des valeurs approximativement complémentaires de la déviation, traduisent un chargement qui, couche par couche (ou au sein d'une même couche), associe des rangées de matériaux croisés orthogonalement (fig. 3), ce qui correspond au cas fréquemment rencontré pour les *tegulae* et les briques gallo-romaines cuites en position debout et la plupart du temps dans un four rectangulaire. L'absence de complémentarité, même approximative, entre les valeurs des déviations, pour deux groupements de points qui ont même inclinaison, peut correspondre à une organisation par rangées adjacentes des matériaux disposés en chevrons, comme c'est par exemple le cas fréquemment observé pour les tuiles médiévales à crochet, cuites de chant (voir le grand four de la cour du Louvre) ou les carreaux de pavage d'Artois occidental étudiés par Didier Deroeux (Carette et Deroeux, 1985, p. 42).

Analyse des effets perturbateurs

Cette situation de principe, presque idéale, est fréquemment troublée par l'action d'effets perturbateurs qui peuvent être groupés en trois familles selon l'essence même de leur action : les effets de position, les effets de recuit et les effets d'anisotropie.

a) Les effets de position sont liés à des écarts systématiques et non plus aléatoires, par rapport aux positions théoriques : à plat, de chant et debout. Pour des matériaux de forme générale aplatie comme c'est le cas pour les *tegulae* ou les briques romaines et les tuiles à crochet, la stabilité d'un chargement de

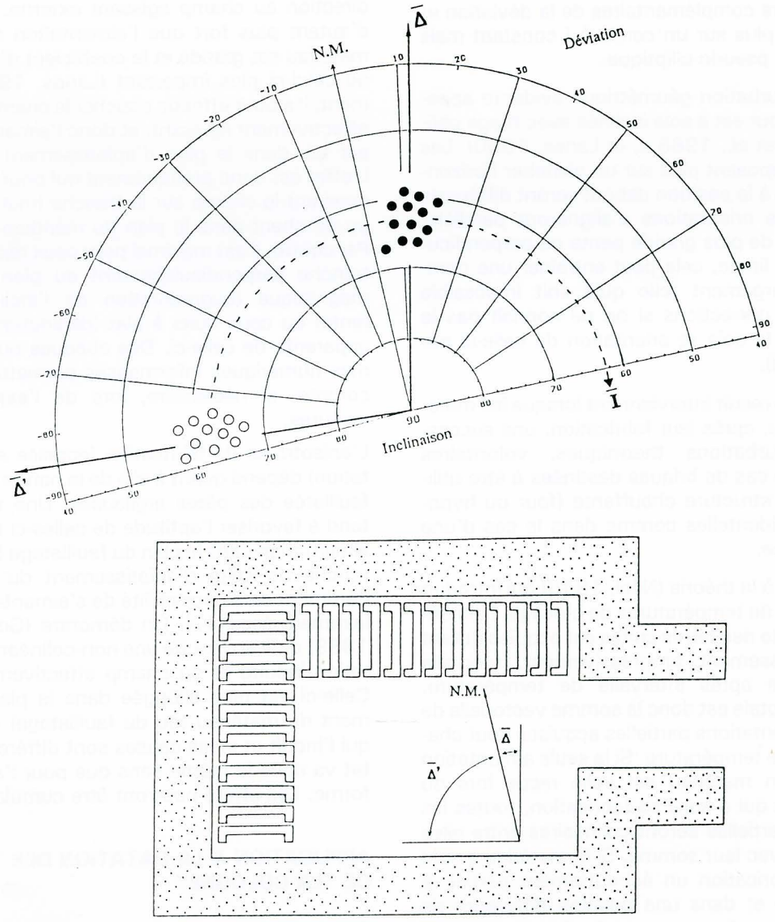


Fig. 3 : Exemple d'interprétation des groupements de points dans le diagramme Inclinaison - Déviation (cas de rangées orthogonales).

matériaux, dressés sur la tranche pour favoriser le tirage vertical, n'est pas assurée. Il peut être amélioré partiellement par un croisement orthogonal, en rangées ou en quinconce, de groupes de matériaux. Mais, fréquemment, un pendage systématique des matériaux est adopté, de façon à adosser les rangées aux parois du four. Dans un tel cas, le pendage induit un écart entre les valeurs apparentes (mesurées) de l'inclinaison et de la déviation et les valeurs vraies. Pour résumer, le calcul trigonométrique montre que, pour les matériaux dont le plan d'aplatissement est voisin du plan du méridien magnétique, la perturbation affecte surtout les valeurs apparentes de la déviation mais n'a que peu d'influence sur celles de l'inclinaison. Par contre, pour ceux dont le plan d'aplatissement est orthogonal au plan du méridien magnétique, l'effet induit un écart, entre la vraie valeur de l'inclinaison et celle effectivement mesurée, proche en grandeur de l'angle de pendage défini par l'écart avec la verticale. Dans l'hémisphère nord, il y a diminution apparente de la valeur si le pendage a lieu vers le nord et augmentation s'il a lieu vers le sud. Dans le diagramme Inclinaison-Déviation, pour une organisation des matériaux en rangées orthogonales, les groupements de points ne se situeront plus pour des valeurs complémentaires de la déviation et ne s'inscriront plus sur un cercle à I constant mais sur une courbe pseudo-elliptique.

Une autre perturbation géométrique évidente apparaît lorsque le four est à sole inclinée avec tirage oblique (Goulpeau et *al.,* 1986 a, et Lanos, 1990). Les matériaux ne reposant plus sur un plancher horizontal, leurs écarts à la position debout seront différents selon que leurs orientations s'aligneront parallèlement à la ligne de plus grande pente ou perpendiculairement. A la limite, cela peut entraîner une complexité du chargement telle qu'il soit impossible d'effectuer les corrections si on ne connaît pas le four (pente de la sole et orientation de celle-ci par rapport au nord).

b) Les effets de recuit interviennent lorsque les matériaux ont connu, après leur fabrication, une succession de perturbations thermiques, volontaires comme dans le cas de briques destinées à être utilisées dans une structure chauffante (four ou hypocauste) ou accidentelles comme dans le cas d'une toiture incendiée.

Conformément à la théorie (Néel, 1949) qui introduit tout un spectre de températures de blocage, l'aimantation rémanente des terres cuites est acquise durant tout le refroidissement, progressivement, intervalle de température après intervalle de température. L'aimantation totale est donc la somme vectorielle de toutes ces aimantations partielles acquises pour chaque intervalle de température. Si la seule aimantation rémanente d'un matériau est celle reçue lors du refroidissement qui a suivi sa fabrication, toutes les aimantations partielles seront colinéaires entre elles et également avec leur somme. Si le matériau a subi après cette fabrication un échauffement partiel, à une autre date et dans une position différente de celle de cuisson, il aura enregistré une nouvelle aimantation partielle qui ne sera plus colinéaire des précédentes. L'aimantation résultante sera la somme vectorielle de ces deux composantes d'orientations différentes. Aujourd'hui, en laboratoire, par des techniques de désaimantation progressive sous champ nul (Goulpeau et *al.,* 1986b), on sait séparer ces deux composantes et par suite retrouver séparément la position du matériau lors de chacun de ces faits thermiques marquants (par exemple debout lors de la fabrication et à plat lors de l'emploi dans la structure chauffante) et l'inclinaison du CMT et donc la date pour chacun de ceux-ci. Ceci admet que, durant tout le refroidissement consécutif à chacun des faits thermiques, le matériau soit resté dans une position fixe pour assurer la cohérence des aimantations partielles. Le cas d'une toiture s'effondrant progressivement au cours d'un incendie sort ainsi du champ des possibilités d'interprétation.

c) Les effets d'anisotropie englobent aussi bien ceux qui se rapportent à l'anisotropie de forme que ceux qui se réfèrent à l'anisotropie de fabrication.

Les premiers sont liés aux distorsions du CMT ambiant, induites par la présence du matériau aimanté lui-même. Celui-ci crée son propre champ, appelé champ démagnétisant parce qu'il s'oppose en direction au champ agissant externe. Cet effet est d'autant plus fort que l'aimantation rémanente du matériau est grande et le coefficient d'aplatissement de celui-ci plus important (Lanos, 1987). Globalement, il a pour effet de coucher le champ magnétique effectivement agissant, et donc l'aimantation induite par lui, dans le plan d'aplatissement du matériau. L'effet est donc pratiquement nul pour les matériaux recevant le champ sur la tranche (matériaux debout ou de chant dans le plan du méridien magnétique). Par contre, il est maximal pour ceux reposant sur leur tranche perpendiculairement au plan du méridien magnétique (augmentation de l'inclinaison apparente) ou ceux cuits à plat (diminution de la valeur apparente de celle-ci. Des abaques ou des algorithmes numériques informatisés permettent d'en tenir compte, si nécessaire, lors de l'exploitation des mesures.

L'anisotropie de fabrication (appelée aussi d'aimantation) dépend quant à elle de la nature fréquemment feuilletée des pâtes argileuses. Une telle structure tend à favoriser l'aptitude de celles-ci à acquérir une aimantation dans le plan du feuilletage (généralement proche de celui d'aplatissement du matériau) au détriment de sa possibilité de s'aimanter perpendiculairement à celui-ci. On démontre (Goulpeau et *al.,* 1989) qu'il en résulte une non-colinéarité de l'aimantation induite et du champ effectivement agissant. Celle-ci est plus allongée dans le plan d'aplatissement du matériau (ou du feuilletage) que le champ qui l'induit et si les causes sont différentes, le résultat va dans le même sens que pour l'anisotropie de forme. Les effets pourront être cumulatifs.

APPLICATION A LA DATATION DES TUILES DE ''LA COLOGNE''

Sur ces bases, nous avons procédé à l'étude archéomagnétique de deux ensembles distincts de tuiles trouvés en fouilles à ''La Cologne''. Ces ensembles proviennent respectivement d'unités stratigraphiques liées aux périodes II et III de l'histoire de la maison forte.

D'une part, des fragments de tuiles proviennent du niveau supérieur de la couche 230, en H15-I14, au sud de la grange B, en relation avec des éléments de la période II. Ce groupe, nomenclaturé HARGI 2, a fourni 73 échantillons qui ont pu être soumis à des mesures de l'aimantation rémanente.

D'autre part, deux lots constituant un même ensemble dénommé HARGI 3, nous ont donné 91 échantillons. Le premier lot, recueilli en M16, à l'angle nord-est de la grange E, provient de la couverture de celle-ci et porte des traces d'incendie. Le second lot, trouvé dans le fossé extérieur, en G22, à l'aplomb de la salle F du corps de logis, doit provenir de la toiture de celui-ci. Les mesures sur le comportement magnétique de ces deux lots ne permettant pas de relever des différences, ceux-ci ont été traités comme un seul ensemble de la période III.

Analyse des positions de cuisson

Ces matériaux possèdent une aimantation rémanente d'amplitude moyenne égale à 2,6 SI pour le lot HARGI 2 et à 1,8 SI pour l'ensemble HARGI 3. Ces valeurs sont dans la gamme des grandeurs habituellement observées pour des tuiles à crochet : de 1,5 SI pour l'église du XVIe siècle de La Bussière-sur-Ouche (Côte d'Or) à 5,3 SI pour l'abbaye d'Olivet (Mayenne) du XIVe siècle.

Après correction des données mesurées, afin de tenir compte des anisotropies de forme et de fabrication, et, dans le cas du lot HARGI 3, après désaimantation thermique partielle pour éliminer d'éventuelles séquelles de l'incendie, on observe pour ces ensembles de matériaux non-synchrones les mêmes règles de distribution des positions occupées par ceux-ci lors de leur cuisson.

	Position de chant	Position debout	Position à plat
HARGI 2	80 %	13 %	7 %
HARGI 3	81 %	11 %	8 %

La même logique, où prédominent les matériaux disposés de chant, a présidé aux chargements des fours où ces tuiles plates à crochet ont été fabriquées, à des périodes probablement rapprochées mais différentes.

Ce type de logique de chargement se rencontre assez fréquemment et a trouvé confirmation lors de la fouille récente d'un grand four de tuiliers médiévaux dans la cour du Louvre, four trouvé avec un reste de chargement en place : un niveau de plusieurs rangées en arêtes de poissons de tuiles plates disposées de chant et en chevrons. Mais des logiques de chargement, où des matériaux en position debout se rencontrent en majorité, ont été également trouvées : abbaye d'Olivet (Mayenne) avec 93 % de matériaux debout ou abbaye d'Oigny (Côte d'Or) avec 2/3 debout pour 1/3 de chant. Il y a là, l'amorce d'une étude d'archéotechnologie qui reste à entreprendre.

Analyse des valeurs de l'inclinaison

Les valeurs mesurées des inclinaisons pour chaque ensemble de matériaux présentent de fortes dispersions (les écarts-types sont supérieurs à 8°) et les histogrammes, tout en restant monomodaux, sont épais et dissymétriques. La correction de ces valeurs mesurées (correction des anisotropies de forme et de fabrication) et l'élimination des aimantations parasites (désaimantations thermiques partielles) améliorent un peu la situation en conduisant à des histogrammes bien nets (fig. 4) mais les valeurs des écarts-type restent fortes (de l'ordre de 7°).

Les valeurs moyennes des inclinaisons I et les valeurs des modes relevés sur chaque histogramme I_{max} sont respectivement :

I = 60° et I_{max} = 57°5 pour HARGI 2
I = 61°6 et I_{max} = 62°5 pour HARGI 3.

Les écarts sont dans le sens des légères dissymétries observées sur les histogrammes de la figure 4.

Le pointage des résultats individuels dans le diagramme Inclinaison-Déviation et le traitement statistique de la densité des points permettent de faire apparaître et de localiser les groupements significatifs de ceux-ci (fig. 5a et 5b). Pour chacun des ensembles de tuiles étudiés, une distribution analogue des groupements peut être observée. Deux de ceux-ci, A et B, sont situés approximativement sur un même cercle à I constant. Dans le cas du lot HARGI 3, une légère correction d'anisotropie de fabrication ramènerait le groupement B sur le même cercle à I constant que le groupement A. Ces deux groupements sont caractéristiques d'une organisation classique du chargement des matériaux en rangées à chevrons alternés, organisation dite également en arêtes de poissons. L'angle au sommet des chevrons est de 120° (supplément de 60°) pour les matériaux constituant le lot HARGI 2 et de 134° (supplément de 46°) pour ceux appartenant au lot HARGI 3. Pour ces deux ensembles, les déviations sont différentes, traduisant une différence d'orientation des fours de cuisson. Les valeurs de l'inclinaison, lues sur les cercles à I constant seront prises comme référence lors de la datation à savoir : I égal localement à 58° pour le lot de la période II et I égal localement à 62° pour le lot de la période III.

Un troisième groupement de points, C sur la figure 5, apparaît dans chaque cas pour des valeurs de l'inclinaison supérieures à 70° et même, dans le cas du lot HARGI 2, supérieures au maximum de 74° observé aux époques historiques récentes (fig. 2). Il y a donc, dans la logique du chargement, un effet géométrique de type pendage qui vient perturber gravement la valeur apparente de l'inclinaison mesurée pour certaines des tuiles. La similitude des situations, observées pour des lots cuits à des dates différentes et dans des fours différents, montre qu'il s'agit d'une pratique technologique constante dans les ateliers de la région à l'époque considérée.

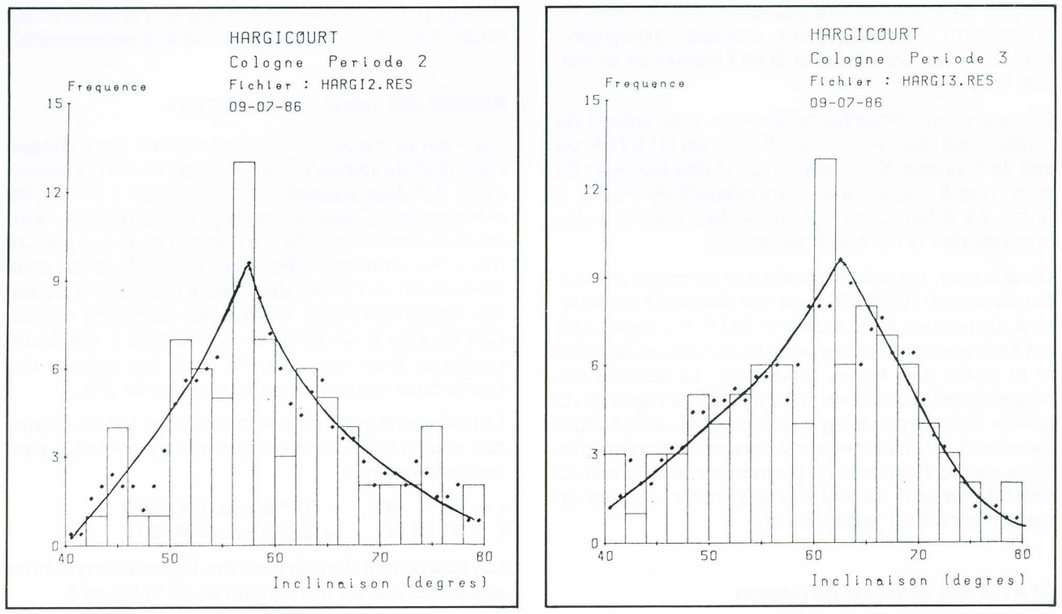


Fig. 4 : Histogrammes des inclinaisons pour les ATR des matériaux de ''La Cologne'' en Hargicourt (Aisne) : (a) période II et (b) période III.

Analyse de la perturbation thermique subie par le lot HARGI 3

Les résultats bruts des mesures effectuées sur les échantillons du lot HARGI 3 ont montré une dispersion importante et leur pointage dans le diagramme Inclinaison-Déviation a conduit à des nuages de points qui se résolvent mal en groupements. A titre exploratoire, une désaimantation progressive a donc été effectuée sur un sous-ensemble de 12 échantillons prélevés au hasard. Les étapes successives de la désaimantation ont donné les résultats suivants.

- La moitié des matériaux étudiés présente une aimantation qui demeure constante en direction lors du processus. Ces matériaux n'ont donc pas subi de perturbation thermique détectable. La variation des amplitudes de l'ATR au cours de cette étude (fig. 6) montre l'excellente cohérence du comportement de ces matériaux, confirmant l'unicité de leur provenance.

- Le reste des matériaux révèle la présence d'une composante perturbée. Toutefois, l'incendie a dû être assez modeste, les températures atteintes n'excédant pas 200 à 250°C dans la majorité des cas. Seulement 10 % des matériaux étudiés ont subi des perturbations thermiques plus sévères, pouvant atteindre 400°C.

A la suite de cette étude préliminaire, l'ensemble des 91 éléments du lot a été désaimanté sous champ nul jusqu'à 425°C. C'est après le nettoyage thermique de ces composantes perturbatrices de l'ATR, que l'inclinaison locale lors de la fabrication de ces tuiles a pu être déterminée.

Discussion des dates de fabrication des matériaux constituant ces deux lots

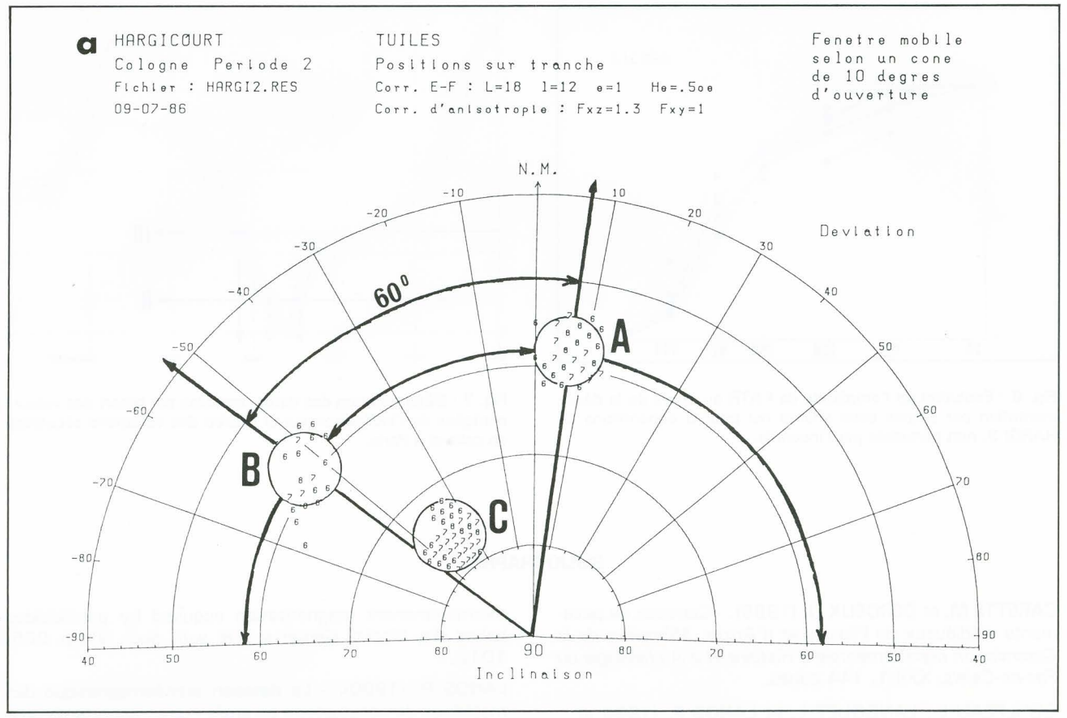
Les courbes de référence étant normalisées à Paris, une correction de latitude a été faite sur les bases de la table dressée par Thellier (1981) et pour une différence entre Hargicourt et Paris de 1°8'. Les valeurs corrigées seront : 56°9 pour la période II et 61°1 pour la période III, valeurs qui reportées sur la courbe des variations séculaires de l'inclinaison (fig. 7) conduisent aux dates potentielles suivantes :

1290 ap. J.C. ou 1360 ap. J.C. pour les matériaux de la période II,
1435 ap. J.C. pour ceux de la période III qui lui est postérieure.

Pour la période II, c'est la première des deux solutions qui s'accorde le mieux avec la chronologie générale du site, telle que proposée par les archéologues au vu des données de la fouille et du matériel associé. Mais pour la période III, la solution proposée fait problème en ce qu'elle correspond mieux à la fin de la période III qu'à la construction des bâtiments en début de celle-ci. Y a-t-il eu réfection des toitures à une date basse durant la période II ? Y a-t-il des indices archéologiques qui ont disparu lors de la première Guerre mondiale qui a sérieusement marqué le site ? Quoi qu'il en soit, toutes les perturbations susceptibles de modifier les résultats ont été prises en compte et rien ne permet de les mettre en doute.

En conclusion, nous ne pouvons que maintenir :

période II : construction entre 1275 et 1300 ap. J.C.
période III : matériaux fabriqués entre 1420 et 1450 ap. J.C.



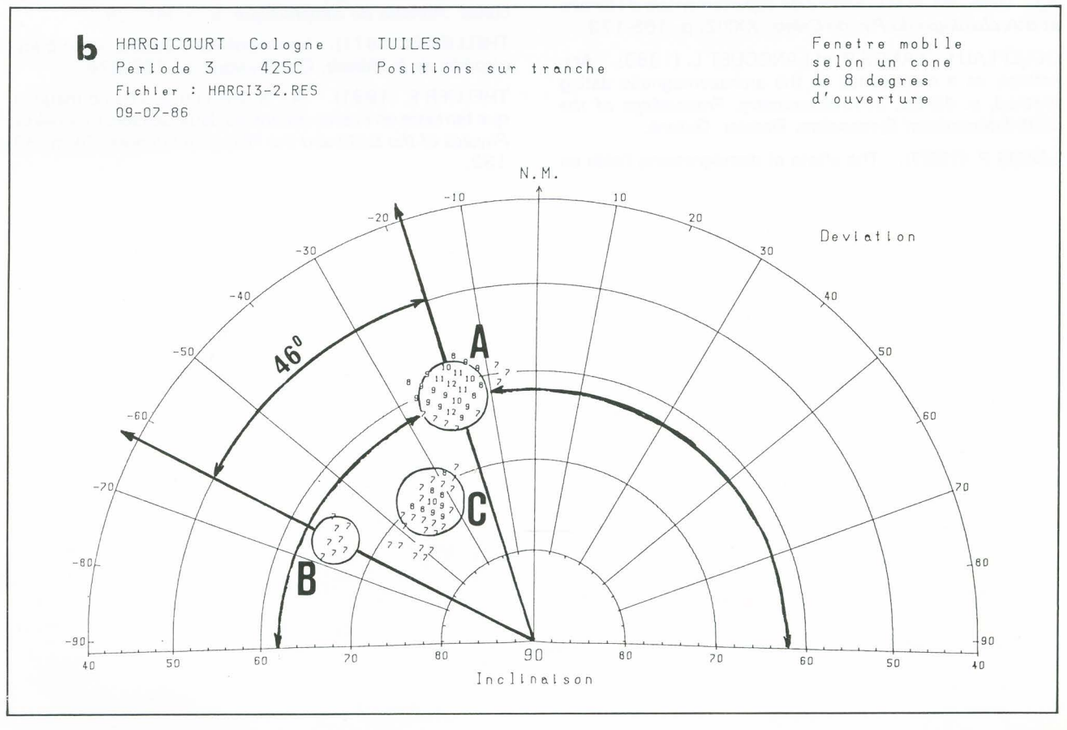


Fig. 5 : Diagramme des groupements de points dans le plan Inclinaison - Déviation pour les matériaux de ''La Cologne'' en Hargicourt (Aisne) : (a) période II et (b) période III.

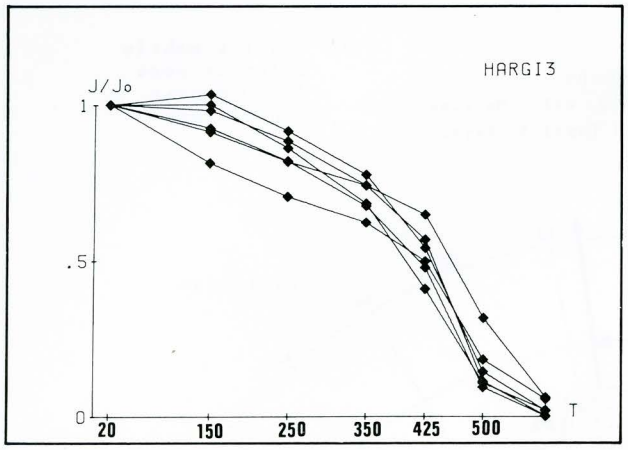


Fig. 6 : Evolution de l'amplitude de l'ATR au cours de la désaimantation par étapes sous champ nul pour 6 échantillons de HARGI 3, non perturbés par l'incendie.

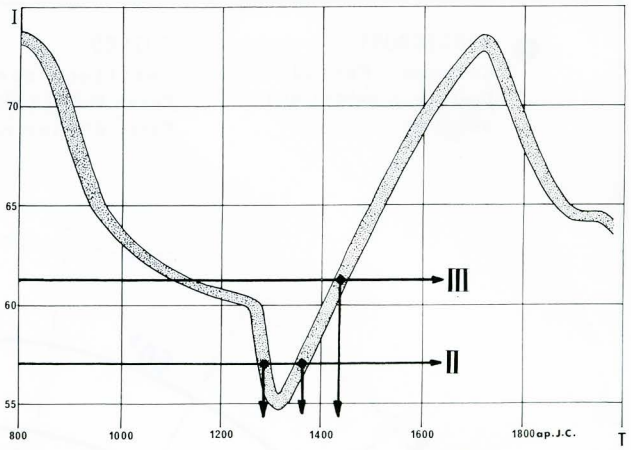


Fig. 7 : Détermination des dates possibles par report des valeurs corrigées de l'inclinaison sur la courbe des variations séculaires de celle-ci à Paris.

BIBLIOGRAPHIE

CARETTE M. et DEROEUX D. (1985). - Carreaux de pavements médiévaux de Flandre et d'Artois. *Mémoires de la Commission départementale d'Histoire et d'Archéologie du Pas-de-Calais,* XXII/1, 144 pages.

GOULPEAU L., LANGOUET L. et LANOS P. (1986 a). - Apport de l'archéomagnétisme à l'étude de l'évolution des technologies de fabrication des matériaux de construction en argile cuite, dans *Terres cuites architecturales au Moyen Age. Mémoires de la Commission départementale d'Histoire et d'Archéologie du Pas-de-Calais,* XXII/2, p. 165-173.

GOULPEAU L., LANOS P. et LANGOUET L. (1989). - Anisotropy as a disturbance of the archaeomagnetic dating method, p. 45-58, in *Archaeometry, Proceedings of the 25th International Symposium,* Elsevier, Oxford.

LANOS P. (1987). - The effets of demagnetizing fields on thermoremanent magnetization acquired by parallelsided baked clay blocks. *Geophys. J.R. astr. Soc.,* 91, p. 985-1012.

LANOS P. (1990). - La datation archéomagnétique des matériaux de construction en argile cuite : apports chronologiques et technologiques. *Gallia,* 47, à paraître.

NÉEL L. (1949). - Théorie du traînage magnétique des ferromagnétiques en grains fins avec applications aux terres cuites. *Annales de Géophysique,* 5, p. 99-136.

THELLIER E. (1971). - Le magnétisme interne, dans *Encyclopédie de la Pléïade,* Géophysique, p. 235-376.

THELLIER E. (1981). - Sur la direction du champ magnétique terrestre en France durant les deux derniers millénaires. *Physics of the Earth and the Planetary Interiors,* 24, p. 89-132.