



Une meunerie hydraulique d'époque gallo-romaine à Vannes (Morbihan, France)

Vincent Bernard, Vérane Brisotto, Tatjana M. Gluhak, Laure Simon, Michel Baillieu

► To cite this version:

Vincent Bernard, Vérane Brisotto, Tatjana M. Gluhak, Laure Simon, Michel Baillieu. Une meunerie hydraulique d'époque gallo-romaine à Vannes (Morbihan, France). Luc Jaccottey et Gilles Rollier (eds). Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale. Actes du colloque international, Lons-le-Saunier du 2 au 5 nov. 2011, 20 (1), Presses Universitaires de Franche-Comté, pp.99-118, 2016, Annales Littéraires 954, Série "Environnement, sociétés et archéologie", 978-2-84867-557-2. hal-01774496

HAL Id: hal-01774496

<https://inrap.hal.science/hal-01774496>

Submitted on 4 Jan 2021

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

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

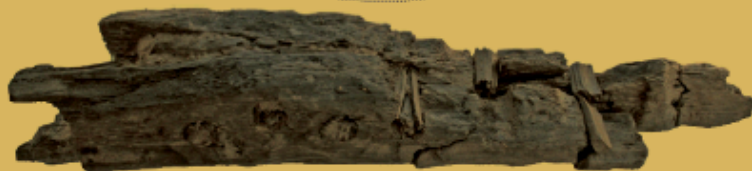
Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent des origines à l'époque médiévale et moderne en Europe et dans le monde méditerranéen

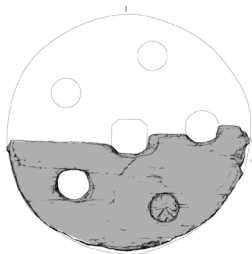
Actes du colloque international, Lons-le-Saunier du 2 au 5 novembre 2011

volume I



Édités par
LUC JACCOTTEY et GILLES ROLLIER





Archéologie des moulins hydrauliques,
à traction animale et à vent
des origines à l'époque médiévale et moderne
en Europe et dans le monde méditerranéen
Jaccottey (L.) et Rollier (G.) éd. –
Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté, 2016, p. 99.
(Annales Littéraires, 954 ; Série « Environnement, sociétés et archéologie », 20)

UNE MEUNERIE HYDRAULIQUE D'ÉPOQUE ROMAINE À VANNES (MORBIHAN, FRANCE)*

VINCENT BERNARD¹, VÉRANE BRISOTTO², TATJANA M. GLUHAK³, LAURE SIMON⁴, MICHEL BAILLIEU⁵

Résumé

Une surveillance de chantier menée à Vannes a révélé les restes d'un moulin hydraulique entièrement en bois, d'époque romaine. Il pourrait ne pas avoir été isolé, car divers indices suggèrent l'hypothèse de l'existence d'autres installations dans ce quartier. Les vestiges mis au jour comprennent un bâtiment et le bief d'un moulin, implantés dans un creusement du substrat rocheux, où une pente d'environ 7° a été donnée au coursier en bois. L'assise du bâtiment, constituée de sablières assemblées à mi-bois, a été aménagée dans une fosse quadrangulaire taillée dans la roche à l'emplacement d'un dénivelé améliorant l'énergie potentielle de l'eau. De cette situation découle donc une alimentation de la roue par le dessus. Des alluchons, des planches interprétées comme des pales, ainsi que plusieurs éléments de meules en pierre volcanique, ont été découverts. D'après les analyses effectuées, cette roche proviendrait de différentes carrières du Massif Central. Les apports conjoints de la dendrochronologie et de la céramique permettent d'attribuer ces vestiges à la seconde moitié du 1^{er} s. ap. J.-C.

Abstract

Surveillance of a construction work at Vannes identified a wooden Gallo-Roman watermill that, from other features in the area, was probably not an isolated feature. The excavated features included a mill house and a mill race cut into the bedrock with a slope of about 7° that increased the hydraulic power. The foundation of the building, consisting of sills assembled by means of halved corner joints, was set in a square hole cut into the bedrock. The water wheel was powered by overshot. Finds included wooden cogs and boards interpreted as blades for a paddle wheel, as well as several fragments of volcanic millstones. According to the geological analysis, the millstones were imported from different quarries in the Massif Central. The combination of dendrochronological analyses and the study of pottery point to a dating from the second half of the 1st century AD.

* Les auteurs tiennent à remercier Luc Jaccottey pour son soutien dans la réalisation de ce travail.

1. CNRS, UMR 6566, CReAAH, Rennes ; vincent.bernard@univ-rennes1.fr

2. Inrap Cesson-Sévigné, 37 rue du Bignon, 35577 Cesson-Sévigné, Programme Collectif de Recherche « Évolution typologique et technique des meules du Néolithique à l'an mille » ; verane.brisotto@inrap.fr

3. Institute of Geosciences Johannes Gutenberg University Mainz, Allemagne ; gluhak@uni-mainz.de

4. Inrap Cesson-Sévigné, 37 rue du Bignon, 35577 Cesson-Sévigné, UMR 6566 ; laure.simon@inrap.fr

5. Inrap Cesson-Sévigné, 37 rue du Bignon, 35577 Cesson-Sévigné ; michel-alain.baillieu@inrap.fr

1. CADRE GÉNÉRAL DE L'INTERVENTION

Les vestiges ont été découverts fortuitement lors d'une surveillance de travaux à Vannes, en septembre 2000, dans le quartier de la gare (rue François d'Argouges). À l'époque romaine, Vannes-*Darioritum* était la capitale de la cité des Vénètes d'Armorique, en Gaule Lyonnaise.

Il s'agit d'une meunerie dont il subsiste différents aménagements. Un radier de fondation quadrangulaire, formé de quatre sablières de chêne assemblées de 2,20 m de côté, constitue les fondations du puits d'engrenage d'un moulin (fig. 1-2). La sablière orientale du puits (B04) présente une mortaise médiane afin de recevoir le poteau supportant l'arbre moteur de la roue. À l'opposé, un cinquième élément de même dimension, mais isolé du reste par l'auge de la roue (B06), constitue l'autre extrémité de l'axe de la roue. Cette pièce comporte également deux mortaises obliques pour des jambes de force qui atténuaient l'ébranlement de la structure en rotation.

La mise au jour d'un coursier monoxyle de chêne de 6,75 x 0,50 m, au même niveau que les fondations, vient compléter cet ensemble. On notera également la présence de nombreux éléments de bois travaillés, parmi lesquels certains étaient tournés, retrouvés *a posteriori* dans les remblais de recouvrement. Parmi ceux-ci, on a pu reconstituer quelques planches de chêne rectangulaires ($\approx 45 \times 17 \times 2$ cm) interprétées initialement comme des pales. Mais, à partir des dimensions internes du

coursier (0,40 m de large max.) et de l'emplacement estimé de l'arbre moteur, le diamètre de la roue devait avoisiner 2 et 2,30 m pour une largeur de 0,33 et 0,35 m. En conséquence, on pourra remettre en cause l'interprétation de ces planches en tant que pales, ou tout au moins comme pales appartenant à ce moulin.

Cet ouvrage nécessite l'aménagement d'un bief qui traverse la parcelle du nord au sud (fig. 3). Si le système d'alimentation en eau n'a pu être étudié, on a pu observer à partir de la coupe nord du site, en partie amont du moulin, le creusement d'une tranchée étroite, aux parois parfaitement verticales, habillée d'un coffrage en bois. En aval du coursier, elle se prolonge sous la forme d'un fossé plus évasé (0,90 m de large pour 1,20 m de profondeur) afin de favoriser l'évacuation des eaux.

Les premiers éléments de datation issus de l'étude dendrochronologique permettent de proposer un fonctionnement du moulin à partir du troisième quart du I^{er} s. de notre ère. Le matériel céramique associé aux structures en place couvre la deuxième moitié du I^{er} s. ap. J.-C., des années 60 à 70/80.

Cette découverte est à mettre en relation avec l'implantation d'une importante *domus* de la période flavienne, située à environ 300 m au nord-est (quartier Saint-Symphorien). Les premiers résultats d'un travail pluridisciplinaire en cours permettent d'aborder différents aspects de cette installation, en vue de restituer son fonctionnement (pièces de bois, matériel de mouture, mobilier céramique et *instrumentum*).



FIG. 1. Vannes, vue générale. (Cl. H. Paitier/Inrap)

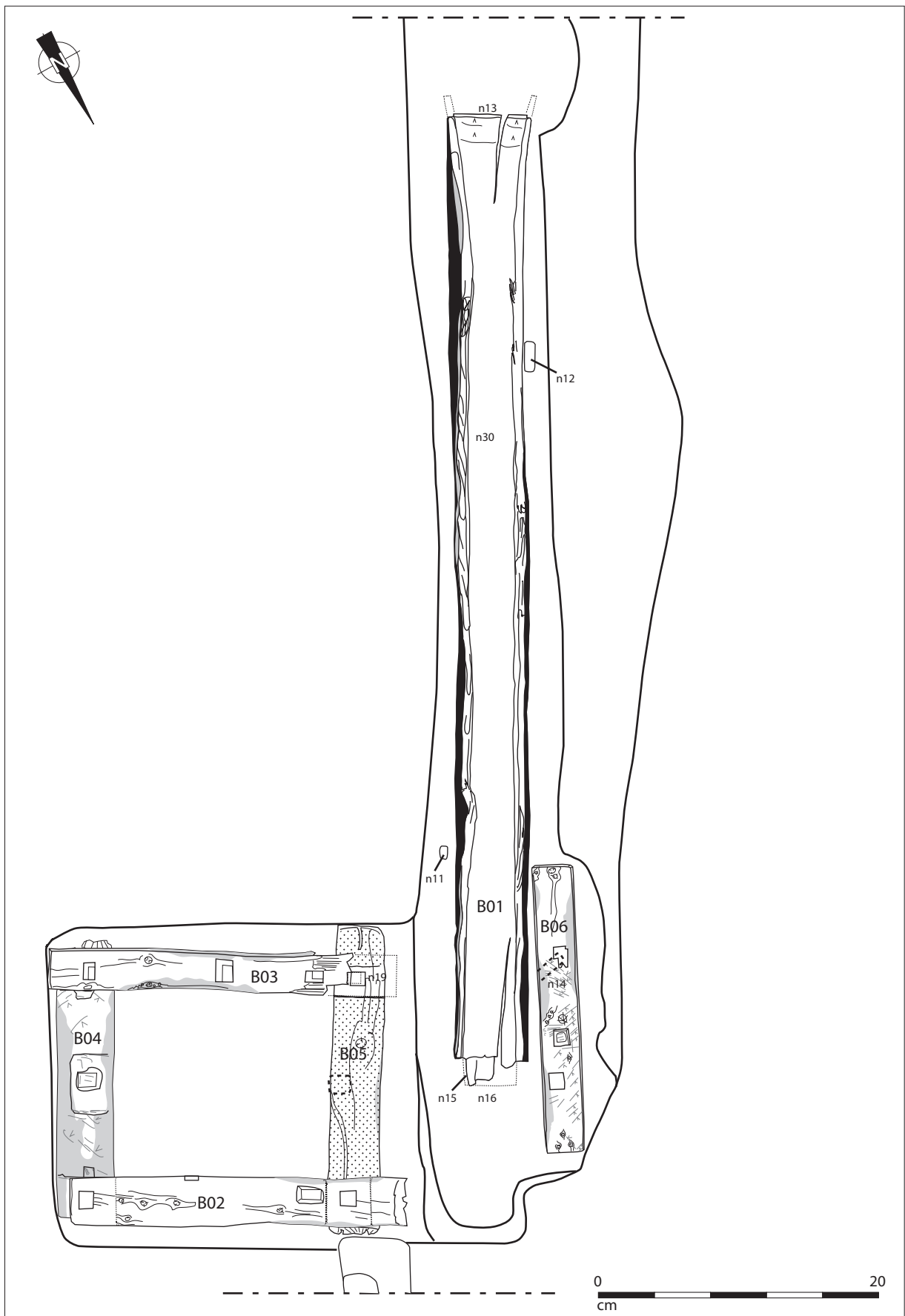


FIG. 2. Vannes, plan des vestiges en place. (Relevés V. Bernard/CNRS UMR 6566 et A. Triste/Ceram ; DAO V. Bernard/CNRS UMR 6566 et L. Simon/Inrap)

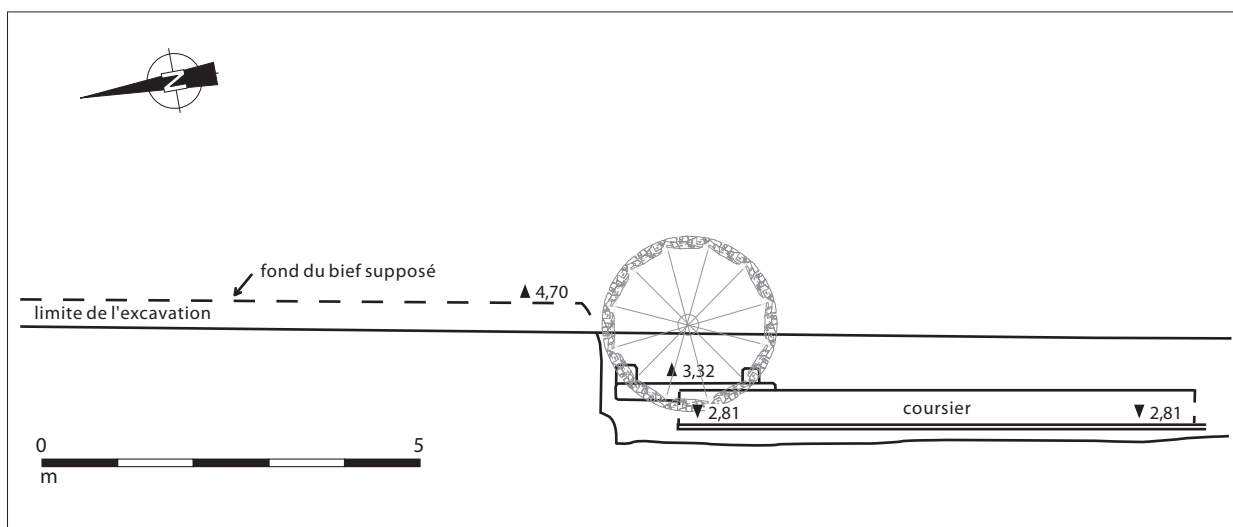


FIG. 3. Vannes, relevé en coupe du terrain et restitution de la roue du moulin.
(Relevés A. Triste/Ceram ; DAO V. Bernard/CNRS UMR 6566 et L. Simon/Inrap)

2. LES ÉLÉMENTS DE BOIS TRAVAILLÉS

Parmi les pièces de bois observées, les études archéologiques se sont concentrées sur les éléments appartenant assurément ou potentiellement au moulin :

- les cinq sablières de chênes qui constituaient les fondations du petit « beffroi » du moulin (terme vernaculaire employé dans l'Ouest de la France que nous utiliserons ici),
- le coursier monoxyle,
- les fragments d'alluchons,
- les planches de chêne interprétées comme des pales,
- une planche perforée interprétée comme une courbe d'une jante de roues à augets.

Aujourd'hui, seuls les éléments conservés en eau dans des bacs plastiques ont été préservés. Quant aux sablières et au coursier, exposés pendant près de 10 ans aux intempéries, ils sont désormais dans un état de dégradation très avancé. Fort heureusement, nous avons réalisé peu de temps après leur découverte leur dessin technique sur film plastique transparent à l'échelle 1/1, qui nous permet de revenir sur différents aspects techniques de pièces architecturales remarquables.

2.1. Les sablières (fig. 4)

Les 4 puissantes sablières de fondation du beffroi intérieur, d'une longueur avoisinant les 2 m étaient assemblées à angle droit sur leurs extrémités au

moyen de coches à mi-bois taillés le plus souvent à la hache dans la masse, de sections allant de 25 à 40 cm de côté. Des traces de scie de type passe-partout ont également pu être observées sur les abouts et les flancs des assemblages de B02 et B03. Pour l'essentiel, le travail d'équarrissage à la hache à large tranchant (> 11 cm) est assez soigné, même si certains éléments très nouveaux ont certainement rendu cette étape difficile, comme le montrent bien les coups d'outils portés à la base des nombreuses branches. En revanche, la suite du travail apparaît grossière, notamment pour ce qui relève du tracé et du lignage des mortaises. De toute évidence, ces dernières phases d'assemblage des sablières et de levage des éléments verticaux ont été réalisées sur place, tant les traces d'ajustement maladroit et de repentir sont nombreuses.

L'équarrissage et les assemblages de B06, qui correspond manifestement à la semelle du beffroi extérieur du moulin supportant l'extrémité ouest de l'arbre moteur, ne diffèrent en rien aux remarques précédentes. Il semble même que les liens obliques cloués de part et d'autre du support de l'arbre en B06 et aussi en B04 ont été ajoutés a posteriori pour faire face à un problème de conception de la structure en renforçant cet axe soumis à d'énormes contraintes mécaniques. En tout cas, l'insertion de ces éléments n'avait pas été prévue lors du creusement des mortaises, et de simples cupules ont été aménagées au ciseau pour accueillir ces pièces de raidissement de l'ossature.

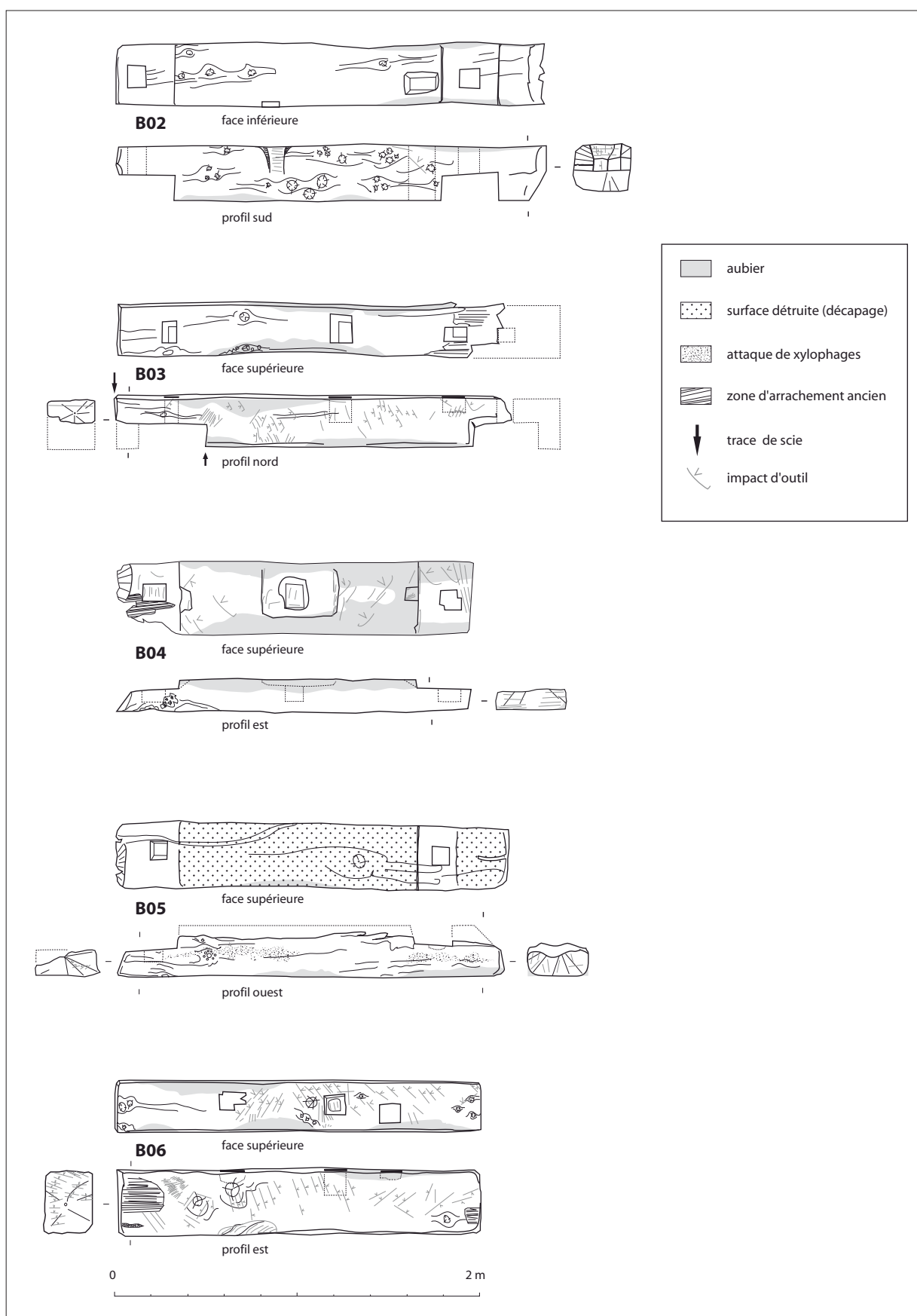


FIG. 4. Vannes, sablières de fondation du moulin. (Relevés et DAO V. Bernard/CNRS UMR 6566)

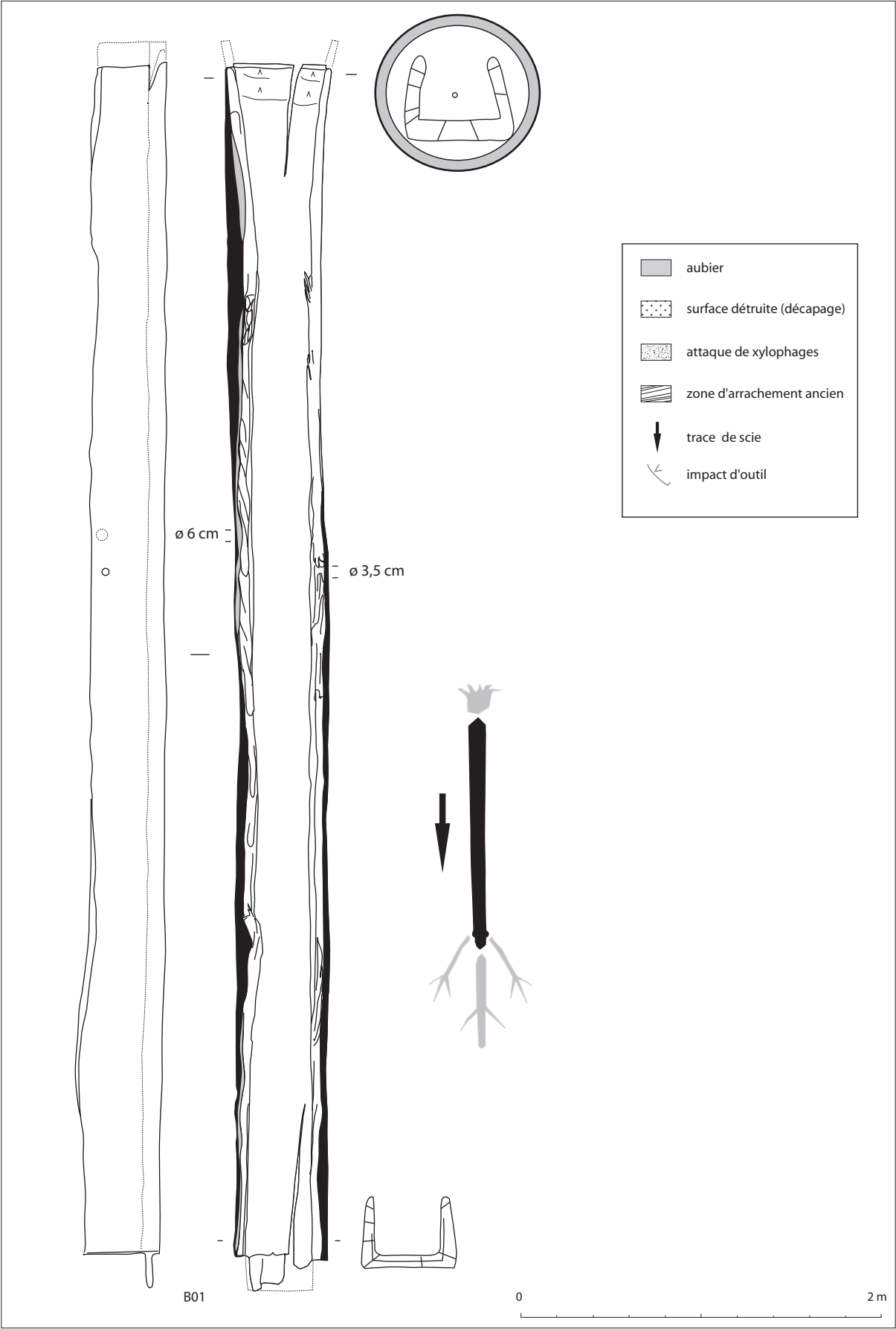


FIG. 5. Vannes, coursier du moulin. (Relevés et DAO V. Bernard/CNRS UMR 6566)

2.2. Le coursier monoxyle (fig. 5)

Le coursier a été taillé dans la masse d'un fût de chêne d'environ 7 m de long, l'empattement du pied positionné vers l'aval du bief (B01). Cet évasement du conduit en bois a été aménagé de telle sorte qu'un autre module de même type puisse s'adapter à sa suite. Cette surface de recouvrement correspond d'ailleurs à la seule zone où des traces d'outil (herminette) ont été observées, du fait d'une abrasion atténuée par la présence de l'autre conduit, qui avait disparu anciennement. À l'opposé, un autre assemblage moins bien conservé suggère l'emboîtement d'un autre dispositif du même type à l'emplacement de l'auge de roue, monoxyle ou composite.

Sur les flancs du coursier, deux trous de chevilles de diamètres différents (3,5 et 6 cm) et des piquets latéraux complétaient l'aménagement de ce canal de fuite sur sa hauteur, grâce à de longues planches posées de chant, mais peut-être aussi sur sa largeur, avec l'insertion de barreaux de maintien de l'écartement des parois.

2.3. Les alluchons (fig. 6)

Cinq pièces tournées dans du bois de fruitier, de type pommier (*Malus sp.*), cormier (*Sorbus domestica L.*) ou alisier torminal (*Sorbus torminalis*) correspondent à des fragments plus ou moins complets

d'alluchons. Leurs extrémités sont parfois sciées (n°1), puis dans certains cas reprises au ciseau (n°2) ou au couteau (n°3 et 5). Trois modules différents peuvent être distingués d'emblée :

- trois éléments appartiennent au plus fort gabarit (n°1, 2 et 4), avec une tête d'environ 12 cm de long pour un diamètre de 6 cm, et un tenon d'au moins 11 cm de long pour un diamètre de 4,5 cm. Le n°1 comporte une tête complète dont l'une usure très prononcée marque le passage des fuseaux de lanterne. Il est à noter que des coups de hachette sont encore visibles au sommet de cette zone et trahissent l'aménagement préalable ou la correction de cette surface de frottement. Ces éléments correspondent donc à un rouet puissant, probablement pour un moulin de plus grande ampleur que celui que nous étudions ici ;

- un élément correspond au quartier d'un petit alluchon éclaté, d'un type original (longueur totale : 14 cm), puisqu'il présente un court tenon rectangulaire (3 cm) mis en forme à la scie et qui devait être maintenu en place dans le rouet au moyen d'une cheville (n°3) ;

- enfin, le dernier modèle d'une taille intermédiaire (10,5 x 3-3,5 cm) est tellement érodé du côté de sa tête qu'il est impossible de déterminer s'il s'agit bien d'un alluchon ou d'un fragment de fuseau de lanterne (n°5).

Tous ces éléments fracturés ont été abandonnés lors de leur remplacement, comme cela semble

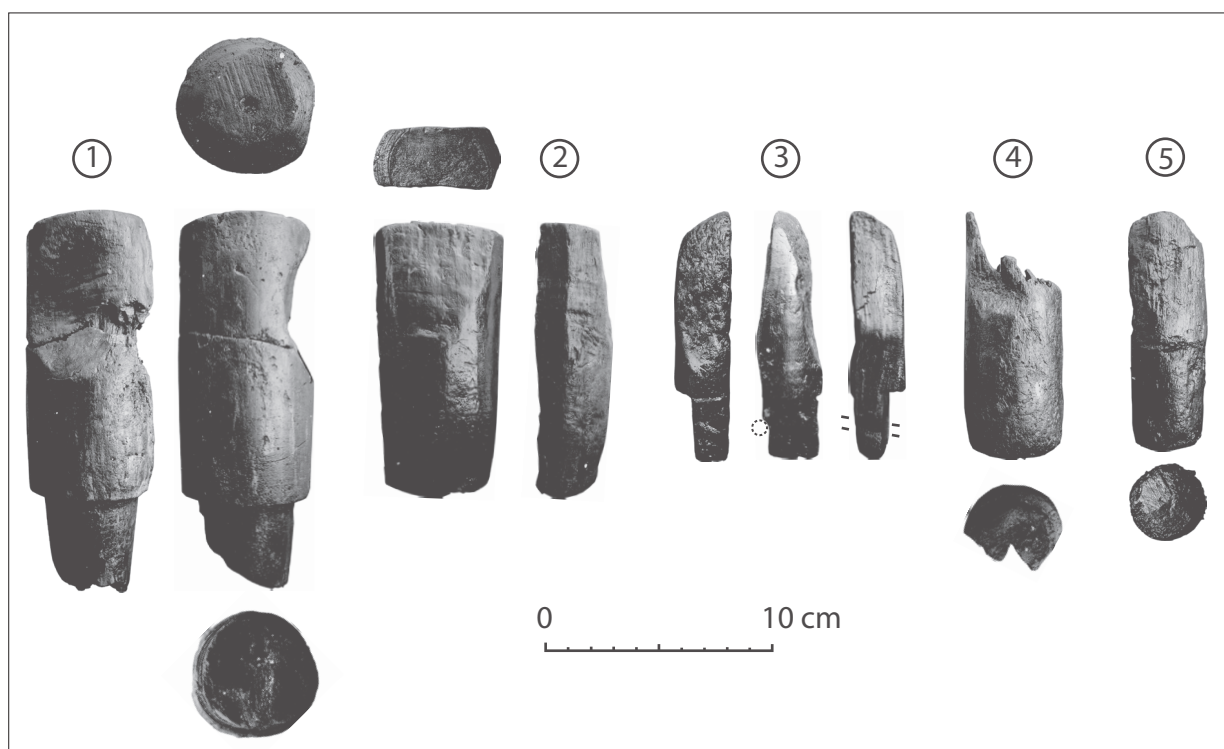


FIG. 6. Vannes, fragments d'alluchons découverts à l'emplacement du moulin.
(Cliché V. Bernard/CNRS UMR 6566)

d'usage sur d'autres sites (Bernard 2011 ; Plumettaz *et al.* 2011). L'un d'eux (n°2) a même été repris latéralement au couteau après une fracture longitudinale qui n'a semble-t-il pas affecté, au moins pendant un temps, sa résistance.

2.4. Les planches (fig. 7)

Plusieurs planches de chêne refendues de dimensions semblables pourraient s'apparenter à des pales (B30, 31, 34). Toutefois, aucune trace d'assemblage (trou de cheville, encoche...) n'a été observée, et leur longueur voisine de 45 cm exclut tout passage dans un coursier, large ici d'à peine 35 cm. Cette longueur apparaît d'ailleurs trop importante par rapport aux exemples que l'on connaît pour le monde antique, comme à Marseille, place de la Bourse (Euzennat et Salviat 1968) ou à Cham-Hagendorn, canton de Zoug, Suisse (Schucany et Winet, dans ce volume, p. 187). Et leur largeur d'une quinzaine de centimètre contredit également une utilisation avec le coursier présenté

précédemment. Il pourrait donc s'agir de pièces destinées à des réparations éventuelles ou des pales appartenant à un autre moulin en amont, ou encore de bardeaux de couverture du bâtiment, même si aucun trou de fixation ou aucune érosion du pureau – c'est-à-dire la partie non recouverte de l'élément de couverture – n'est visible.

2.5. L'élément de roue à godets

Une planche aux extrémités usées présente une courbure assez marquée. Fracturée en de nombreux morceaux, sa reconstitution montre une zone de faiblesse au niveau d'une série de cinq trous de chevilles de petit diamètre (0,8 cm) organisés pratiquement à angle droit, et la correction d'une légère déformation de la courbure permet d'estimer que 12 éléments de ce type étaient nécessaires pour constituer la circonférence complète d'une roue de grand diamètre (~ 4 m) établie selon le modèle de celle découverte à Marseille, Place de la Bourse (Euzennat et Salviat 1968). Il va de soi que

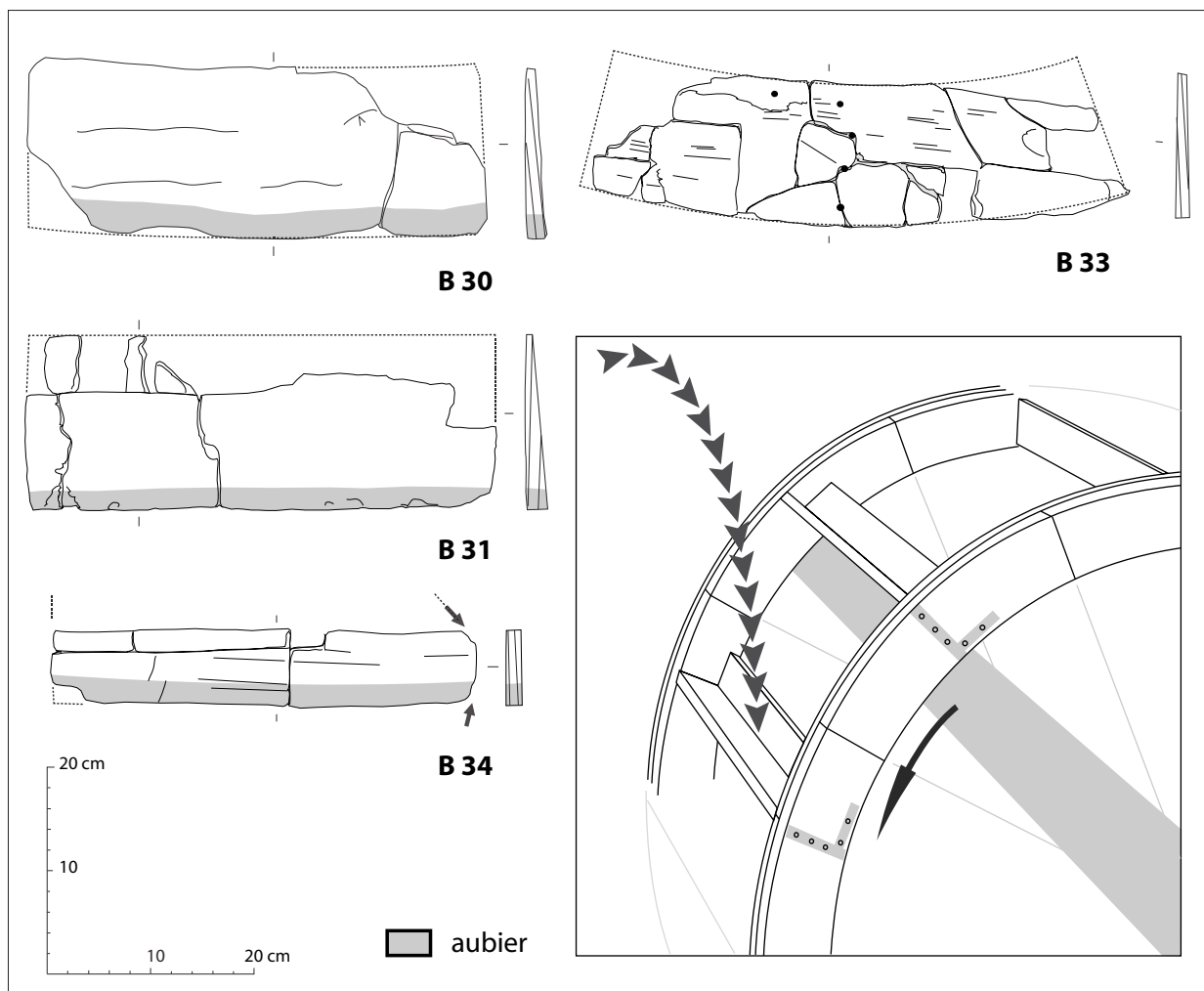


FIG. 7. Vannes, planches interprétées comme des pales ou des bardeaux de couverture (gauche). Courbe de jante de roue à augets et restitution (droite). (Relevés et DAO V. Bernard/CNRS UMR 6566)

cette roue ne pouvait pas correspondre au moulin dont les fondations ont été dégagées, puisqu'il présentait une roue de 2 à 2,30 m ; mais, cela renforce l'idée, avec l'intrusion d'alluchons de types différents, qu'un ou plusieurs moulins étaient installés simultanément le long de ce bief, notre moulin ayant joué le rôle de collecteur, comme dans le cas de Thervay (Rollier 2011).

Afin d'optimiser la petitesse du bief et le rendement de cette roue, l'énergie potentielle de l'eau a été mise à profit au moyen d'une roue à augets alimentée par le dessus, augets constitués de planches jointives assemblées à angle droit par chevillage dans l'épaisseur de leurs abouts (Pouliquen 2005).

3. DATATIONS DENDROCHRONOLOGIQUES

La datation n'a pu être effectuée qu'à partir de deux morceaux arrachés par la pelle mécanique

aux sablières n°2 et 5, les autres pièces devant être conservées intactes en vue d'une lyophilisation.

Ces échantillons ont été synchronisés pour former une chronologie longue de 133 ans (fig. 8). Comparée à l'ensemble des référentiels dendrochronologiques européens, ce sont naturellement des chronologies régionales, comme celle qui a été construite à partir des bois de l'aqueduc de Locmariaquer (Morbihan), qui permettent de dater cette séquence de 83 av. J.-C. / 50 ap. J.-C. La sablière n°5, avec 12 cernes d'aubier, permet de préciser la phase d'abattage des arbres employés pour la construction du moulin entre 51 et 73 ap. J.-C. D'autres pièces disposant de séries de cernes suffisantes pour la dendrochronologie ont également été analysées, mais leur découverte dans les remblais ne permet pas d'assurer de lien stratigraphique avec les structures en place. Leurs terminus *post quem*, conforme à ceux des sablières, renforce l'idée d'une mise en œuvre simultanée des bois de construction et d'un fonctionnement limité dans le temps.

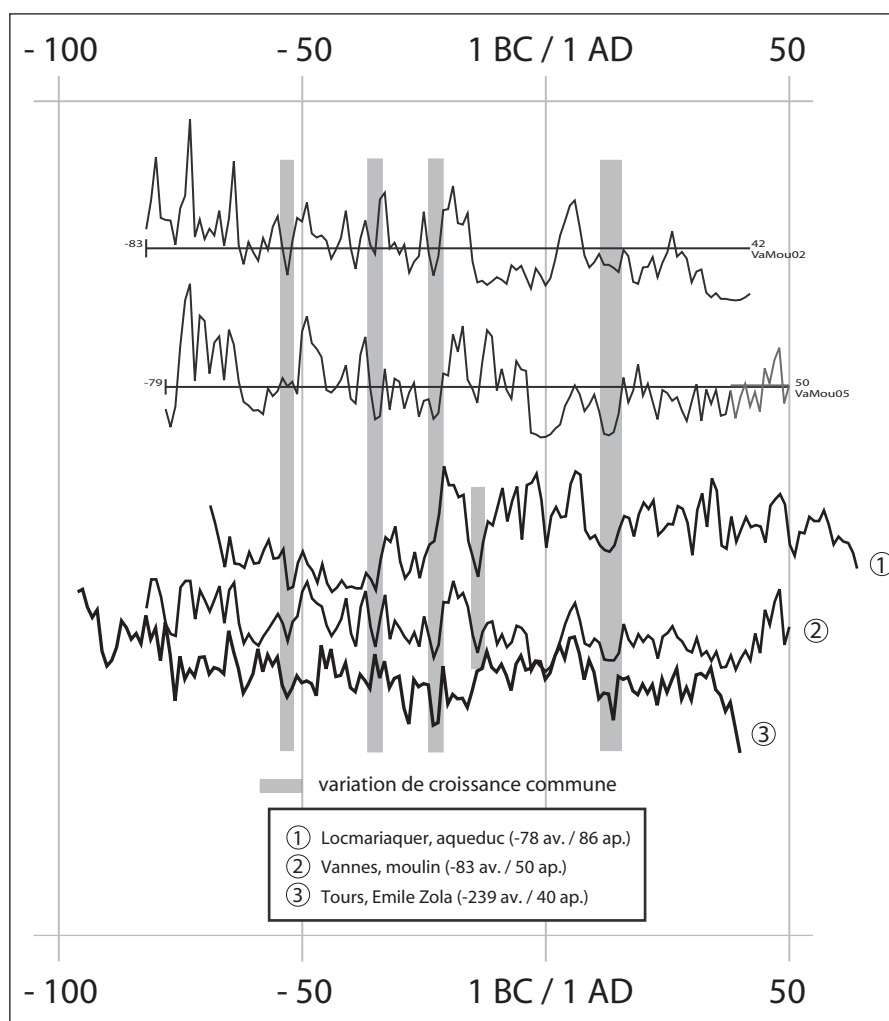


FIG. 8. Vannes, Synchronisation et datation des séries dendrochronologiques du moulin antique de la rue F. d'Argoues. (Réal. V. Bernard/CNRS UMR 6566)

4. LES MEULES DE MOULINS HYDRAULIQUES

La fouille du moulin hydraulique de Vannes a livré sept fragments de catillus, un fragment de meta et deux fragments de meule indéterminés, confectionnés dans des roches volcaniques.

Ces roches alcalines, denses et résistantes, possèdent une texture vacuolaire très efficace pour la mouture de céréales. La nature de ces matières premières, d'origine extrarégionale, a suscité une étude géochimique. Les prélèvements ont été effectués au laboratoire d'Archéomagnétisme de Rennes 1 par Ph. Dufresne⁶ et traités par T.M. Gluhak de l'Université de Mayence. Les analyses présentées dans cette étude permettent de déterminer la coulée basaltique à l'origine des matériaux.

Parmi les sept catillus identifiés (fig. 9), cinq ont un diamètre recomposable, compris entre 56 et 69 cm, pour une moyenne de 63 cm. Ces mesures se rapprochent de celles observées par A. Polinski sur des exemplaires provenant de sites gallo-romains du département voisin de Loire-Atlantique, où les diamètres varient de 54 à 62 cm (Polinski 2009). D'une manière générale, les meules des moulins hydrauliques ont un diamètre supérieur aux

meules manuelles ou à sang. Souvent compris entre 60 et 70 cm, il existe toutefois des exemples avec des dimensions à la fois inférieures et supérieures à ces standards, comme pour le moulin à eau des Martres-de-Veyre dans le Puy-de-Dôme (Romeuf 1978), où les diamètres se situent entre 48 et 92 cm.

Les dimensions des œils s'échelonnent pour quatre individus de 10,5 à 12,5 cm de diamètre, avec trois individus à 10,5 cm de diamètre. Ces dimensions apparaissent donc légèrement supérieures aux exemplaires des meules de moulins hydrauliques de Loire-Atlantique, dont les mesures sont comprises entre 8 et 10,5 cm.

Le degré d'inclinaison des surfaces actives varie de 15 à 24° et semble ici légèrement inférieur à la moyenne observée (entre 21 et 36°) dans d'autres séries contemporaines du sud de la France pour des meules de grand format (Longepierre 2007), ainsi que pour les meules des moulins hydrauliques d'Avenches (Castella *et al.* 1994, Anderson *et al.* 2004). En revanche, cette conicité se rapproche des exemples de Loire-Atlantique, pour lesquels on observe une inclinaison comprise entre 18 et 30°. Les surfaces actives des catillus possèdent des profils variables ; convexe (fig. 10, n°1), plan (fig. 10, n°2) et concave (fig. 10, n°4, 6). L'unique

	Type	Ø meule en cm	Hauteur max. en cm	Hauteur du flanc en cm	Pente en °	Morphologie œil	Ø /L/l œil en cm	Profondeur œil en cm	Actionnement / Type d'anille
M1	cat.	61,5	21,7	3,3	24	circ.	10,5	12,5	anille barette inférieure + anille crampon
M2	cat.	69	20,5	5	22	circ.	10,5	10,5	anille barette inférieure + anille crampon
M3	cat.	65	10,5	10,5		circ.?	10,5 ?		anille crampon
M4	cat.	56	12,5	8,5	15	circ.	12,5	5,3	anille crampon
M5	met.	58				circ.	8		
M6	cat.	62	13	7	24			4,5	non visible
M7	cat.			6,7					anille crampon
M8	cat.								anille crampon

FIG. 9. Vannes, inventaire descriptif des meules identifiables (en grisé, meules analysées). (Réal. V. Brisotto/Inrap)

6. CNRS UMR 5060 Institut de Recherche sur les Archéo-Matériaux, Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie - Bordeaux, Équipe Archéomagnétisme - Rennes I. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une carotteuse permettant d'extraire des échantillons d'un diamètre de 25 mm et de 40 à 50 mm de longueur pour un poids d'environ 30 à 40 g.

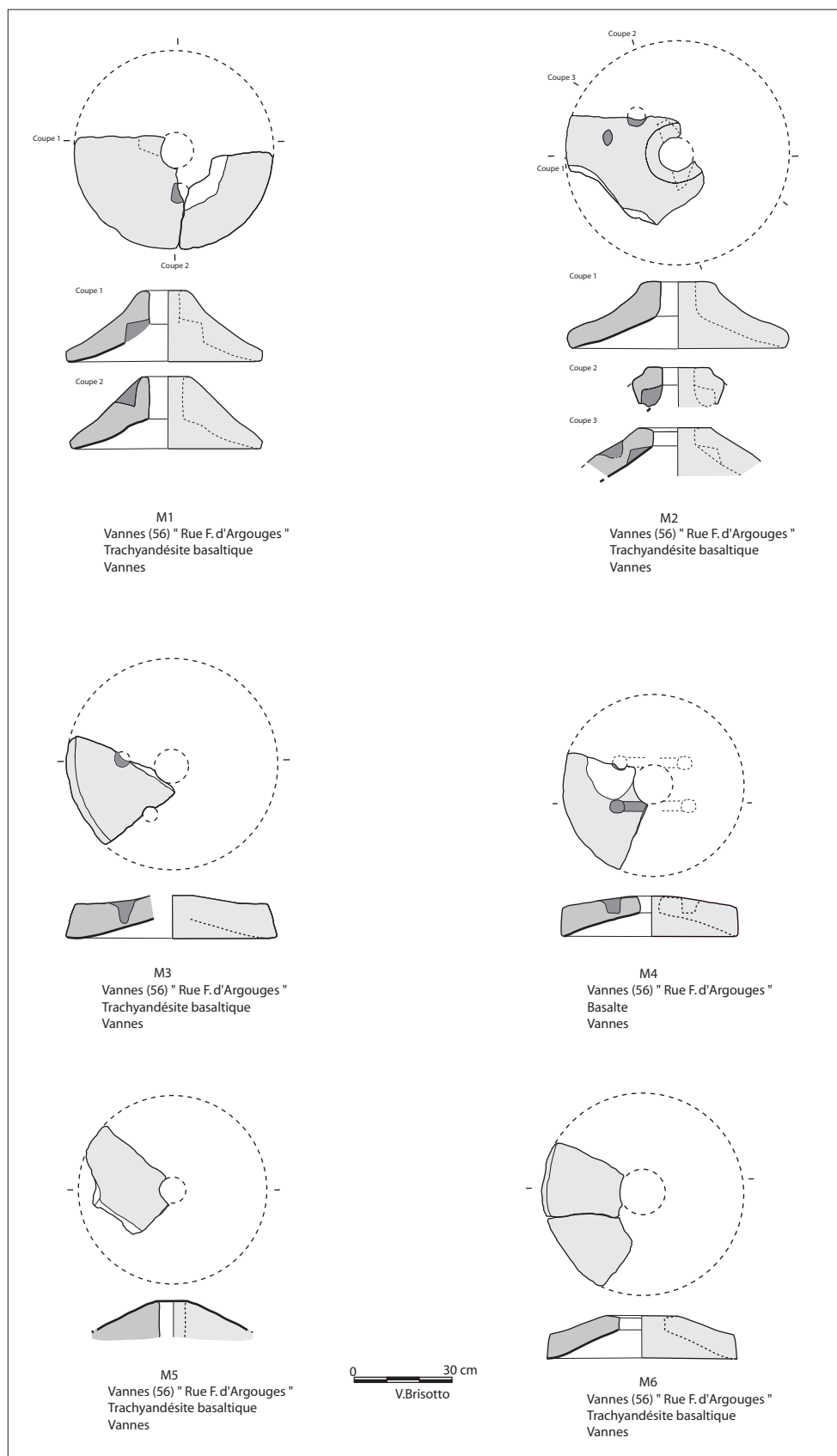


FIG. 10. Vannes, catillus (M1, M2, M3, M4 et M6), meta (M5)
(Relevé et DAO V. Brisotto/Inrap).

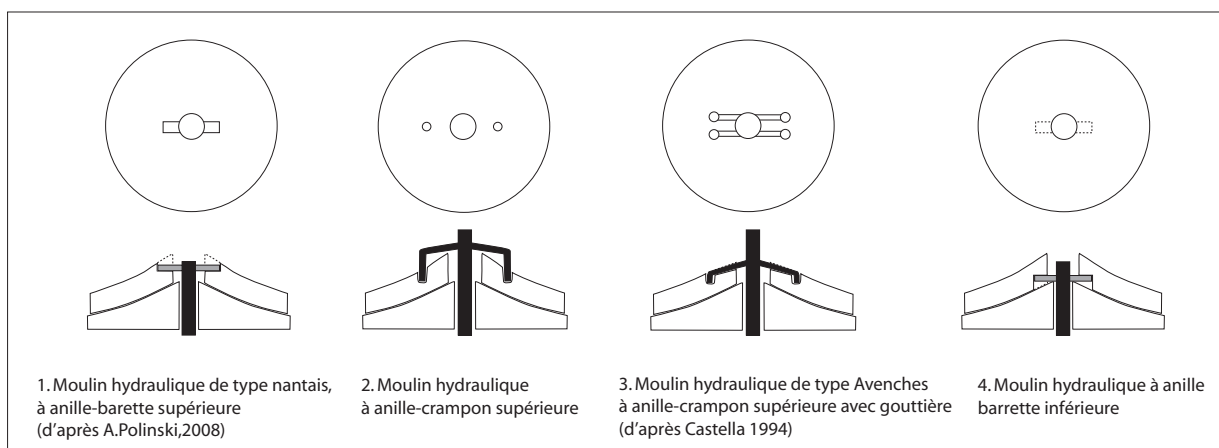


FIG. 11. Schéma de principe des différents systèmes d'anille des moulins hydrauliques de l'Antiquité. (Réal. V. Brisotto/Inrap)

meta de la série (fig. 10, n°5), bien que fragmentée, présente des dimensions légèrement inférieures à celles de la majorité des catillus, notamment en ce qui concerne les diamètres : 58 cm et 8 cm pour l'œil. En revanche, l'épaisseur de la pièce est plus importante.

En ce qui concerne le fonctionnement des anilles, notre corpus présente divers types de systèmes (fig. 11) qui divergent de ceux majoritairement reconnus dans la région voisine, à savoir l'anille barrette supérieure (Polinski 2009). À Vannes,

l'anille crampon supérieure est prédominante puisqu'elle a été reconnue clairement sur quatre individus (M1, M2, M3, M4). Deux autres petits fragments (M7 et M8) portant respectivement une et deux perforations, attestent très probablement la présence de ce même système. Ce dernier n'est cependant pas exclusif puisqu'il se combine pour deux exemplaires (M1 et M2) avec l'anille barrette inférieure (fig. 10, n°1 et 2, fig. 12). Ces deux systèmes ont-ils fonctionné ensemble ou est-ce le résultat d'un réaménagement, à la suite d'une contrainte technique ?



FIG. 12. Vannes, M2, catillus, face inférieure avec logement d'anille par-dessous et perforation circulaire verticale visible au niveau de la fracture. (Cliché V. Brisotto/Inrap)



FIG. 13. Vannes, M4, catillus avec système d'anille-crampon de type Avenches. (Cliché V. Brisotto/Inrap)

Par ailleurs, l'individu M4 possède une variante du système d'anille-crampon supérieure, se rapprochant du modèle mise en évidence à Avenches (Castella *et al.* 1994, Anderson *et al.* 2004) et également reconnu à Longvic sur un site du Haut-Empire de Côte-d'Or (Jaccottey et Labeaune 2010) et aux Martres-de-Veyre (Romeuf 1978). Sur ces différents sites, les surfaces supérieures des catillus sont munies de perforations circulaires traversantes, associées à des rainures parallèles, rejoignant l'œil de la meule. À Vannes, le catillus en question (fig. 10 n°4, fig. 13), présente deux perforations circulaires, qui à la différence des exemplaires cités précédemment, sont aveugles. Elles présentent un diamètre de 4,5 cm pour une profondeur de 4 cm. De ces deux perforations partent deux rainures parallèles, larges de 4 cm et profondes de 0,5 cm, qui rejoignent l'œil de la meule. Bien que le catillus soit incomplet, on peut restituer par symétrie le même aménagement de l'autre côté de la meule.

Ainsi, cette série de catillus offre une certaine diversité morphologique tant par les dimensions et les profils que par les systèmes d'entraînement. Ceux-ci présentent d'une part le système simple d'anille-crampon et d'autre part la combinaison de l'anille-crampon avec l'anille barrette inférieure. Cette association de deux techniques n'est pas unique puisqu'elle a été reconnue notamment à Mathay (Buchsenschutz *et al.*, dans le volume 2, p. 747) et à Vieux, dans le Calvados (Chaussat 2008). L'hypothèse selon laquelle l'anille barrette inférieure succéderait à l'anille crampon (Castella 1994, Longepierre 2007) est aujourd'hui remise en question par la découverte de systèmes d'anille-barrette dès les débuts du I^{er} s. C'est le cas de meules provenant du site du Logis du Roy à Amiens (Picavet,

2012), de Dambach-la-Ville (Buchsenschutz *et al.*, dans le volume 2, p. 747), de Merignies, Domaine du Golf de la Pelvèle (Picavet, dans le volume 2, p. 695). Les données de Vannes semblent donc conforter l'ancienneté de ce type d'anille. Quant aux raisons de la présence des deux systèmes, les données actuelles ne permettent pas d'affirmer s'ils ont fonctionné simultanément ou s'ils sont la conséquence d'un réaménagement technique.

5. GÉOCHIMIE ET PROVENANCE⁷

Sept échantillons (Vannes, meules 1 à 6 et 8) prélevés sur les meules ont fait l'objet d'une étude pétrographique. Pour préparer les échantillons, leur surface altérée a été retirée avec une scie diamantée et une partie a été systématiquement prélevée pour réaliser des lames minces. Les échantillons ont été par la suite nettoyés dans de l'eau distillée et dans un bain à ultrasons et séchés. Ils ont été concassés et réduits en poudre dans un moulin d'agate. Pour les mesures totales des éléments-traces, 6 g de poudre ont été utilisés pour produire des pastilles, tandis que, pour des mesures des principaux éléments, 0,4 g ont été utilisés pour produire les billes en verre fondu. 1 g de poudre a été gardé pour déterminer la perte au feu (LOI).

Les mesures des principaux éléments et des éléments-traces ont été réalisées avec un spectromètre à rayons X Philips MagXPRO (modèle 2002) avec un Rh tube à rayons X et une excitation maximale de 3,2 kW pour les principaux éléments et de

7. Nous sommes redevables à Tim Anderson et Luc Jaccottey pour la traduction de l'étude géochimique.

3,6 kW pour les éléments traces. Les résultats et le contenu minéral aux normes CIPW sont présentés dans le tableau (fig. 14).

Les échantillons sont classés en utilisant le diagramme de classification TAS (total alcali silice) (fig. 15). Toutes les meules sont façonnées dans des roches alcalines. Les échantillons VM1, VM2,

VM3, VM5 et VM6 correspondent à des trachyandésite basaltiques, la pièce VM6 se situant à la sphère des trachybasaltes. Leur teneur en oxyde de sodium (Na_2O) et en oxyde de potassium (K_2O), permet de les classer comme des shoshonites. Les échantillons VM4 et VM8 sont des basaltes ; l'échantillon VM4 est plus proche de la limite avec les trachybasaltes. L'échantillon VM4 contient

Échantillon	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM8
SiO_2	52,04	51,93	51,8	49	51,94	50,79	47,43
Al_2O_3	17,58	17,43	17,38	15,53	17,42	17,56	16,58
Fe_2O_3 (total)	9,81	9,9	9,97	11,54	9,89	10,71	12,07
MnO	0,21	0,21	0,21	0,18	0,2	0,17	0,19
MgO	3,45	3,64	3,66	6,6	3,6	3,8	6,06
CaO	7,44	7,5	7,49	9,46	7,42	7,96	9,84
Na_2O	4,24	4,22	4,25	3,07	4,3	4,03	3,16
K_2O	2,45	2,44	2,45	1,84	2,44	2,23	1,53
TiO ₂	1,96	1,95	1,96	2,26	1,92	2,11	2,45
P ₂ O ₅	0,82	0,8	0,82	0,48	0,87	0,66	0,68
Total	99,99	100,03	100	99,96	100	100	99,98
LOI	-0,3	-0,08	0,19	-0,29	-0,18	-0,13	0,09
Sc (ppm)	12	12	10	24	11	11	21
V	141	141	140	256	140	169	265
Cr	20	21	19	202	18	19	89
Co	20	21	18	38	19	22	36
Ni	18	19	18	83	17	13	46
Cu	14	17	16	66	11	14	51
Zn	99	97	95	101	100	93	98
Ga	21	20	21	21	22	22	22
Rb	59	63	65	45	64	56	34
Sr	816	815	817	611	820	792	692
Y	35	34	34	29	35	30	31
Zr	312	310	313	242	312	284	249
Nb	99	96	96	67	99	82	72
Ba	764	765	770	553	759	668	613
W	5	7	7	11	6	9	8
Pb	9	8	7	2	4	6	91
Th	8,3	8,7	8,3	5,2	9,6	9,9	5,4
U	2,5	3,3	3,4	0,7	3,8	2,5	2
CIPW (%)							
or	14,48	14,42	14,48	8,16	14,36	13,28	9,04
ab	35,88	35,18	34,78	25,98	35,71	32,25	22,27
an	21,67	21,38	21,11	24,52	21,05	23,24	26,54
di	8,28	8,87	9,01	15,85	8,44	10,01	14,77
hyp	0,04	0	0	2,91	0	0	0
ol	12,59	12,87	12,92	14,99	12,97	13,43	16,96
mt	1,42	1,44	1,45	1,68	1,44	1,55	1,75
ilm	3,72	3,7	3,72	4,29	3,65	4,01	4,65
ap	1,79	1,75	1,77	1,05	1,9	1,44	1,49
ne	0	0,29	0,64	0	0,37	1	2,43

FIG. 14. Vannes, mesures des principaux éléments et des éléments traces aux normes CIPW. (Réal. T.M. Gluhak/Université de Mayence)

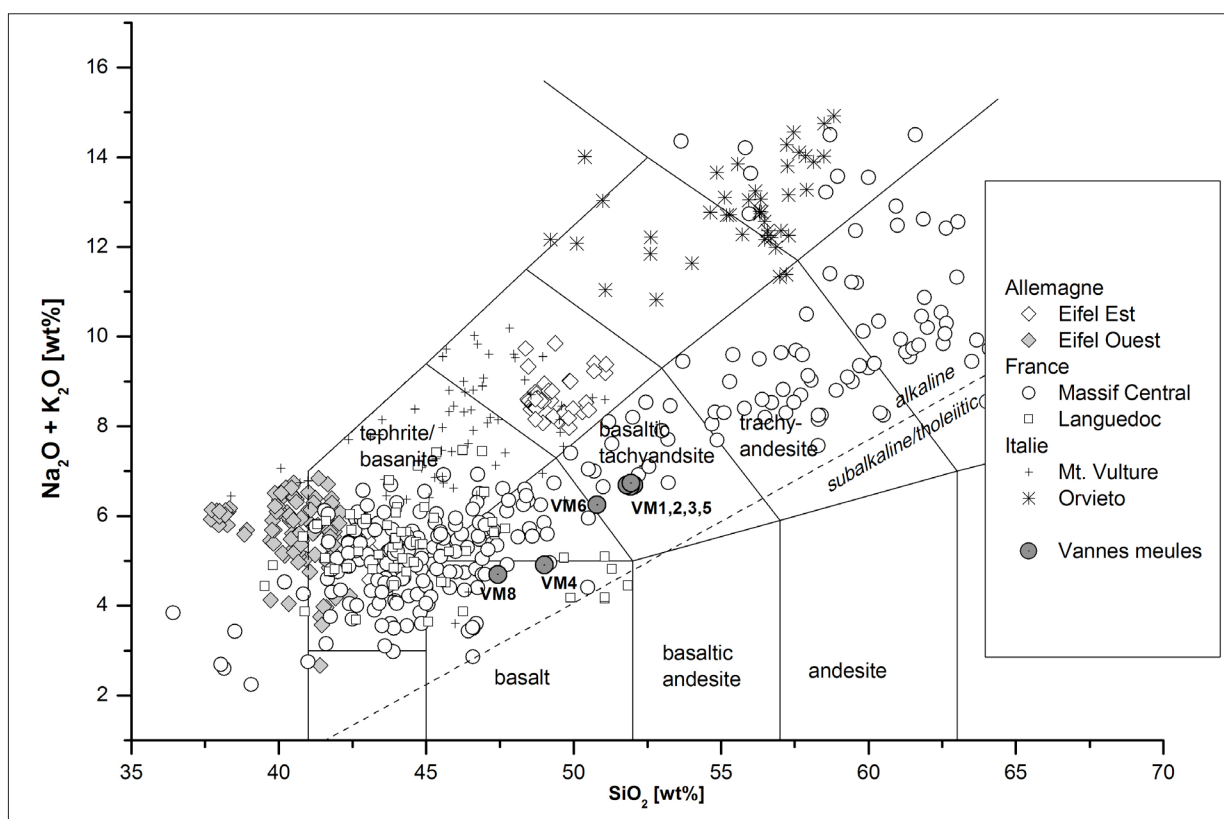


FIG. 15. Vannes, définition de la roche dans le diagramme de classification TAS par rapport aux laves du Massif Central, du Languedoc, d'Orvieto, du Mont Vulture et de l'Eifel. (Réal. T.M. Gluhak/Université de Mayence)
 Cantal : Caroff et al. 1997 ; Chauvel et Jahn 1984 ; Legendre et al. 2001 ; Vatin-Perignon et al. 1980 ; Wilson et Downes 1991 ; Wilson et al. 1995. Puy-de-Dôme : Magonthier 1975. Mont-Dore : Gourgaud et Villemant 1992 ; Maury et Brousse 1978 ; Sorensen et al. 1999 ; Wimmenauer 1964. Velay : Briot et al. 1991 ; Dautria et al. 2004 ; Liotard et al. 1988, 1995 ; Villemant et Treuil 1983. Forez : Hernandez 1973 ; Lenoir et al. 2000. Languedoc : Dautria et Liotard 1990 ; Liotard et al. 1999. Chaîne des Puys : Gourgaud et Camus 1984 ; Hamelin et al. 2009 ; Liotard et al. 1988 ; Maury et Brousse 1978 ; Maury et al. 1980 ; Miallier et al. 2004 ; Williams-Thorpe 1988 ; Williams-Thorpe et Thorpe 1988. Orvieto : Antonelli et al. 2001. Mont Vulture : Beccaluva et al. 2002 ; De Astis et al. 2006 ; De Fino et al. 1982, 1986. Eifel : Gluhak et Hofmeister 2009.

2,91 % d'hypersthène et selon la classification des basaltes de Yoder et Tilley (1962), il peut être classé comme une tholéiite à olivine. VM8 ne contient pas d'hypersthène, mais des néphélines, et peut être considéré comme un basalte alcalin.

Des échantillons de roche provenant du Massif Central, du Languedoc et des autres régions volcaniques, bien connues pour leurs productions de meules (Massif de l'Eifel en Allemagne, Orvieto et Mont Vulture en Italie) sont également présentés dans la fig. 15. Il est évident que la provenance des meules de Vannes n'est à chercher ni en Allemagne, ni en Italie ; les échantillons correspondent à des basaltes et trachytes du Massif Central. Une autre conclusion peut être tirée à partir du diagramme TAS. Les meules proviennent d'au moins trois

lieux d'extraction différents au sein du Massif Central. Les échantillons VM1, VM2, VM3 et VM5 sont évidemment tous produits dans la même carrière. Il n'est pas attesté que l'échantillon VM6 provienne d'une autre carrière car sa composition reste proche de celle des échantillons précédents (VM1, VM2, VM3 et VM5). Les meules VM4 et VM8 ont chacune été produites dans des exploitations différentes.

Le taux des principaux éléments, repérés dans l'échantillon VM6, comme l'oxyde de calcium (CaO) et l'oxyde d'alumine (Al_2O_3) (fig. 16), est proche de celui des échantillons VM1, VM2, VM3 et VM5. Toutefois, l'étude des éléments traces comme le baryum (Ba) et le nickel (Ni) (fig. 17) nous montre que la meule 6 a été produite dans

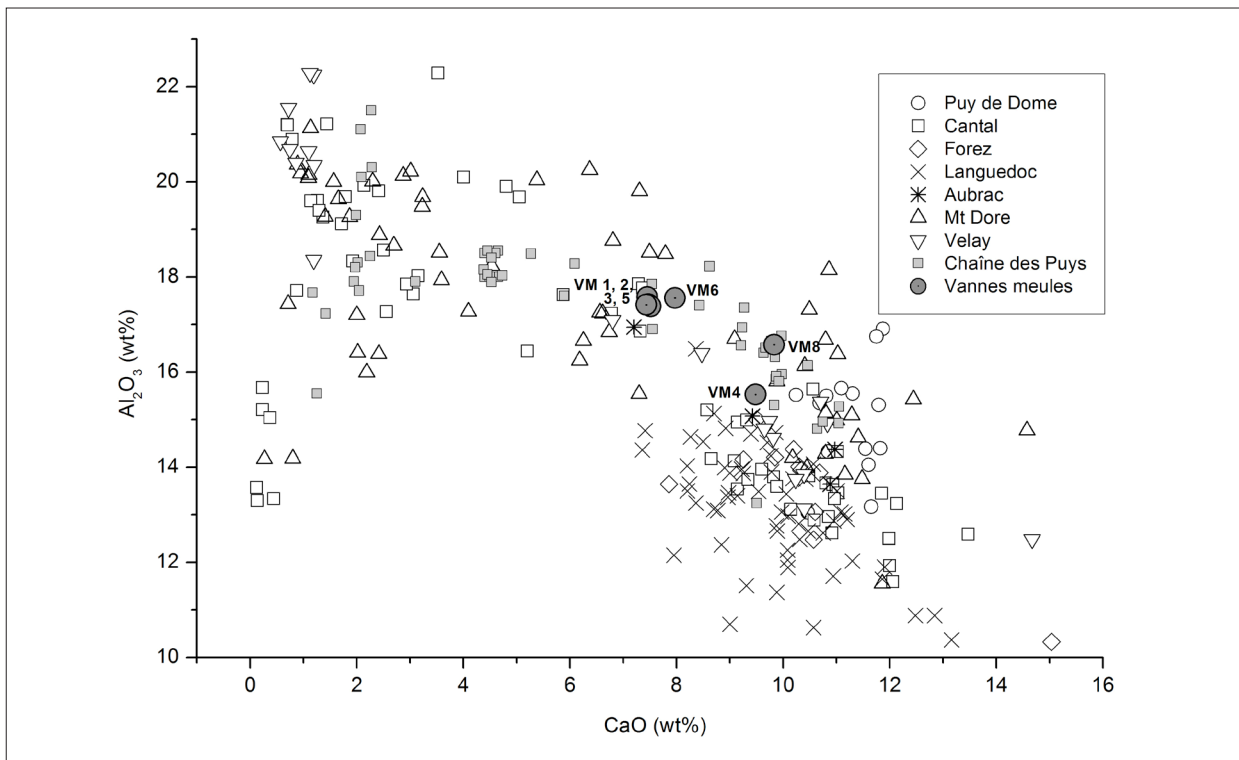


FIG. 16. Vannes, rapport oxyde de calcium (CaO) et oxyde d'alumine (Al₂O₃) par rapport aux laves du Massif Central (pour références du Massif Central, voir fig. 15). (Réal. T.M. Gluhak/Université de Mayence)

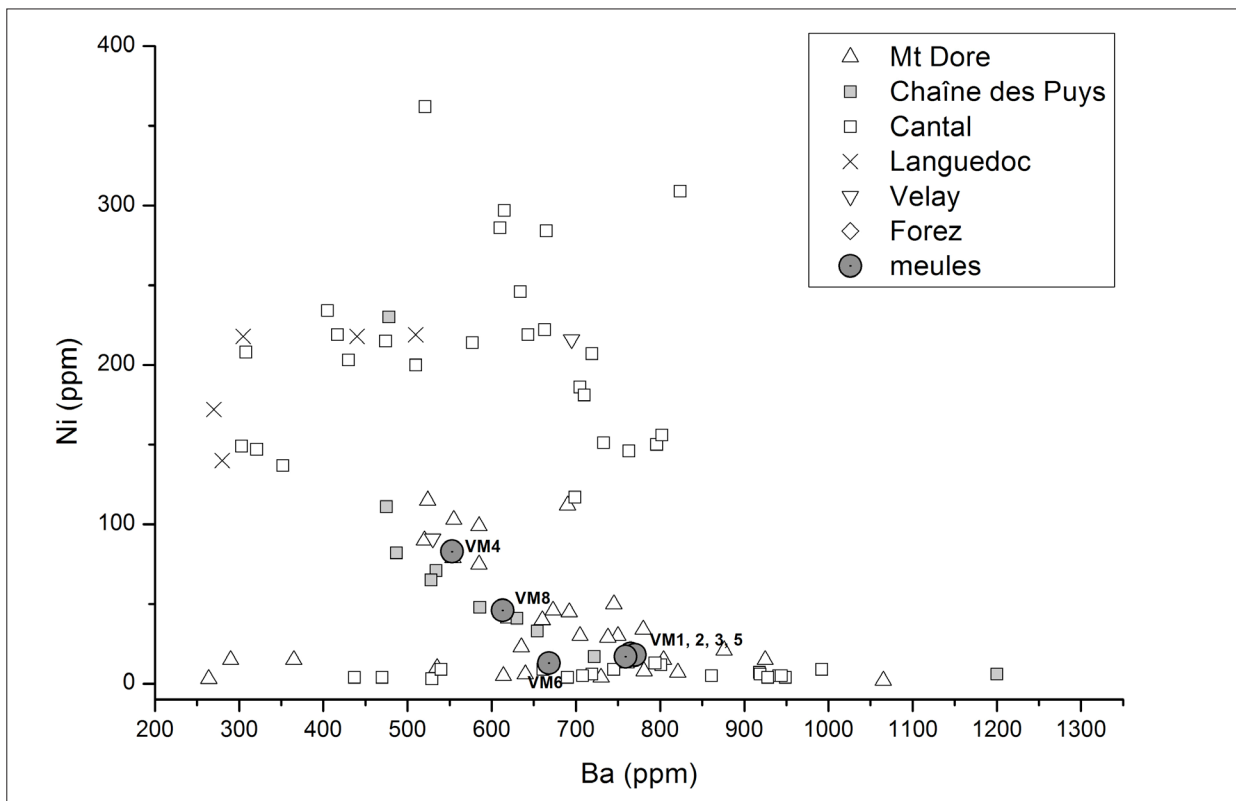


FIG. 17. Vannes, rapport baryum (Ba) et nickel (Ni) par rapport aux laves du Massif Central (pour références du Massif Central, voir fig. 15). (Réal. T.M. Gluhak/Université de Mayence)

une autre carrière car elle contient une quantité de baryum inférieure à celle des meules 1, 2, 3 et 5. Ce résultat est confirmé par des analyses de lame mince. Bien que la minéralogie modale soit très similaire, l'échantillon VM6 diffère de VM1, VM2, VM3 et VM5 dans sa texture et dans sa distribution granulométrique, en particulier en ce qui concerne le plagioclase.

La provenance précise de ces roches au sein du Massif Central n'est pas certaine. Les compositions en éléments principaux et éléments traces, qui se distinguent bien dans les fig. 16 et 17, montrent que les échantillons sont proches de ceux de la Chaîne des Puys. Une provenance de ce secteur est donc très probable. Toutefois, une autre origine, comme par exemple du Cantal ou le Mont-Dore, ne peut être exclue.

6. LE MOBILIER DATANT

L'étude du mobilier permet de situer chronologiquement l'installation au cours de la seconde moitié du I^{er} s. de notre ère, plus précisément des années 60 à 70/80. Le niveau archéologique le plus riche correspond au comblement du fossé contenant le coursier (US 1004). Bien qu'il ne soit pas toujours aisé de dater les autres niveaux, les marqueurs précis faisant défaut, il est clair que les artefacts qu'ils ont livrés ne contredisent en rien les données extraites du niveau le mieux renseigné. Au total, on recense 775 fragments de céramique (118 individus) et 10 fragments de verre. Quelques constations d'ordre général peuvent être proposées, notamment le fait que toutes les catégories de céramique habituellement recueillies sur les sites d'habitat de cette période sont présentes dans ce lot. Les céramiques fines, destinées au service de table sont attestées, avec notamment la sigillée (du Sud et du Centre de la Gaule), la céramique à paroi fine engobée (Centre de la Gaule) et la *terra nigra* (productions régionales), qui livrent l'essentiel des assiettes, coupes et gobelets. Les ustensiles liés à la préparation des repas sont majoritaires, à l'image de ce que l'on constate dans les milieux domestiques, avec différentes productions de céramique commune (productions régionales), représentées principalement par des pots à cuire, quelques plats à cuire, mais aussi des mortiers. Destinées au service de table, mais aussi au stockage des liquides (surtout pour les plus grandes), les cruches constituent également l'une des composantes principales de ce lot. Au regard des productions précédemment évoquées, les amphores se distinguent par leur faiblesse numérique (quelques fragments d'amphores à vin d'Espagne et d'Italie).

Les éléments en verre identifiables se résument à des coupes côtelées moulées, éléments de vaisselle de table caractéristiques des occupations du I^{er} s. et à une coupe à lèvre ourlée, non antérieure à la période néronienne.

CONCLUSION

Le moulin de la rue F. d'Argouges à Vannes est, avec ceux d'Avenches (Castella *et al.* 1994), d'Art-sur-Meurthe (Deffressigne *et al.* 2011 et dans ce volume, p. 73) et de Saint-Doulchard (Champagne *et al.*, 1997) l'un des rares à avoir conservé ses aménagements hydrauliques en bois, pour la période du I^{er} s. de notre ère en Europe. Ce matériau de construction est important à plus d'un titre : support de la dendrochronologie, il permet en outre de proposer une restitution raisonnée des élévations, d'appréhender les techniques de construction et la mécanique mise en œuvre pour entraîner les meules.

L'étude du matériel de mouture a mis en évidence la présence d'au moins sept catillus dont certains présentent des caractéristiques morphologiques assez proches des meules de type Avenches, avec cependant des dimensions et une conicité plus réduites. Par ailleurs, la particularité de certains individus réside dans la présence d'un double système d'entraînement ; au système « classique » de type anille crampon supérieure s'ajoute celui d'anille barrette inférieure. Quant à l'origine des matériaux basaltiques des meules, les analyses géochimiques effectuées sur sept individus attestent l'exploitation d'au moins trois carrières différentes, localisées dans le Massif Central, avec une provenance très probable de la Chaîne des Puys.

À Vannes, la diversité morphologique des meules pourrait traduire une utilisation prolongée des installations hydrauliques, même si cette assertion semble dans l'état actuel du montage dendrochronologique remise en cause, du fait de dates d'abattages resserrées au sein d'une seule et même phase de construction. En revanche, l'existence de plusieurs moulins en batterie implantés le long d'un même bief, comme à Barbegal (Leveau 1995) toutes proportions gardées, semble confortée à la fois par les aménagements en amont et en aval des conduites en bois et par la présence d'éléments mécaniques de différents gabarits, pour des fonctions et/ou des phases d'occupation différentes. Cet argument irait donc dans le sens des observations faites à partir des meules.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson, T. *et al.*, 2004. Meules à bras et meules « hydrauliques » en Suisse romaine : répartition et pétrographie ». *Minaria Helvetica*, 24a, p. 3-16.
- Antonelli, F., Nappi G., *et al.*, 2001. Roman Millstones from Orvieto (Italy): Petrographic and Geochemical Data for a New Archaeometric Contribution. *Archaeometry*, 43(2), p. 167-189.
- Astis (de), G., Kempton, P. D., *et al.*, 2006. Trace element and isotopic variations from Mt. Vulture to Campanian volcanoes: constraints for slab detachment and mantle inflow beneath southern Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151, p. 331-351.
- Beccaluva, L., Coltorti, M. *et al.*, 2002. Petrogenesis and evolution of Mt. Vulture alkaline volcanism (Southern Italy). *Mineralogy and Petrology*, 74, p. 277-297.
- Bernard, V., 2011. *Colomby, « La Perruque », rapport de fouille programmée*. DRAC-SRA Basse-Normandie. Caen, 91 p.
- Briot, D., Cantagrel, J. M. *et al.*, 1991. Geochemical evolution in crustal magma reservoirs: Trace-element and Sr-Nd-O isotopic variations in two continental intraplate series at Monts Dore, Massif Central, France. *Chemical Geology*, 89, p. 281- 303.
- Caroff, M., Ambics, C. *et al.*, 1997. From alkali basalt to phonolite in hand-size samples: vapor-differentiation effects in the Bouzentès lava flow (Cantal, France). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 79, p. 47 à 61.
- Castella, D. *et al.*, 1994. *Le moulin hydraulique gallo-romain d'Avenches « En Chaplix »*. Lausanne, Fouilles 1990-1991, *Aventicum VI, Cahiers d'Archéologie Romande*, 62, 156 p.
- Champagne, F., Ferdière, A., Rialland, Y., 1997. Re-découverte d'un moulin à eau augustéen sur l'Yèvre (Cher). *RACF*, 36, p. 157-160.
- Chaussat, A.G., 2008. Les meules à main rotatives en Basse-Normandie, Corpus n°1 : les meules antiques, mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie, 163 p.
- Chauvel, C., Jahn B. M., 1984. Nd-Sr-geochemistry of alkali basalts from the Massif Central, France, in *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, p. 93-110.
- Dautria, J.M., Liotard, J. M. *et al.*, 2004. Particularités de la contamination crustale de phonolites : exemple du Velay orientale (Massif Central). In : *Comptes Rendus Geoscience* 336, p. 971-981.
- Deffressigne, S., Tikonoff, N., Viller, S., 2011. Approche évolutive du peuplement dans le bassin de Nancy. In : Reddé, M. *et al.* (dir.) - *Aspect de la romanisation dans l'Est de la Gaule, Bibracte n°21*, vol. 1, p. 445-452.
- Euzennat, M., Salviat, F. 1968. *Les découvertes archéologiques de la Bourse à Marseille*, Marseille, Centre régional de documentation pédagogique, 48 p.
- De Fino, M., La Volpe, L. *et al.*, 1982. Magma evolution at Mount Vulture (Southern Italy), *Bulletin of Volcanology*, 45(2), p. 116-126.
- De Fino, M., La Volpe, L. *et al.*, 1986. Petrogenesis of Monte Vulture volcano (Italy): inferences from mineral chemistry, major and trace element data, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, p. 135-145.
- Gourgaud, A., Camus, G., 1984. Magma Mixing at La Nugère Volcano (Chaîne des Puys, Massif Central, France): Role in the Trachyandesite Genesis. *Bulletin of Volcanology*, 47(4), p. 781- 805.
- Gourgaud, A., Villemant, B., 1992. Evolution of magma mixing in an alkaline suite: the Grande Cascade sequence (Monts-Dore, French Massif central). *Geochemical Modelling. Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 52, p. 255-275.
- Gluhak, T., Hofmeister, W., 2009. Roman lava quarries in the Eifel region (Germany): geochemical data for millstone provenance studies. *Journal of archaeological science*, 36, Issue 8. p. 1774-1782 (None)
- Hamelin, C., Seitz, H.-M. *et al.*, 2009. A low 7Li lower crustal component: Evidence from an alkaline intraplate volcanic series (Chaîne des Puys, French Massif Central). *Chemical Geology*, 266, p. 205-217.
- Jaccottey, L., Labeaune, R., 2010. Découverte d'un moulin hydraulique antique à Longvic (Côte-d'Or). *RAE*, 59, p. 665-668.
- Legendre, C., Caroff, M. *et al.*, 2001. Les premières phases d'édification du stratovolcan du Cantal (Massif central, France) entre 9,5 et 8,0 Ma: géologie et géochimie du secteur de l'Élancèze. In : *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series II - Sciences de la Terre et des planètes* 332, p. 617-624.

- Leveau, P., 1995. Les moulins de Barbegal, les ponts-acqueducs du vallon des Arcs et l'histoire naturelle de la vallée des Baux (bilan de six ans de fouilles programmées). In : *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 139^e année, n°1, p. 115-144.
- Liotard, J. M., Briot, D. et al., 1988. Petrological and geochemical relationships between pyroxene megacrysts and associated alkali-basalts from Massif Central (France). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89, p. 81-90.
- Liotard, J. M., Briquieu L., et al. 1999. Basanites et néphélinites du Bas-Languedoc (France) : contamination crustale et hétérogénéité de la source mantellique. *Bulletin de la Société Géologique de France* 170(4), p. 423-433.
- Liotard, J. M., Dautria, J.-M. et al. 1995. Pétrogenèse des néphélinites de la région de Craponne-Sur-Arzon (nord-Velay): intervention possible d'un composant carbonatique. In : *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 320, p. 1043-1050.
- Longepierre, S., 2007. L'apport des meules dans la connaissance des moulins hydrauliques romains en Languedoc. In : Brun J.-P., Fiches J.-L. (éd.) - *Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau durant l'Antiquité romaine. Actes du colloque international de Vers-Pont-du-Gard, 20-22 sept. 2006*, Naples, Collection Centre Jean Bérard 27, p. 167-183.
- Magonthier, M.-C., 1975. Les basanites à leucite tertiaires de la partie nord du Sillon Houiller (d'Herment à Pontaumur, Puy-de-Dôme). Comparaison avec deux autres provinces à caractère potassique du Massif central français (Sioule et Sillon Houiller sud). *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*, 98, p. 245-253.
- Maury, R.C., Brousse, R., 1978. Présence de pigeonite et d'orthopyroxène dans certaines laves du Massif central français : leur répartition et leur origine. *Bulletin de Minéralogie*, 101, p. 10-21.
- Maury, R.C., Brousse, R. et al., 1980. Cristallisation fractionnée d'un magma basaltique alcalin : la Série de la Chaîne des Puys (Massif Central, France). *Bulletin de Minéralogie*, 103, p. 250-266.
- Miallier, D., Michon, L. et al., 2004. Volcans de la chaîne des Puys (Massif Central, France): point sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine. In : *Comptes Rendus Géoscience* 336, p. 1345-1353.
- Plumettaz, N., Pillonel, D., Tew, N., 2011. *Aménagements fluviaux de la Thielle au Moyen Âge. Pêcherie et moulin de Pré de la Mottaz*. Archéologie neuchâteloise 48, Neuchâtel : Office et musée cantonal d'archéologie (cd-rom).
- Polinski, A., 2009. Note sur des meules en trachy-andésite d'époque romaine découvertes en Loire-Atlantique. *RAO*, 26, p. 189-204.
- Picavet, P., 2012. Les meules romaines de sept chefs-lieux de cité de Gaule Belgique occidentale, étude du matériel et synthèse bibliographique. *Revue du Nord*, 93 (393), p. 167-226.
- Pouliquen, G., 2005. *Moulins en Bretagne*. Spézet : Coop Breizh, 165 p.
- Rollier, G., 2011. *Thervay (Jura), aux Prés Vachez : Du molin carolingien au moulin médiéval, Rapport final d'opération, fouille archéologique*. Inrap Grand Est sud, 444 p.
- Romeuf, A.-M., 1978. Un moulin à eau gallo-romain aux Martres-de-Veyre (Puy de-Dôme). *Revue d'Auvergne*, 92 (2), p. 23-41.
- Sorensen, H., Bernth, U. et al., 1999. Trachytes and phonolites from the Mont-Dore region, Auvergne, France, *Geolines*, 9, p. 114-118.
- Vatin-Perignon, N., Maury, R. C. et al., 1980. Le magmatisme sursaturé infrabréchique du centre du Cantal (Massif Central français, *Bulletin Volcanologique*, 43(3), p. 511-525.
- Williams-Thorpe, O., 1988. Provenancing and Archaeology of Roman Millstones from the Mediterranean Area. *Journal of Archaeological Science*, 15, p. 253-305.
- Williams-Thorpe, O., Thorpe, R.S., 1988. The Provenance of Donkey Mills from Roman Britain. *Archaeometry*, 30(2), p. 275-289.
- Wilson, M., Downes, H., 1991. Tertiary-Quaternary Extension-Related Alkaline Magmatism in Western and Central Europe. *Journal of Petrology*, 32(4), p. 811-849.
- Wilson, M., Downes, H., et al., 1995. Contrasting Fractionation Trends in Coexisting Continental Alkaline Magma Series ; Cantal, Massif Central, France. *Journal of Petrology*, 36(6), p. 1729-1753.
- Wimmenauer, W., 1964. The alkaline province of central Europe and France. In : *The Alkaline Rocks*. H. Sorensen, Wiley & Sons, p. 238-271.