Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande

Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise

Band: 62 (1994)

Artikel: Le moulin hydraulique gallo-romain d'Avenches "En Chaplix" : fouilles 1990-1991

Autor: Castella, Daniel / Eschbach, François / Bezat, Evelyne

Kapitel: 3: Le moulin d'Avenches

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835408

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

3. LE MOULIN D'AVENCHES

Situation (fig. 1 et 2, pp. 10-11)
(CN 1185; 570'680 / 193'580)

LE MOULIN gallo-romain d'Avenches se situe en rase campagne à l'extérieur de la ville antique, à 240 m de l'enceinte flavienne (fig. 2: 1) et à moins de 50 m au sud de la voie romaine du *Nord-Est* (fig. 2: 6). Il a été installé au bord d'un bras de rivière aujourd'hui asséché, coulant du sud-est vers le nord-ouest (fig. 2: A). Ce cours d'eau correspond sans doute à un ancien bras du Chandon (peut-être déjà actif avant notre ère), large de près de 8,50 m (voir fig. 22: mètres 7-16). Un peu en aval du moulin, la rivière était canalisée par un dispositif boisé en entonnoir, à l'emplacement d'un pont permettant le passage de la route du *Nord-Est* (fig. 2: 7). Le premier état de ce pont est daté par la dendrochronologie du règne de l'empereur Claude (vers 45), ce qui semblerait impliquer un passage à gué à l'époque antérieure[66]. Des travaux de réfection, contemporains de la construction du moulin (époque néronienne), ont été également mis en évidence dans ce secteur. Immédiatement avant le franchissement du pont, le cours d'eau rejoint un autre ancien bras de la rivière (fig. 2: B), également très large, se dirigeant aussi vers le pont: était-il actif au même moment que le bras A ou lui est-il postérieur? Aucun argument décisif ne permet à l'heure actuelle de trancher, et on ne peut ainsi exclure que le moulin n'ait été aménagé sur une langue de terre – voire sur une sorte d'îlot – entre les deux cours d'eau.

Partant du bras de rivière (fig. 9: A 1), peut-être amorcé en amont par une prise d'eau (située hors de l'emprise des fouilles), un chenal (artificiellement creusé?) (fig. 9: A 2), large de 4 à 4,5 m, amenait l'eau nécessaire au moulin, parallèlement au bras principal. Aucune trace de boisage n'a été observée sur ce tronçon du bief, mais on ne peut en exclure catégoriquement l'existence, l'érosion fluviatile immédiatement postérieure à l'abandon du moulin ayant manifestement remodelé le tracé du chenal.

Description des vestiges

L'installation proprement dite se situe sur la berge orientale de ce chenal. Sur la terre ferme à l'est et au sud du moulin, quelques traces de poteaux et plusieurs tronçons de fossés peu profonds au comblement organique ont été observés (fig. 9). L'un de ces fossés (F 1), orienté nord-sud, se dirige vers le moulin, un autre (F 2), dont on perd la trace à la hauteur du moulin, est attesté sur près de 22 m en droite ligne vers le nord-ouest, alors qu'un troisième (F 3), recoupé par une fosse circulaire (F 4), court parallèlement au chenal. La nature et la fonction de ces modestes aménagements (enclos? drainage?) demeurent obscures et leur lien avec le moulin n'est pas assuré. Le matériel récolté dans ce secteur de la fouille est toutefois contemporain de l'activité de l'installation (AV90/7862-7863; AV91/7869). A l'est du moulin, un pieu isolé (fig. 9: 416) est quant à lui contemporain de la construction du moulin (date dendro: 57/58). Au nord du secteur, s'amorce un double rang de pieux verticaux très imposants et profondément implantés (fig. 9: 398, 325-328, 399-401), qui se prolonge sur une cinquantaine de mètres jusqu'à la route du *Nord-Est*, à l'angle du domaine de la villa suburbaine dite du *Russalet*. Daté par la dendro-

66. La date de l'aménagement de la route du *Nord-Est* a pu être fixée aux environs de 20/25 ap. J.-C. sur la base des observations faites en 1989 dans le secteur cultuel et funéraire voisin (fig. 2: 2-4): D. Castella et L. Flutsch, Sanctuaires et monuments funéraires à Avenches-en Chaplix VD, *AS* 13.1, 1990, p. 9.

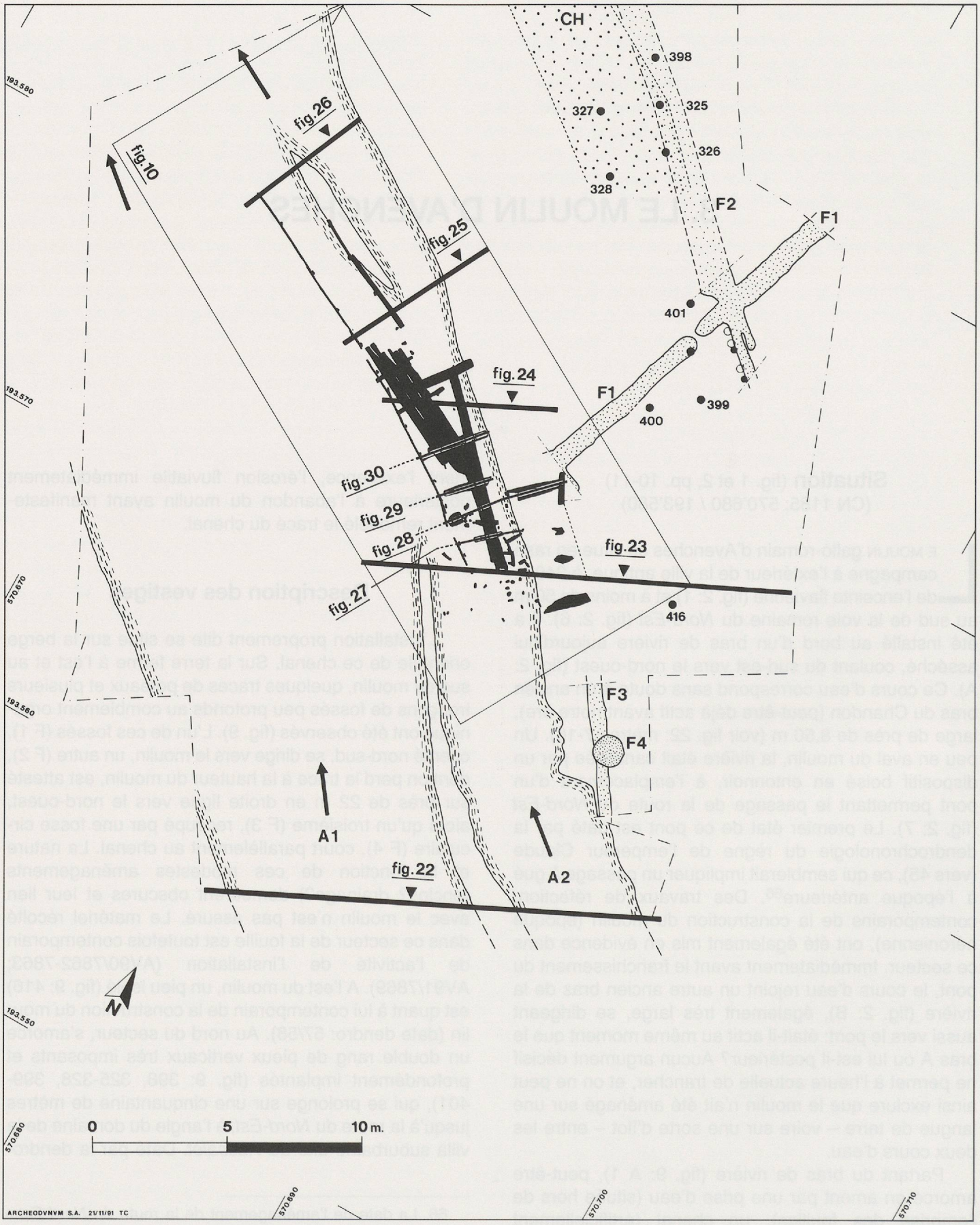


Fig. 9. Avenches *En Chaplix*. Plan du secteur du moulin hydraulique et situation des coupes stratigraphiques et schématiques. Les petits cercles marquent l'emplacement de poteaux et de piquets (cercles pleins: assurés; cercles vides: éventuels). A1: rivière; A2: chenal d'amenée du moulin; CH: chemin; F1 - F3: fossés; F4: fosse. Encadré: situation de la fig. 10.

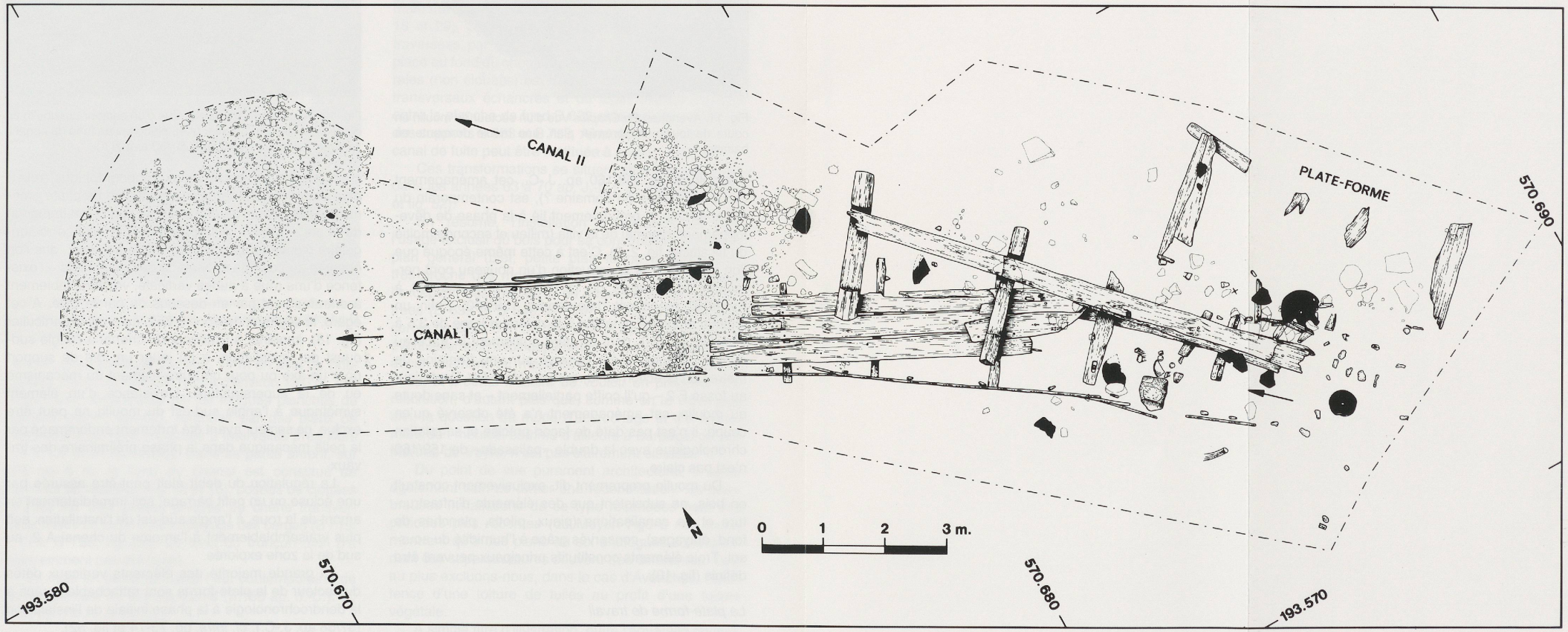


Fig. 10. Avenches *En Chaplix*. Plan détaillé du moulin hydraulique. En noir, les fragments de meules.

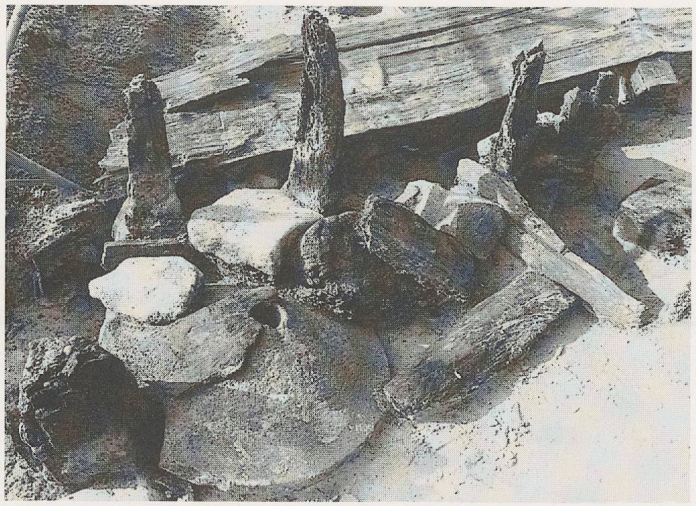


Fig. 11. Avenches *En Chaplix*. Vue d'un secteur du moulin en cours de fouille. Au premier plan, une meule dormante en basalte.

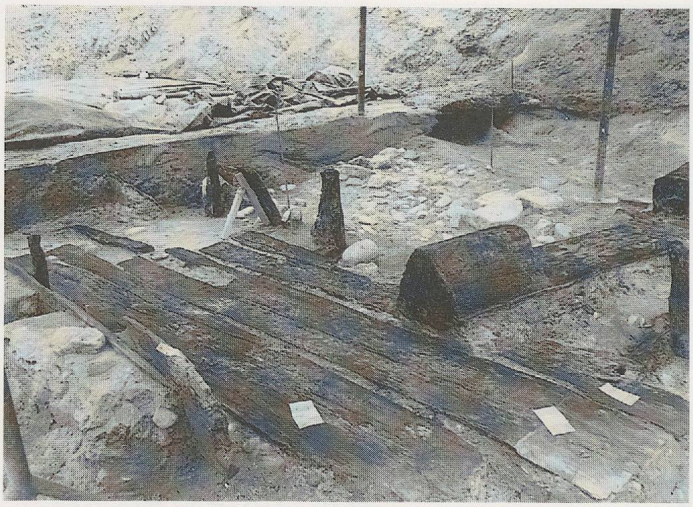


Fig. 12. Avenches *En Chaplix*. Vue d'un secteur du moulin en cours de fouille. Au premier plan, planches de fond du canal I. A droite, l'élément transversal B 753 (canal II).

chronologie de 159/160 ap. J.-C., cet aménagement (sorte de clôture du domaine ?), est contemporain du canal romain et probablement lié à la phase de développement maximal de la villa (milieu et seconde moitié du IIe siècle; fig. 2: 9). C'est à cette même époque que l'on peut situer la construction d'un nouveau pont permettant le passage de la route (immédiatement à l'ouest du précédent; date dendro: 159/160). Enfin, un chemin empierré parallèle à la rivière et large de 3,5 à 4 m (fig. 9: CH), dont on perd également la trace au nord du moulin, a été observé sur une trentaine de mètres en direction de la route du *Nord-Est*. Postérieur au fossé F 2 – qu'il coiffe partiellement – et sans doute au moulin, cet aménagement n'a été observé qu'en coupe: il n'est pas daté de façon précise et sa relation chronologique avec la double «palissade» de 159/160 n'est pas claire.

Du moulin proprement dit, exclusivement construit en bois, ne subsistent que des éléments d'infrastructure et de canalisations (pieux, pilotis, planches de fond, étayages), conservés grâce à l'humidité du sous-sol. Trois éléments constitutifs principaux peuvent être définis (fig. 10):

La plate-forme de travail

C'est là qu'étaient installés les mécanismes de transmission du moulin, ainsi que la chambre de meunerie proprement dite, au niveau supérieur. Il n'en reste à vrai dire pas grand chose: l'emprise de cette plate-forme (env. 4,7 x 2,2 m)[67], aménagée dans le talus de la berge, est concrétisée par des rangs de pieux disposés parallèlement au chenal (très densément du côté de la berge) et par quelques éléments de planches et de madriers horizontaux (B 402, B 653, B 654, B 746), qui sont peut-être les vestiges d'un plancher ou de son support (fig. 28).

Du mécanisme proprement dit, il ne reste absolument aucune trace. Le contexte topographique (relief) et la nature du bief (absence manifeste de chute aménagée) permettent de proposer, au sud-ouest immédiat de la plate-forme – peut-être dans cet espace rectangulaire d'environ 2,2 x 1,5 m, vierge de pieux, que l'on observe au point de séparation des deux biefs – l'existence d'une roue à aubes verticale, vraisemblablement à entraînement par en dessous ou par le côté. A cet égard, le segment de tronc B 652, au profil si particulier (fig. 18), implanté à l'intérieur du chenal à l'angle sud-ouest de l'installation, a dû jouer un rôle de support pour un axe ou pour un autre élément du mécanisme ou de la superstructure. L'existence d'un élément symétrique à l'angle sud-est du moulin ne peut être exclue, ce secteur ayant été fortement endommagé par la pelle mécanique dans la phase préliminaire des travaux.

La régulation du débit était peut-être assurée par une écluse ou un petit barrage, soit immédiatement en amont de la roue, à l'angle sud-est de l'installation, soit plus vraisemblablement à l'amorce du chenal A 2, au sud de la zone explorée.

La grande majorité des éléments verticaux datés du secteur de la plate-forme sont rattachables grâce à la dendrochronologie à la phase initiale de l'installation (57/58 ap. J.-C.): *cf. infra*, pp. 73-74 et fig. 52).

Le chenal du premier état (bief et canal de fuite I)

Boisé depuis l'emplacement présumé de la roue, le chenal du premier état (canal I), d'une largeur moyenne d'env. 1,5 m, suit un tracé doucement curviligne, légèrement désaxé par rapport au moulin propre-

67. Surface légèrement plus grande que les chambres des moulins d'Hagendorn (env. 3,5 x 2 m), aménagée sur une petite levée de terrain, et d'Ickham (env. 3,3 x 2 m.): voir fig. 6-8.

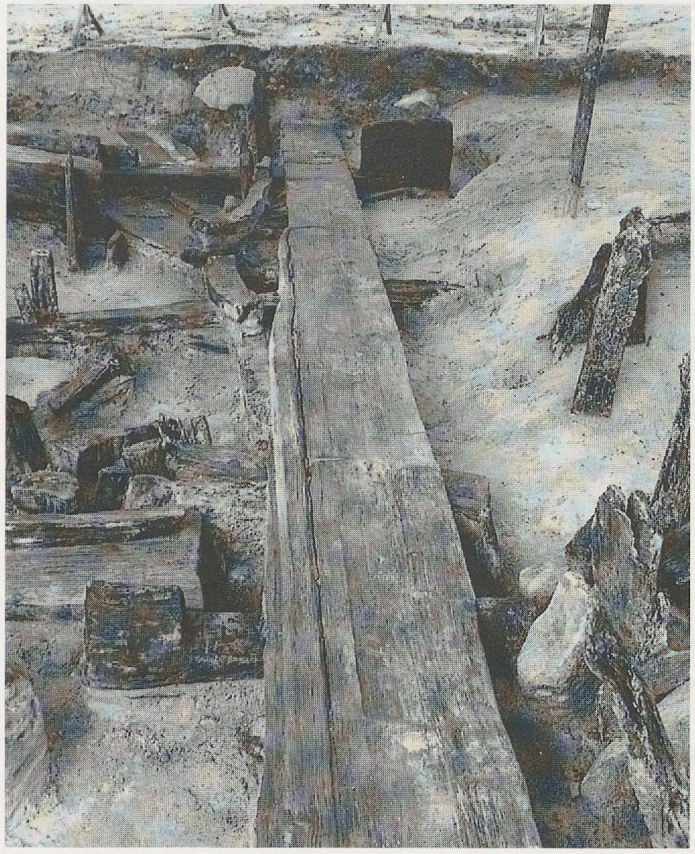


Fig. 13. Avenches *En Chaplix*. Un secteur du moulin en cours de fouille. Vue vers le nord-ouest, dans l'axe de la planche B 632 (canal II).

ment dit et se prolonge sur env. 14 m en aval de l'installation. Distantes l'une de l'autre d'environ 1,60 m, ses berges sont consolidées par de longues planches de résineux (sapin, épicéa), retenues par des pieux de chêne profondément implantés à intervalles irréguliers (1,3 à 1,6 m en moyenne). Dans sa partie amont, sur près de 8 m, le fond du chenal est constitué de planches de résineux (fig. 12 et 16), posées ou clouées (B 758) sur trois petites poutres de chêne transversales, mises en place avant l'étayage des berges (B 719, B 720, B 758; fig. 30). Le fond du tronçon aval n'a apparemment pas été boisé.

La mise en place du canal I est contemporaine de l'aménagement de la plate-forme (57/58 ap. J.-C.): *cf. infra*, pp. 73-74 et fig. 52).

Le chenal du second état (bief et canal de fuite II)

Attesté sur un tronçon rectiligne d'environ 8 m, respectant quant à lui l'orientation de la plate-forme, le chenal boisé du second état (canal II) a désaffecté et partiellement détruit son prédécesseur (fig. 27-30). Il est lui-même très incomplet et il n'en subsiste que quelques éléments, parmi lesquels une longue planche de sapin (B 632; fig. 13) reposant sur des traverses perpendiculaires de dimensions et de formes variables. Trois de ces traverses (B 633, B 727, B 753; fig. 18) sont des poutres de chêne dans lesquelles ont été creusées de larges échancrures rectangulaires, destinées au logement de planches de fond et de parois[68]. On relèvera la faible longueur et l'étroitesse de l'échancrure de la pièce B 727, située à la hauteur de l'emplacement présumé de la roue. La traverse B 633 se signale par la présence d'une mortaise traversante rectangulaire, avec un tenon vertical. La planche B 632 est quant à elle fixée par un clou à ce même élément B 633 (fig. 30) et sur la courte traverse B 636. Le dernier élément transversal est une planche de chêne (B 634; fig. 18 et 29), percée de deux mortaises rectangulaires, traversées par des pieux destinés à la maintenir en place au fond du chenal. La présence de planches latérales (non clouées) est déduite du profil des supports transversaux échancrés et du léger espace observé entre la planche de fond B 632 et les retours verticaux des supports B 633 et B 753. Ainsi définie, la largeur du canal de fuite peut être restituée à environ 1,2 m.

Ces transformations se situent chronologiquement dans les années 63 à 70 ap. J.-C.): *cf. infra*, pp. 73-74 et fig. 52).

En résumé, l'installation d'Avenches est, par l'usage exclusif du bois pour sa construction et par son plan général (bief, petite plate-forme rectangulaire), très proche des moulins d'Hagendorn et d'Ickham. A l'exception des meules et de deux pièces de bois cintrées (B 639 et B 640; fig. 19) – s'inscrivant dans un cercle de 2,5 à 3 m de diamètre et qui pourraient (très éventuellement) avoir appartenu à une roue à aubes[69] –, aucun élément du mécanisme n'est parvenu jusqu'à nous, et il serait illusoire de vouloir en proposer une restitution, d'autant plus que, comme on le verra plus loin, la question du mode d'accrochage et d'entraînement des meules, comme d'ailleurs à Barbegal ou aux Martres-de-Veyre, n'est pas clairement élucidée.

Du point de vue purement architectural, il serait également vain de tenter une reconstitution: les nombreuses installations de ce type recensées pour des périodes plus récentes (du Moyen Age à nos jours) montrent qu'à des plans au sol analogues correspondent des superstructures souvent très différentes. Tout au plus excluons-nous, dans le cas d'Avenches, l'existence d'une toiture de tuiles au profit d'une toiture végétale.

A simple titre d'illustration, outre l'aquarelle de couverture, nous avons choisi une gravure du XVIIe siècle montrant un moulin à roue verticale et entraînement par en dessous, remarquable par sa modestie et sa situation riveraine très proche de celle du moulin avenchois (fig. 21).

68. Des éléments transversaux analogues sont apparemment attestés dans le moulin d'Hagendorn, mais leur emplacement exact n'est pas précisé: Gähwiler/Speck 1991, fig. 9, p. 42.

69. En raison de l'absence de traces d'assemblage (logements de chevilles ou de clous), cette hypothèse paraît toutefois peu vraisemblable.

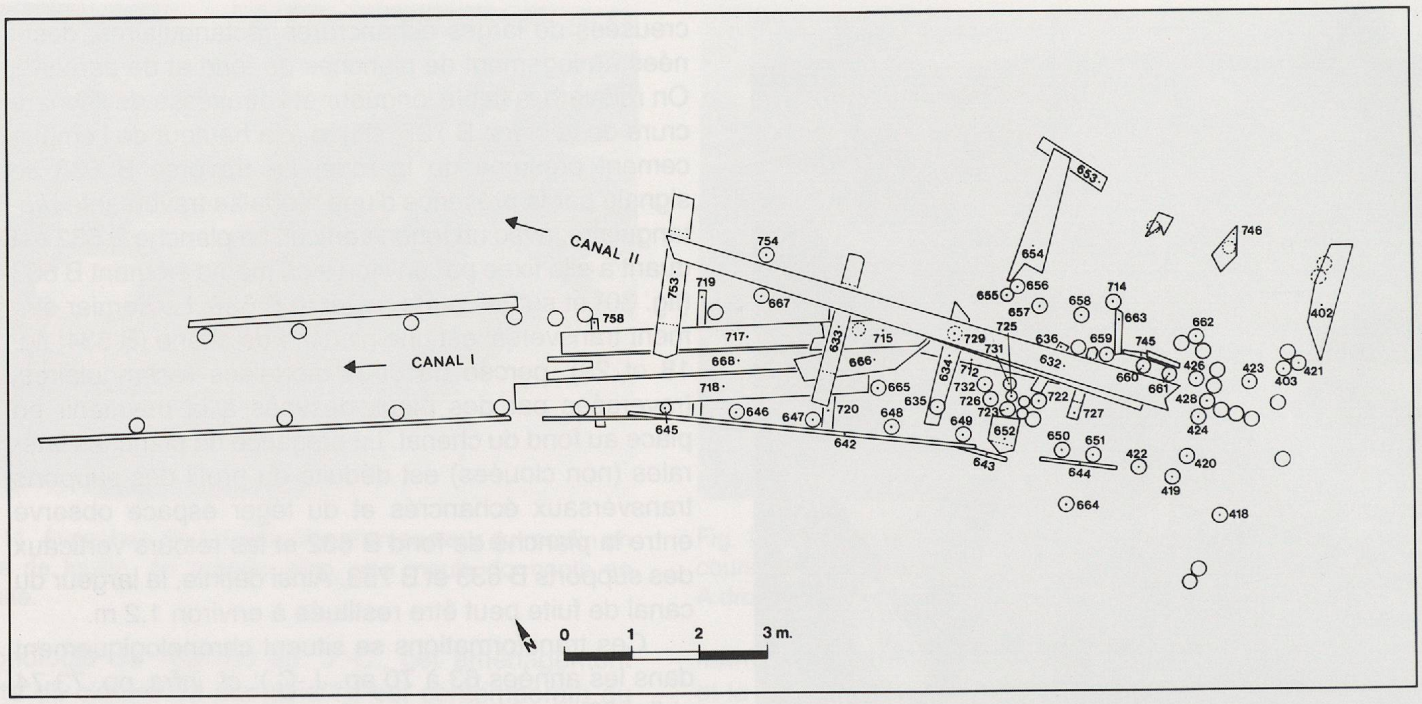


Fig. 14. Avenches *En Chaplix*. Plan schématique du moulin, avec indication des numéros des bois mentionnés dans le texte.

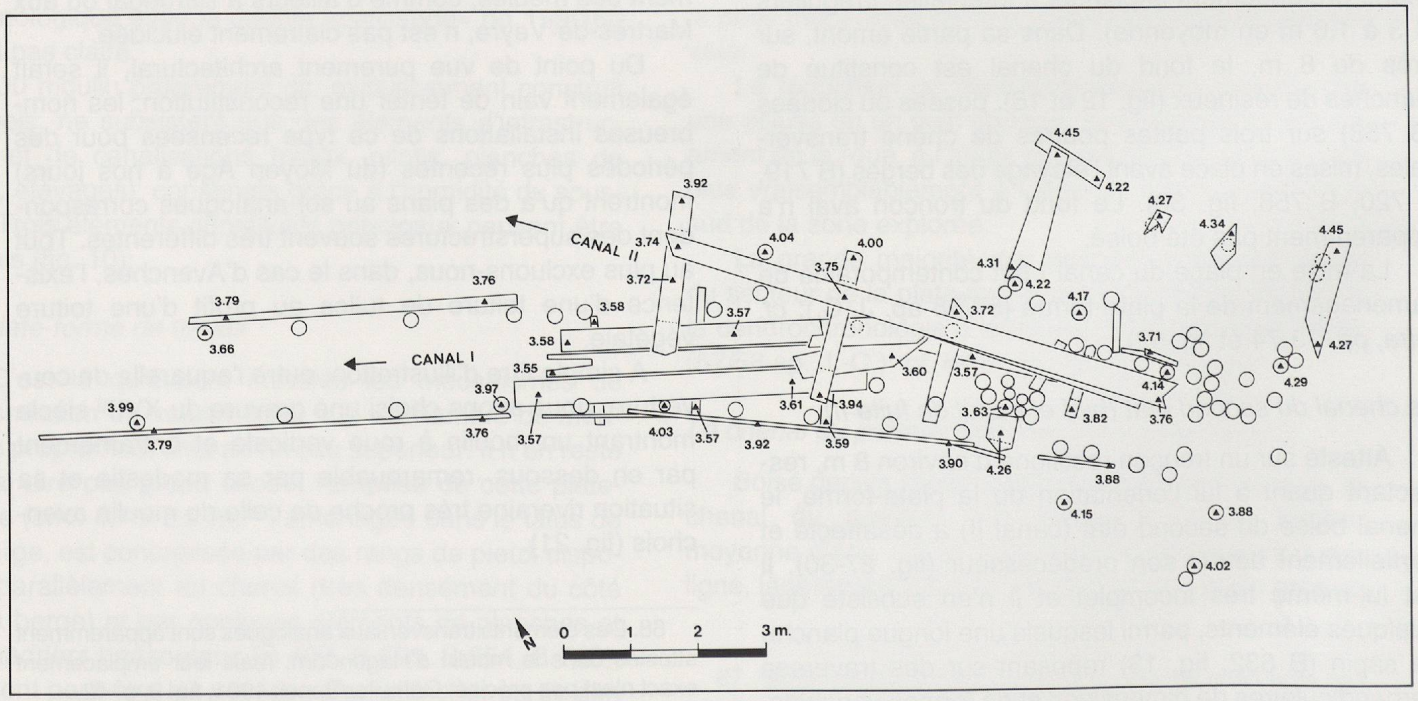


Fig. 15. Avenches *En Chaplix*. Plan schématique du moulin, avec report des altitudes. Lire: 43 _._ _

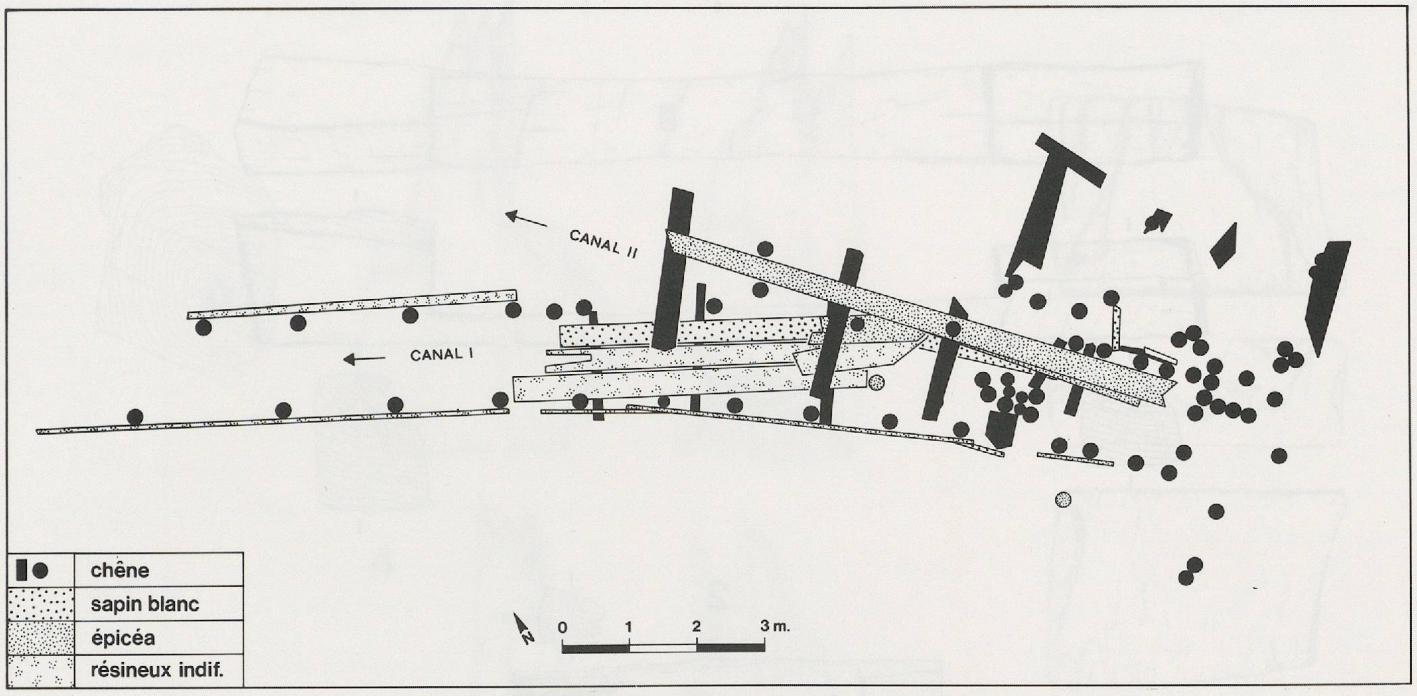


Fig. 16. Avenches *En Chaplix*. Plan schématique du moulin, avec report des essences végétales déterminées.

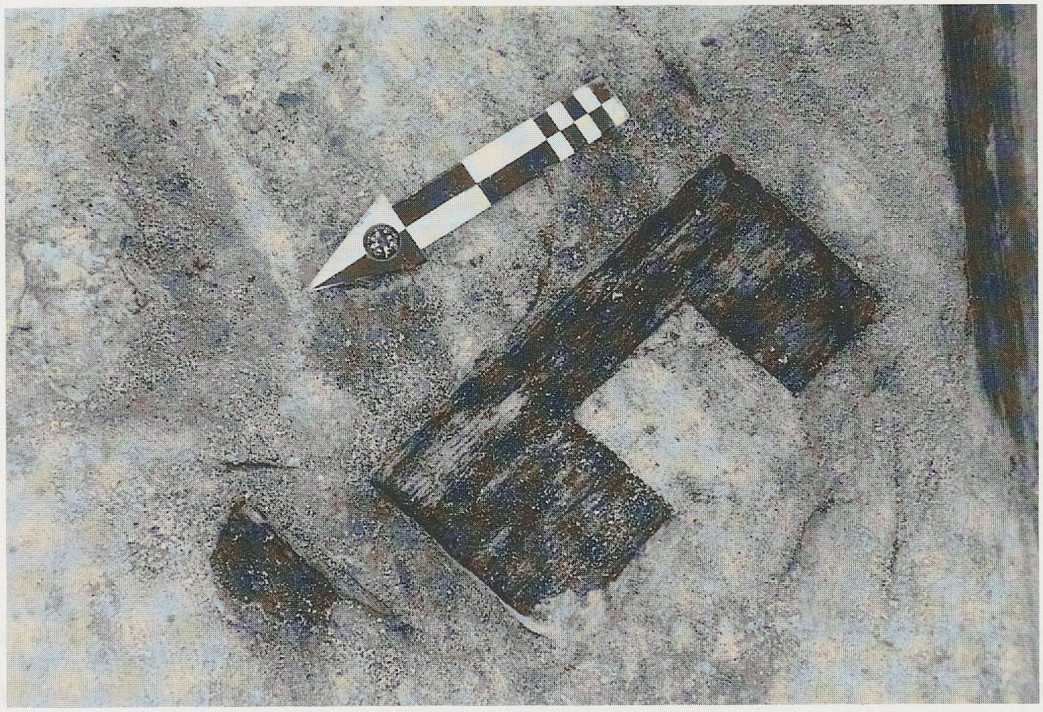
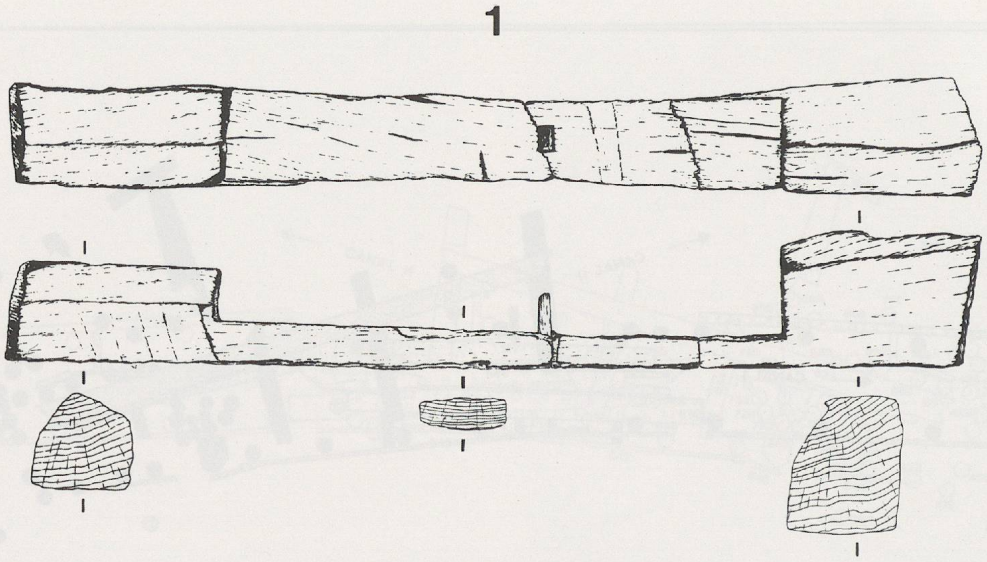
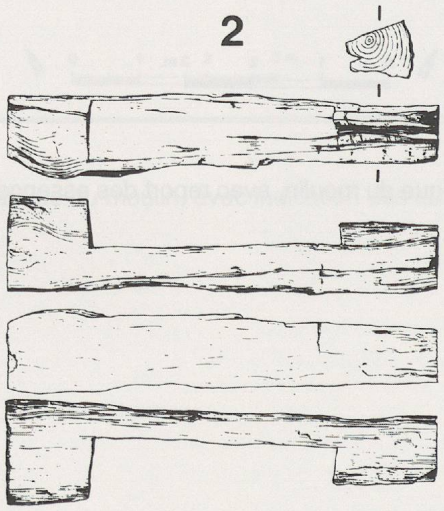


Fig. 17. Avenches *En Chaplix*. Planchette de chêne échancrée B 767, de fonction inconnue, *in situ*, dans le comblement du canal I. Dimensions: 28 x 13 cm. Un autre élément identique, légèrement plus petit, a été découvert à proximité.





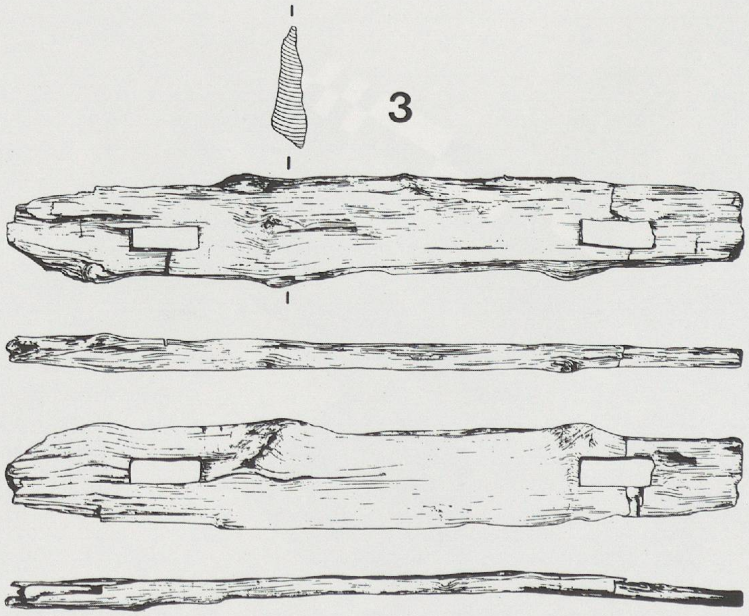
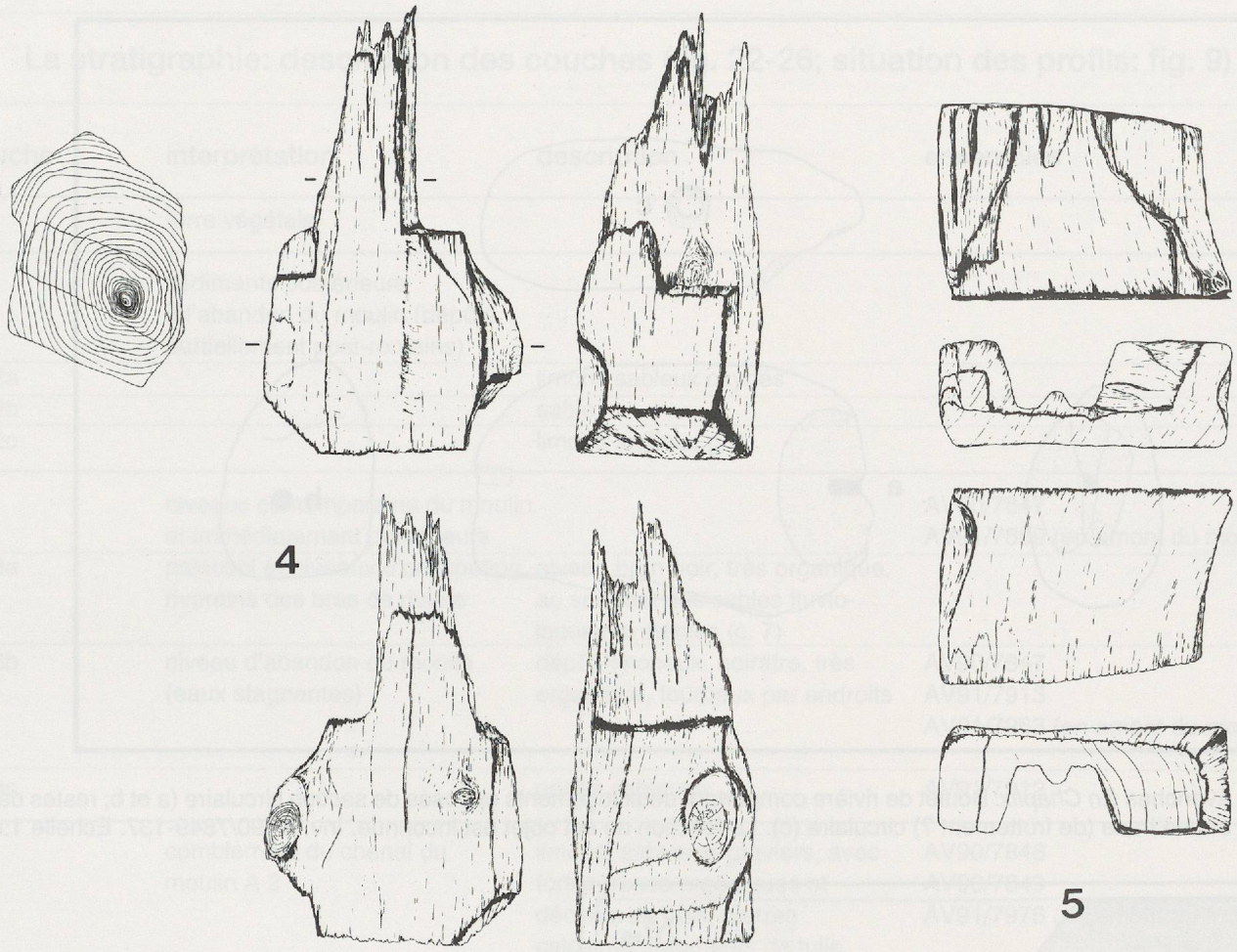
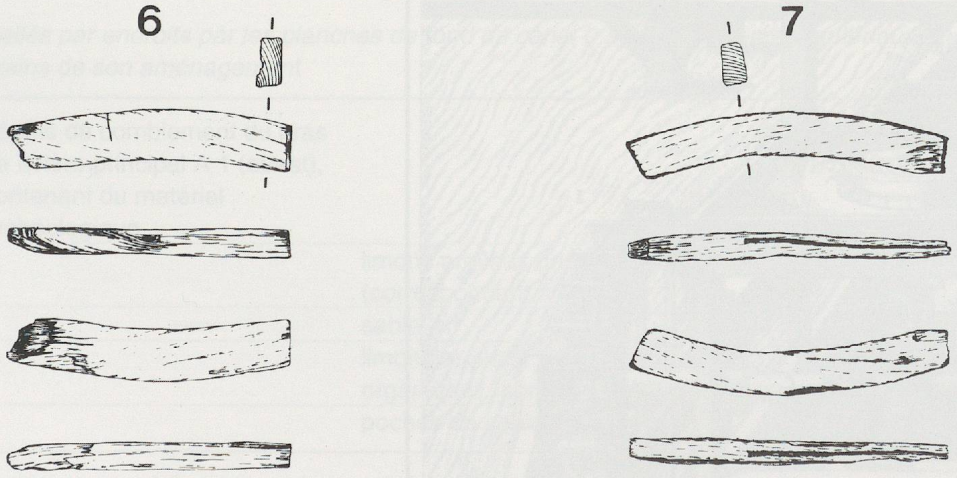


Fig. 18 et 19. Avenches *En Chaplix*. Relevés de quelques pièces de chêne du moulin. Echelle 1:20 (sauf B 737: 1:8).
1: B 633. Poutre échancrée transversale du canal II; mortaise rectangulaire, avec mince tenon allongé. Situation: fig. 14 et 30.
2: B 727. Petite poutre échancrée transversale du canal II; la face inférieure, brute, porte des traces d'écorce. Situation: fig. 14 et 27.
3: B 634. Planche transversale du canal II; deux mortaises rectangulaires traversantes, dans lesquels passaient deux pieux destinés à fixer la planche au sol. Situation: fig. 14 et 29.





4: B 652. Section de tronc taillée sur toutes ses faces; base massive de section polygonale; sommet non conservé; diverses entailles sur les flancs confèrent à cette pièce un aspect de support sur lequel viendraient s'appuyer d'autres éléments, non conservés. Etat I. Situation: fig. 14 et 28.
5: B 737. Petite pièce presque rectangulaire, avec évidement triangulaire; provenant du comblement du canal à la hauteur du moulin. Situation: fig. 14.
6 et 7: B 639 et B 640. Minces planchettes cintrées, retrouvées dans le comblement du canal. La pièce B 640 porte les traces de coups de scie sur ses deux faces étroites; les deux éléments s'inscrivent dans un cercle de 2,5-3,0 m de diamètre.

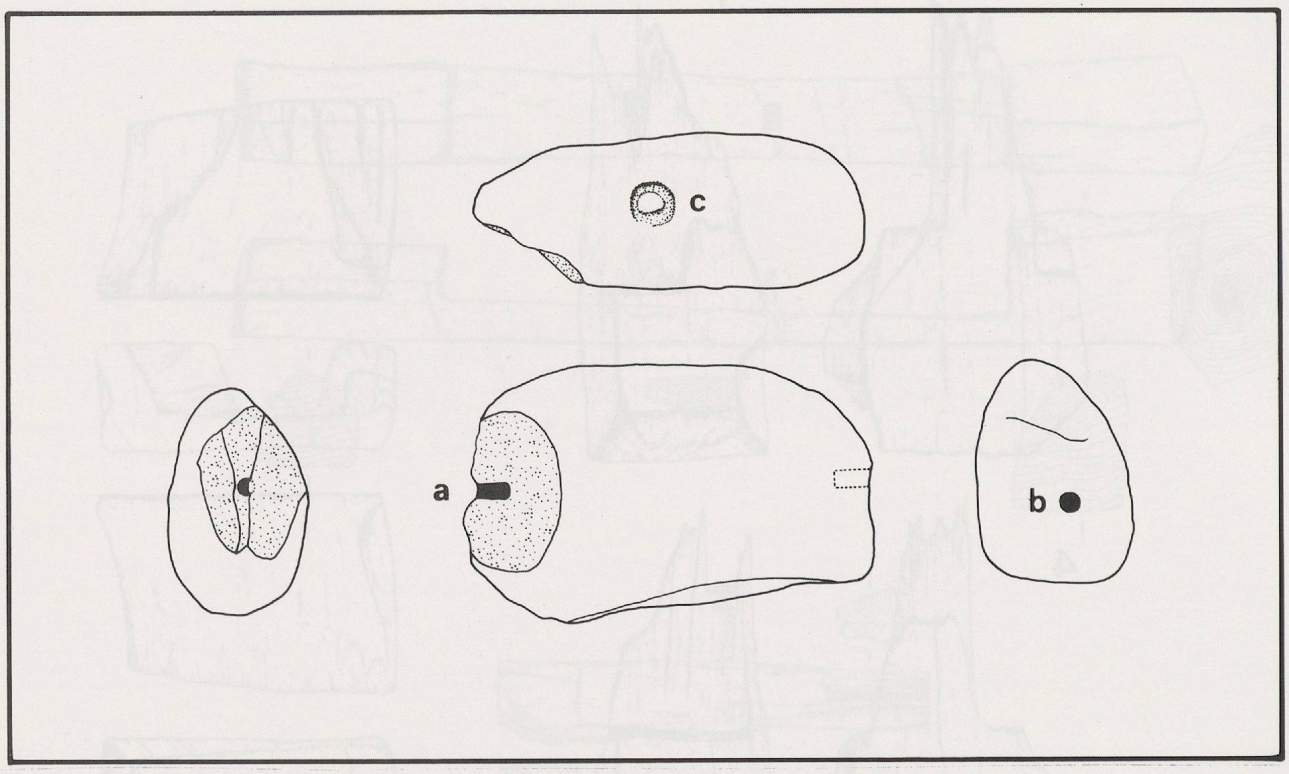


Fig. 20. Avenches *En Chaplix*. Boulet de rivière comportant deux logements opposés de section circulaire (a et b; restes de plomb dans b) et une trace (de frottement ?) circulaire (c). La fonction de cet objet est inconnue. Inv. AV90/7849-137. Echelle 1:8.

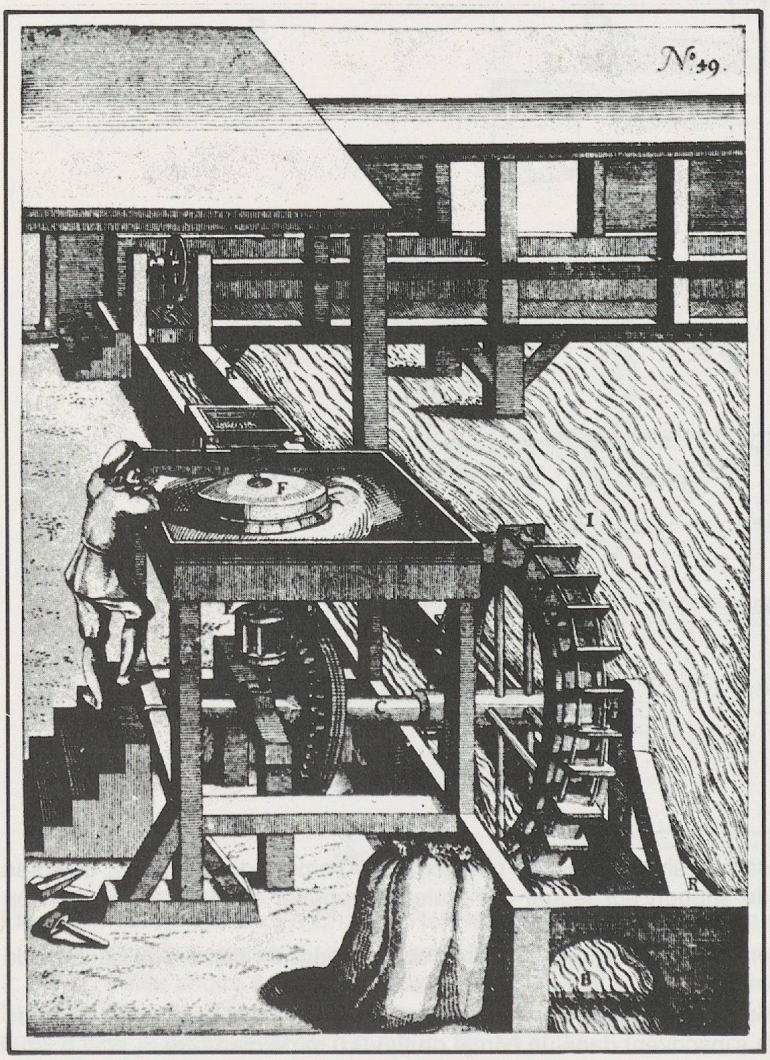


Fig. 21. Gravure du XVIIe siècle, représentant un moulin hydraulique à roue verticale (roue «en dessous»). Tiré de Böckler, *Theatrum machinarum novum* (1661), dans Gleisberg 1975, fig. 19, p. 128.

La stratigraphie: description des couches (fig. 22-26; situation des profils: fig. 9)

couche	interprétation	description	ensembles
1	terre végétale		
2	sédiments postérieurs à l'abandon du moulin (dépôts partiellement post-romains)		
2a		limons sableux oxydés	
2b		sable	
2c		limons argileux gris	
3	niveaux contemporains du moulin et immédiatement postérieurs		AV90/7847 AV91/7869 (en amont du moulin)
3a	paléosol et niveaux d'occupation riverains des bras de rivière	niveau brun noir, très organique, au sommet des sables fluvio-lacustres stériles (c. 7)	
3b	niveau d'abandon du moulin (eaux stagnantes)	dépôt limoneux, noirâtre, très organique, tourbeux par endroits	AV90/7847 AV91/7913 AV91/7963 (en amont du moulin)
3c		poche sableuse	AV91/7912
4	comblement du chenal du moulin A 2	limons, sables et graviers, avec fortes traces organiques et déchets de bois, pierres calcaires, fragments de tuile	AV90/7846 AV90/7849 AV91/7976 (en amont du moulin)
4a		sables et limons (canal I)	AV91/7923 AV91/7927
4b		sables et limons (canal II)	AV91/7912
4c		graviers et galets inférieurs (canal I)	AV91/7923 AV91/7923-B
4d		graviers et galets inférieurs (canal II)	AV91/7923 AV91/7923-A
Les dépôts 4 c/d (scellés par endroits par les planches de fond du canal I) sont partiellement antérieurs au moulin ou, au plus tard, contemporains de son aménagement			
5	dépôts de comblement du bras de rivière principal A 1 (ouest), contenant du matériel archéologique		AV91/7963 (en amont du moulin) AV91/7980 (en amont du moulin)
5a		limons argileux gris supérieurs (correspondant à 2 c)	
5b		sable	
5c		limons argileux brun noir, très organiques (correspondant à 3 b)	
5d		poches de sable et de gravier	
6	comblement stérile du bras de rivière principal A 1: lit de rivière préromain ou d'époque romaine précoce	graviers, sables et limons	
7	dépôts fluvio-lacustres postglaciaires, stériles	sables jaunes et graviers	

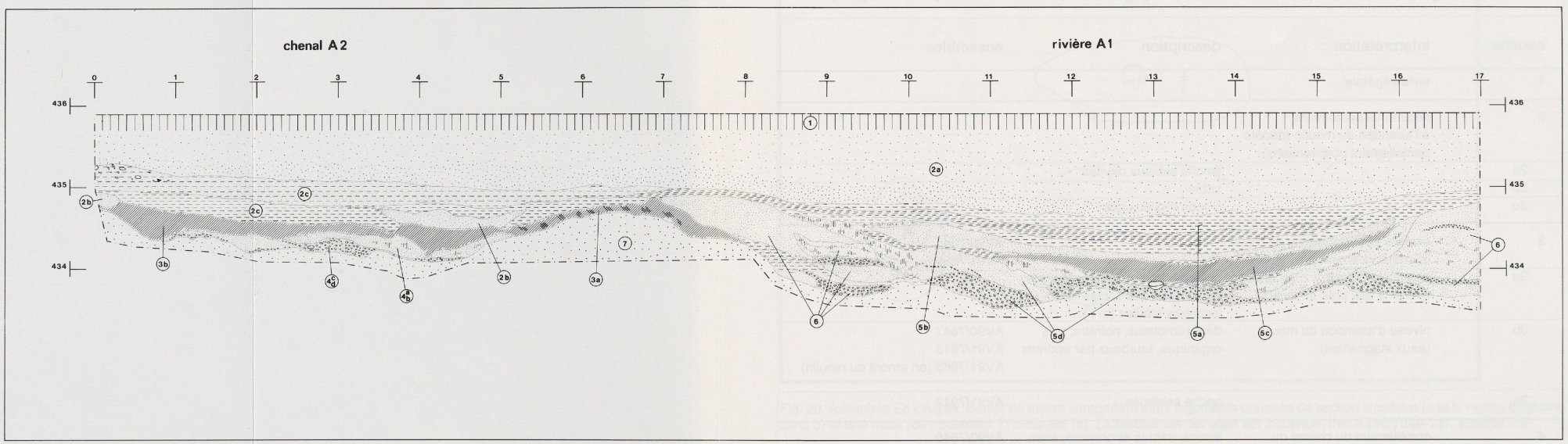


Fig. 22. Avenches *En Chaplix*. Coupe stratigraphique (D 161). Situation: fig. 9, p. 32; description des couches: p. 41.

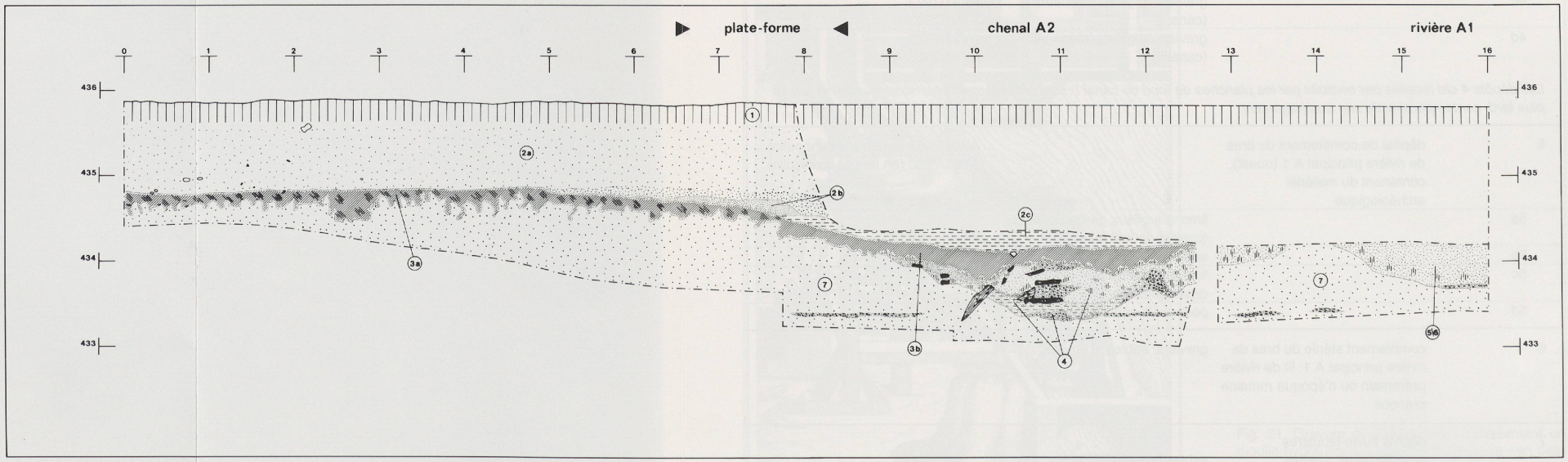


Fig. 23. Avenches *En Chaplix*.. Coupe stratigraphique (D 113). Situation: fig. 9, p. 32; description des couches: p. 41.

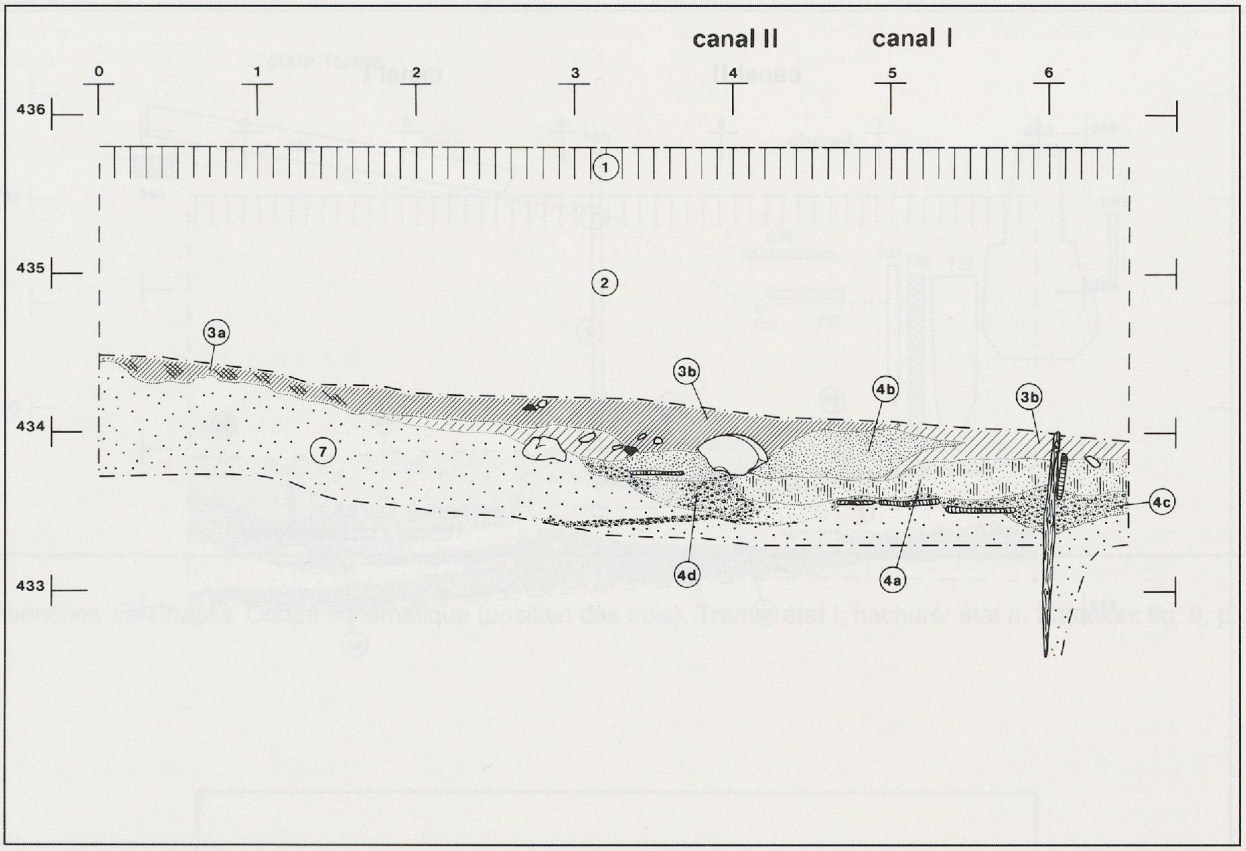


Fig. 24. Avenches *En Chaplix*. Coupe stratigraphique (D 134). Situation: fig. 9, p. 32; description des couches: p. 41.

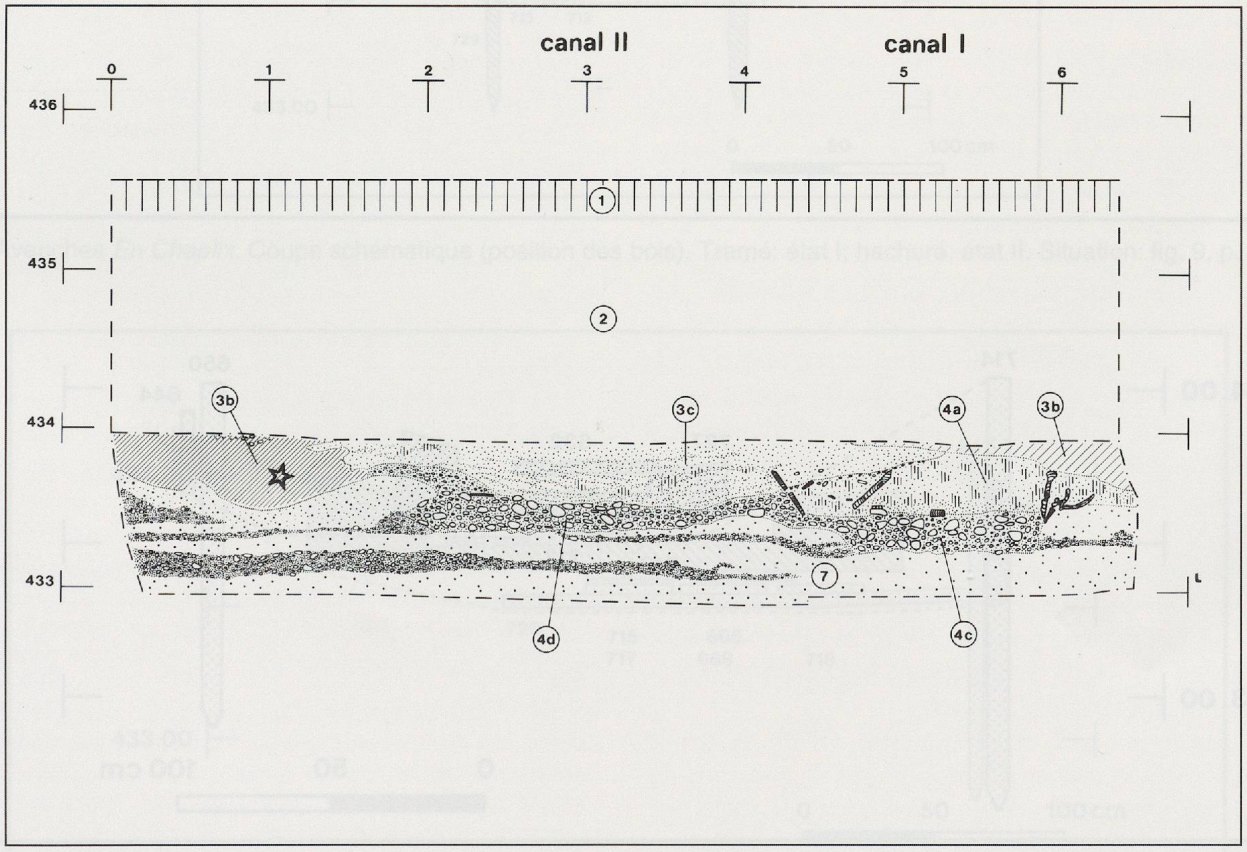


Fig. 25. Avenches *En Chaplix*. Coupe stratigraphique (D 151). Situation: fig. 9, p. 32; description des couches: p. 41. Etoile: emplacement des échantillons de macrorestes végétaux 2-6 (chap. 5).

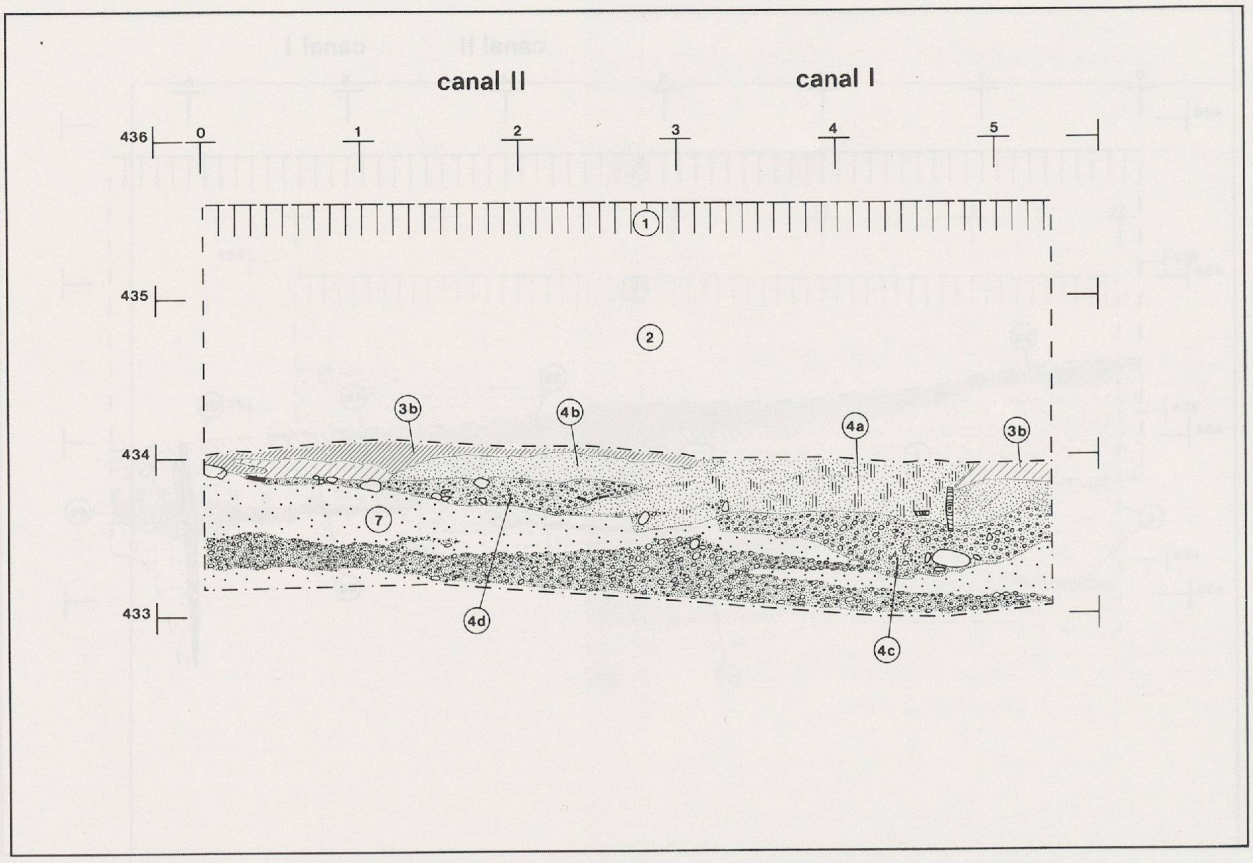


Fig. 26. Avenches *En Chaplix*. Coupe stratigraphique (D 153). Situation: fig. 9, p. 32; description des couches: p. 41.

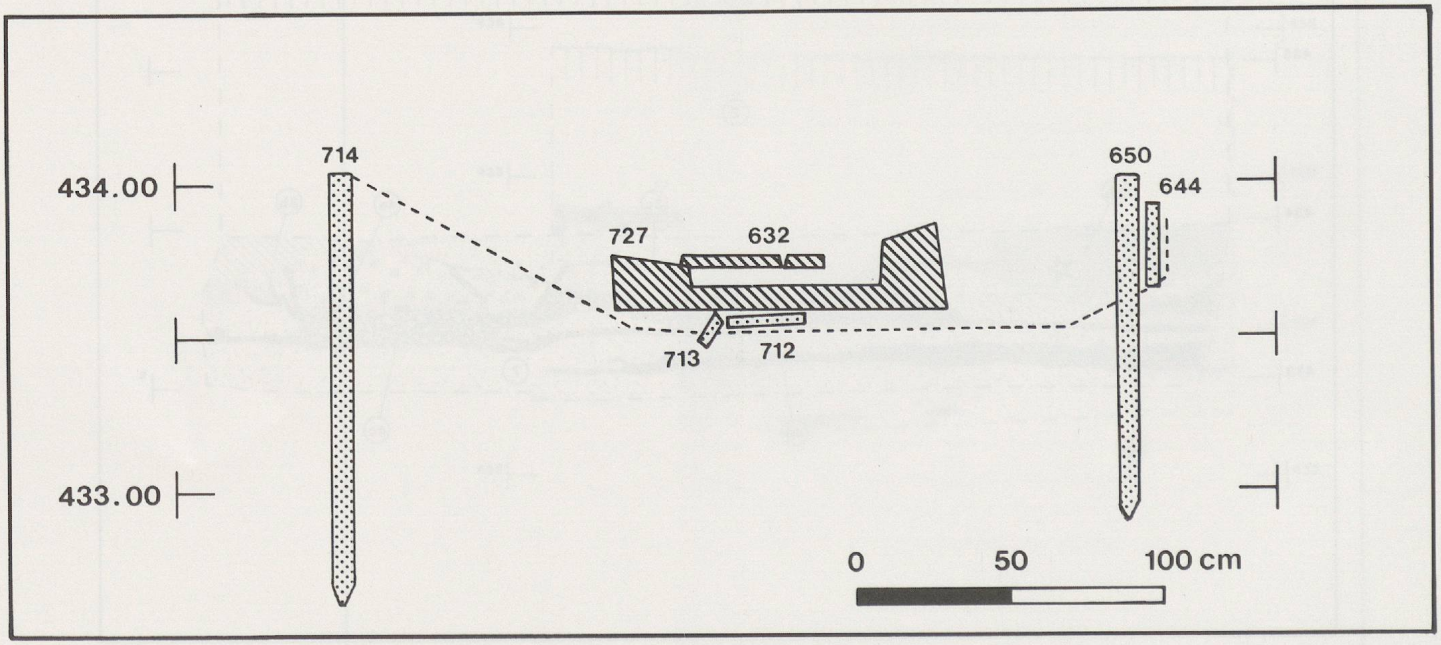


Fig. 27. Avenches *En Chaplix*. Coupe schématique (position des bois). Tramé: état I; hachuré: état II. Situation: fig. 9, p. 32.

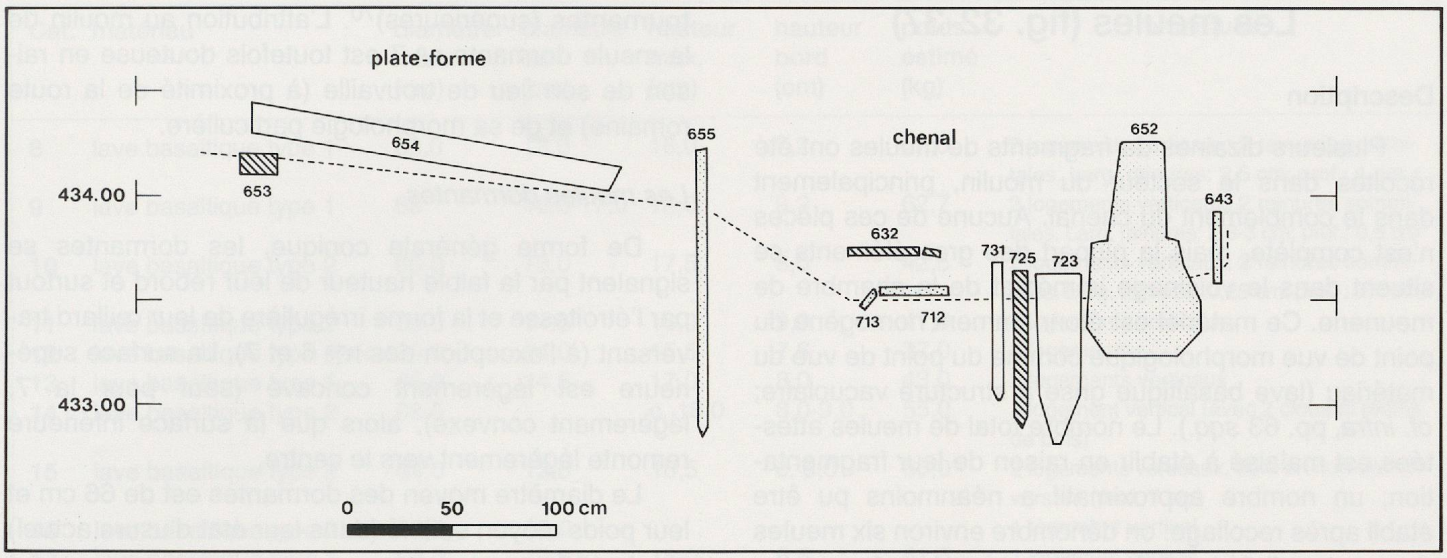


Fig. 28. Avenches *En Chaplix*. Coupe schématique (position des bois). Tramé: état I; hachuré: état II. Situation: fig. 9, p. 32.

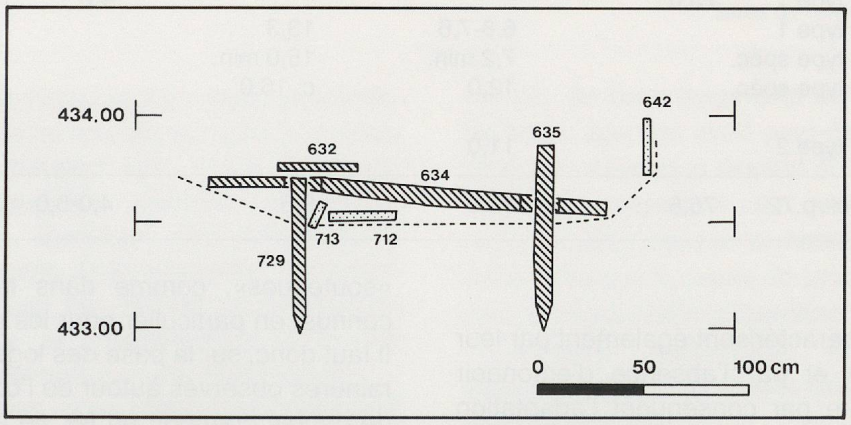


Fig. 29. Avenches *En Chaplix*. Coupe schématique (position des bois). Tramé: état I; hachuré: état II. Situation: fig. 9, p. 32.

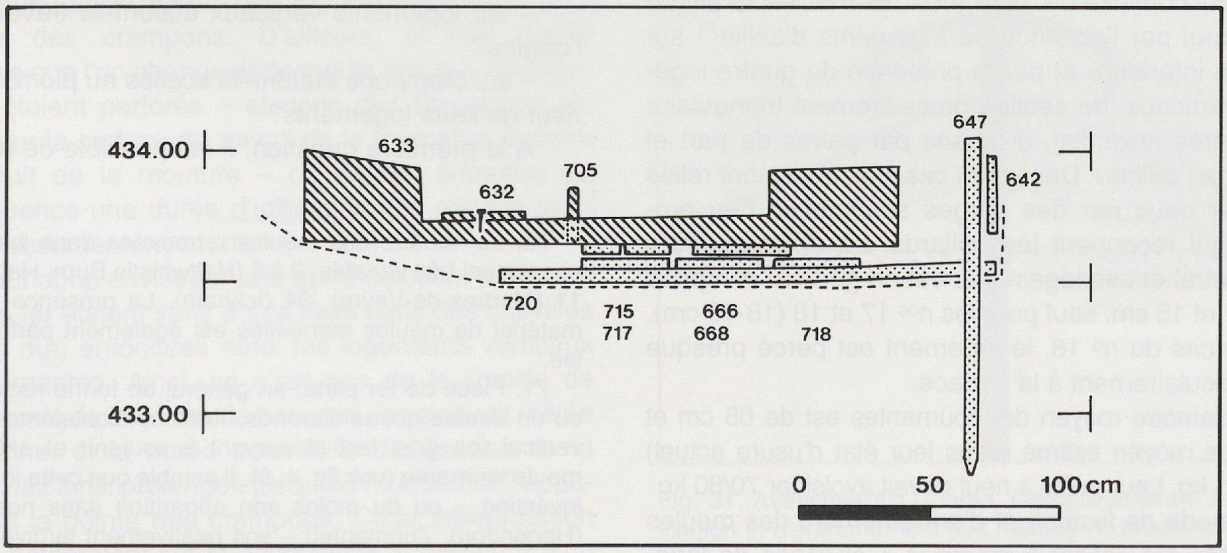


Fig. 30. Avenches *En Chaplix*. Coupe schématique (position des bois). Tramé: état I; hachuré: état II. Situation: fig. 9, p. 32.

Les meules (fig. 32-37)

Description

Plusieurs dizaines de fragments de meules ont été récoltés dans le secteur du moulin, principalement dans le comblement du chenal. Aucune de ces pièces n'est complète, mais la plupart des gros éléments se situent dans le voisinage immédiat de la chambre de meunerie. Ce matériel est étonnamment homogène du point de vue morphologique comme du point de vue du matériau (lave basaltique grise à structure vacuolaire; *cf. infra*, pp. 63 *sqq.*). Le nombre total de meules attestées est malaisé à établir en raison de leur fragmentation; un nombre approximatif a néanmoins pu être établi après recollage: on dénombre environ six **meules dormantes** (inférieures) et une quinzaine de **meules tournantes** (supérieures)[70]. L'attribution au moulin de la meule dormante n° 7 est toutefois douteuse en raison de son lieu de trouvaille (à proximité de la route romaine) et de sa morphologie particulière.

Les meules dormantes

De forme générale conique, les dormantes se signalent par la faible hauteur de leur rebord et surtout par l'étroitesse et la forme irrégulière de leur œillard traversant (à l'exception des nos 6 et 7). La surface supérieure est légèrement concave (sauf pour la 7, légèrement convexe), alors que la surface inférieure remonte légèrement vers le centre.

Le diamètre moyen des dormantes est de 66 cm et leur poids moyen estimé (dans leur état d'usure actuel) est de 45 kg.

Cat.	matériau	diamètre max. (cm)	diamètre œil (cm)	hauteur max. (cm)	hauteur bord (cm)	poids estimé (kg)
1	lave basaltique type 2	66,0	6,5-7,2	18,0	3,0-5,5	50,0
2	lave basaltique type 2	60,0	8,0	15,5	3,2	39,0
3	lave basaltique type 1	73,0			4,0	
4	lave basaltique type 1		6,8-7,6	13,3		
5	lave basaltique type spéc.		7,2 min.	15,0 min.		
6	lave basaltique type spéc.		12,0	c. 16,0		
7	lave basaltique type 2		11,0			
23	grès (Molière); cf. p.72	76,5	13,0	9,5	4,0-5,0	58,0

Les meules tournantes

Les tournantes se caractérisent également par leur profil général conique et par l'absence d'entonnoir supérieur, qui nécessite par conséquent l'adaptation d'une trémie pour l'introduction du grain. La surface supérieure est très légèrement concave ou rectiligne, alors que la surface inférieure, presque parallèle, est faiblement convexe ou rectiligne. Ces meules se signalent surtout par l'absence de logements d'anille[71] sur leur face inférieure et par la présence de quatre logements verticaux, de section grossièrement triangulaire (angles très arrondis), disposés par paires de part et d'autre de l'œillard. Dans trois cas, ces trous sont reliés deux par deux par des gorges sommitales peu profondes qui recoupent les œillards. La distance entre l'axe central et ces logements est en général comprise entre 11 et 15 cm, sauf pour les nos 17 et 18 (18-19 cm). Dans le cas du n° 18, le logement est percé presque perpendiculairement à la surface.

Le diamètre moyen des tournantes est de 65 cm et leur poids moyen estimé (dans leur état d'usure actuel) est de 51 kg. Leur poids à neuf devait avoisiner 70/80 kg.

Le mode de fixation et d'entraînement des meules tournantes est délicat à identifier. L'absence de logements d'anille prouve qu'il ne s'agit pas de meules «soutenues», comme dans la plupart des moulins connus, en particulier pour les périodes plus récentes. Il faut donc, sur la base des logements verticaux et des rainures observés autour de l'œil, restituer un système de double crampon en fer, lié à l'axe vertical, permettant à la fois la suspension des meules et la transmission du mouvement rotatif (fig. 31). Deux questions se posent:

– les logements verticaux étaient-ils traversants à l'origine?

– les crampons étaient-ils scellés au plomb à l'intérieur de leurs logements?

A la première question, il est possible de répondre

70. Le nombre des meules retrouvées dans les moulins connus est très variable: 3 à 5 (Haltwhistle Burn, Hagendorn), 11 (Martres-de-Veyre), 34 (Ickham). La présence parmi ce matériel de meules manuelles est également parfois signalée.

71. Pièce de fer plate, en général de forme rectangulaire ou en double queue-d'aronde, fixée horizontalement à l'axe vertical (ou gros fer) et servant à soutenir et entraîner la meule tournante (voir fig. 4: **9**). Il semble que cette ingénieuse invention – ou du moins son apparition dans nos régions (Hagendorn, Zugmantel) – soit relativement tardive (dans le courant du IIe siècle ap. J.-C.?) (communication du professeur D. Baatz, Saalburg).

Cat.	matériau	diamètre max. (cm)	diamètre œil (cm)	hauteur max. (cm)	hauteur bord (cm)	poids estimé (kg)	remarques
8	lave basaltique type 1	65,0	13,0	16,0	7,2	57,0	2 logements verticaux; 2 rainures sommitales. Larg. rainures: 2,5 cm; prof.: 1 cm.
9	lave basaltique type 1	68	16,0-17,0	18,0	9,2	62,7	2 logements verticaux; 2 rainures sommitales. Larg. rainures: 2,8-3 cm; prof.: 0,8 cm
10	lave basaltique type 2	60,0	13,0	17,5	8,0	42,5	2 logements verticaux; 2 rainures sommitales. Larg. rainures: 0,25 cm; prof. : 0,7 cm
11	lave basaltique type 2	60,0	14,5	16,0	9,0	41,6	4 logements verticaux
12	lave basaltique type spéc.	60,0	14,0	15,5	7,6	37,0	3 logements
13	lave basaltique type 1	66,0	14,5	17,0	8,0	43,0	2 logements verticaux
14	lave basaltique type 2	68,5		c. 16,0	8,0-9,0	55,0	1 logement vertical (avec 2 clous et restes de bois)
15	lave basaltique type 2	64,0	12,0	18,5	c. 8,0	60,0	2 logements verticaux, dont un non-traverversant (prof. 7 cm)
16	lave basaltique type 2	66,0	12,0				1 logement vertical
17	lave basaltique type 1	68,0	13,0	18,0	6,5	61,5	1 logement vertical
18	lave basaltique type 1	66,0			5,5		2 logements légèrement obliques
19	lave basaltique type 2	66,0		c. 17,0	11,2		
20	lave basaltique type 1	60,0		8,5			
21	lave basaltique type spéc.	68,0		7,5			
22	lave basaltique type 1	65,0		6,5			
24	grès (Molière); cf. p. 72	68,8	13,3-14,0	6,4	3,0-4,0	42,0	traces érodées des logements rectangulaires de l'anille

par la négative, puisque l'amorce d'un retour perpendiculaire a pu être observé au fond de l'un des deux trous de la meule nº 15 (profondeur: env. 7 cm). D'ailleurs, les exemplaires analogues signalés ci-dessous (Martigny, Nyon, Frick, Barbegal, Martres-de-Veyre) confirment que ces cavités étaient fermées à l'origine et que la perforation totale des meules est une conséquence de leur usure et probablement l'une des causes de leur remplacement par une meule neuve.

A la seconde question, nous répondons également par la négative. D'abord, malgré la forte porosité de la pierre, aucune trace de plomb n'a été observée à l'intérieur des logements verticaux, ni aucun dépôt laissé sur la surface de travail des meules dormantes à la hauteur des crampons. D'ailleurs, si l'on devait admettre que l'on changeait de meule dès que les logements étaient perforés – et donc dès l'apparition du plomb sur la surface de travail de la tournante et dans le produit de la mouture – on devrait admettre en conséquence une durée d'utilisation des meules tournantes absurdement courte.

Il faut donc envisager une autre solution: les crampons de fer étaient sans doute fixés dans des chevilles de bois dur, enfoncées dans les logements verticaux des tournantes. Ainsi, ce n'est pas de la limaille de plomb, mais de la sciure de bois que l'on trouvait mêlée à la farine, et la durée potentielle d'utilisation de la meule était ainsi prolongée jusqu'au moment de l'apparition de la pointe des crampons. Cette interprétation repose notamment sur la découverte, à l'intérieur d'un des logements verticaux d'une tournante avenchoise (nº 19), de deux fragments de clous (avec des traces de bois), que l'on avait peut-être plantés dans la cheville pour assurer la fixation du crampon, à la façon de l'ouvrier qui plante un clou dans le bois du manche de son outil pour assurer le maintien du fer. Les observations faites sur la meule de granit de Martigny (*cf. infra*, pp. 57-58) corroborent parfaitement cette hypothèse.

Tentons maintenant d'insérer les meules d'Avenches dans le *corpus* des meules gallo-romaines de grand format.

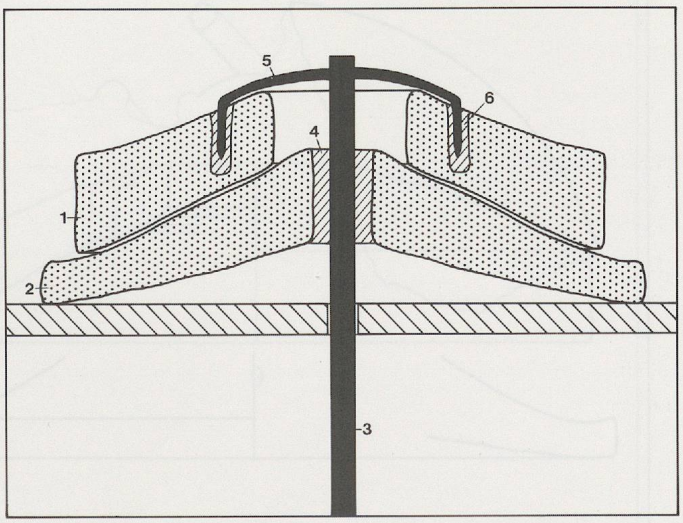
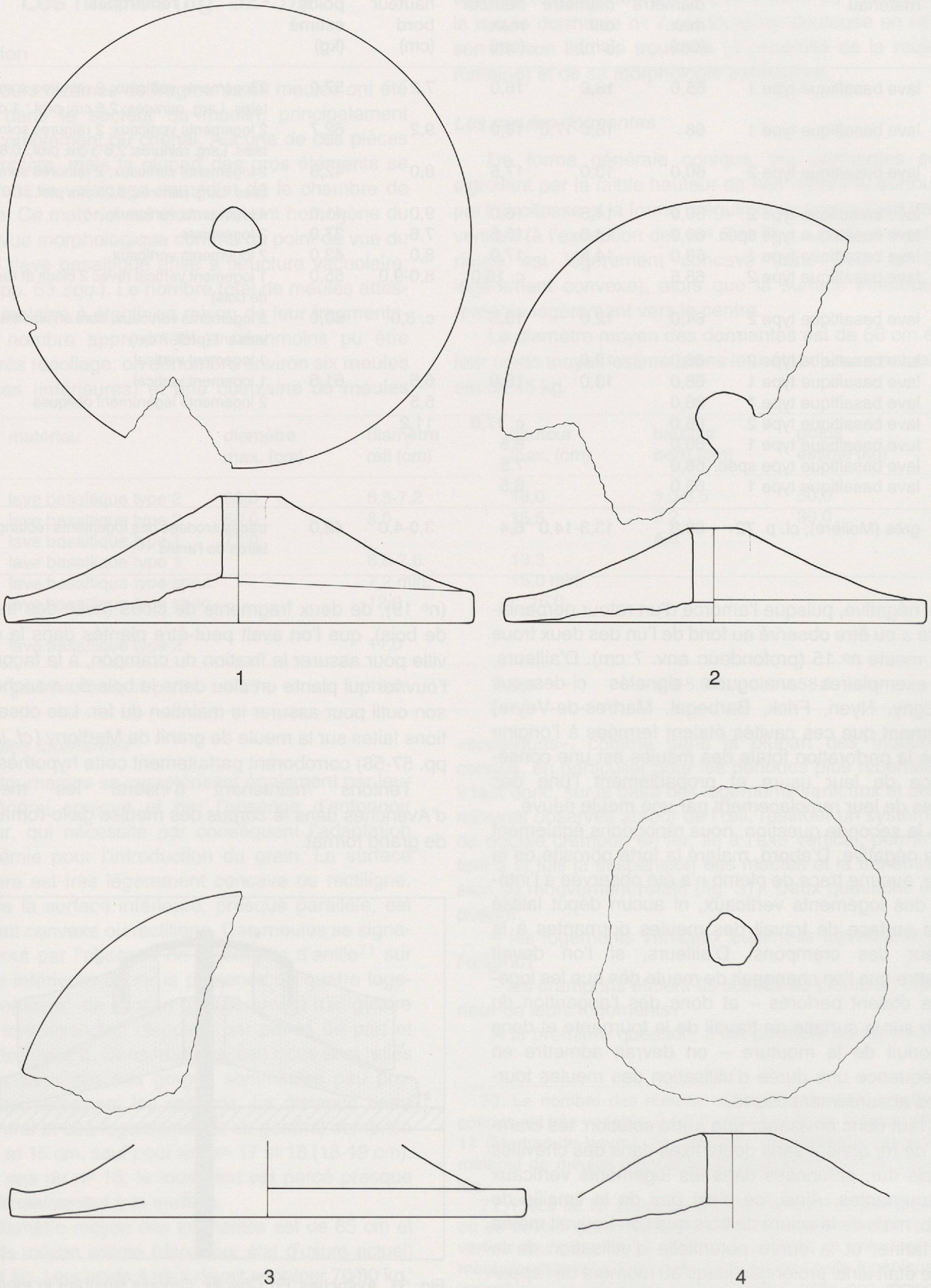
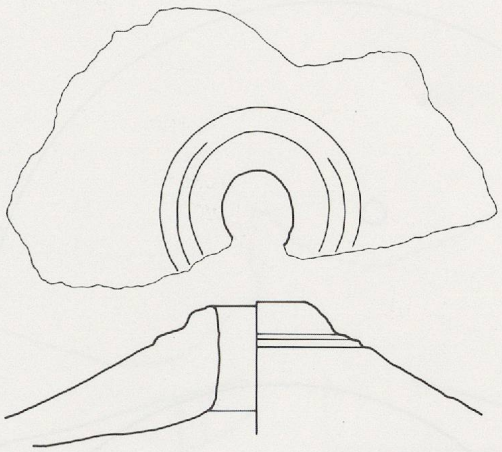


Fig. 31. Avenches *En Chaplix*. Croquis illustrant le mode de fixation et d'entraînement des meules. 1: meule tournante; 2: meule dormante; 3: gros fer; 4: boîte; 5: crampons de fixation; 6: cheville de bois.

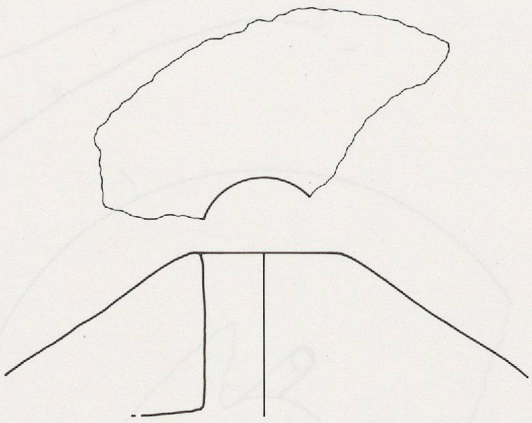


Ech. 1:8

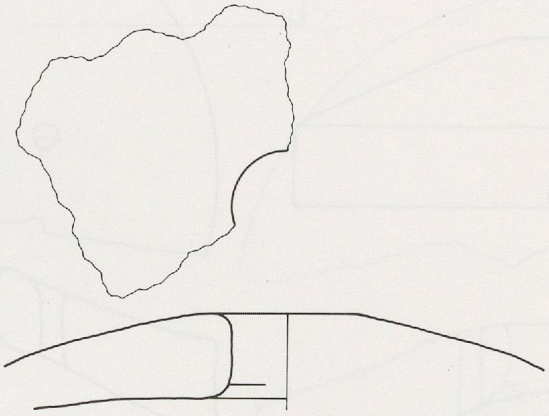
Fig. 32



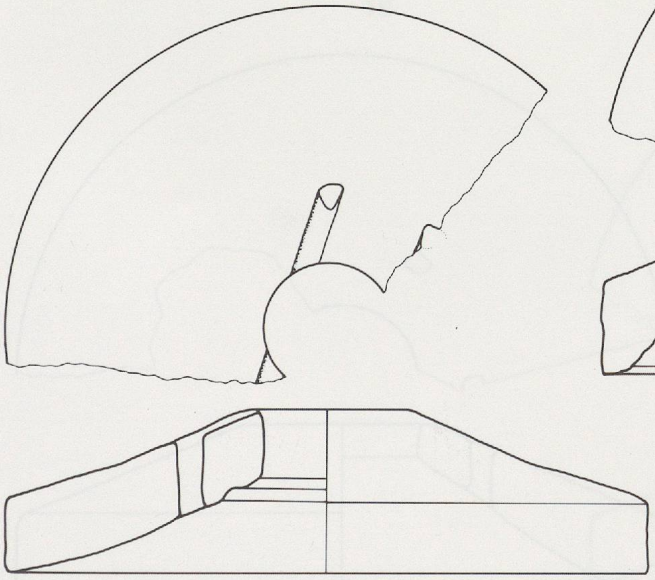
5



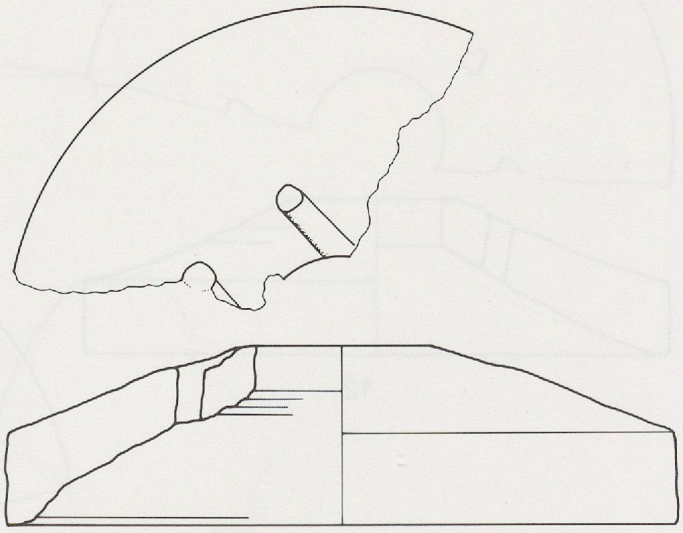
6



7



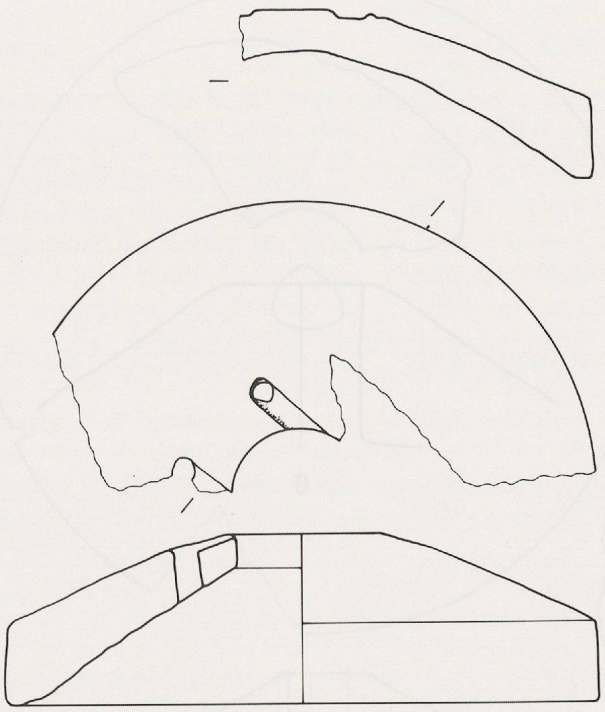
8



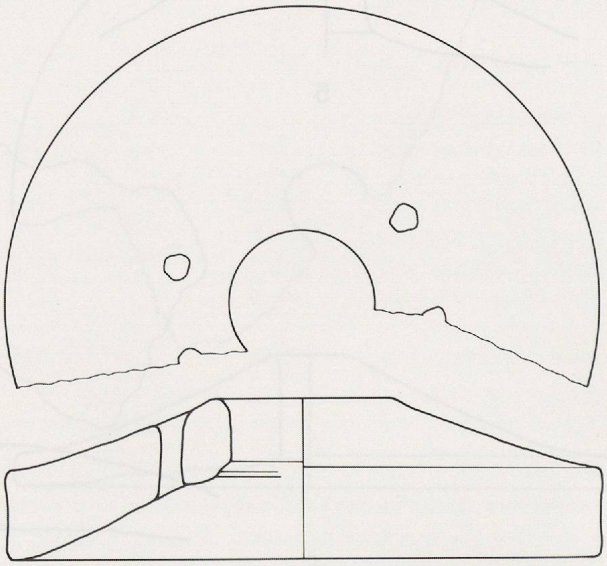
9

Ech. 1:8

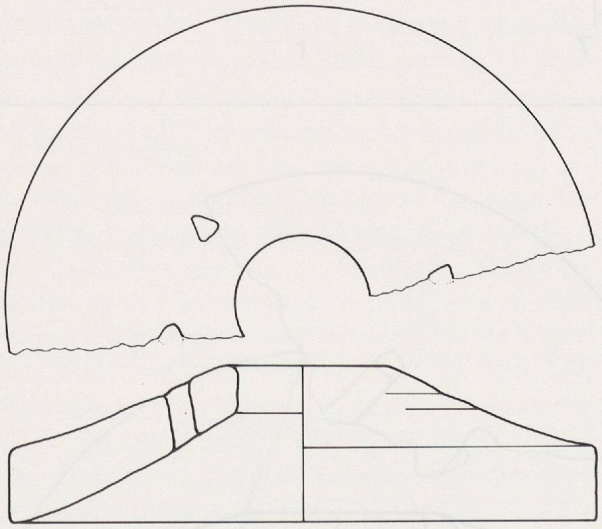
Fig. 33



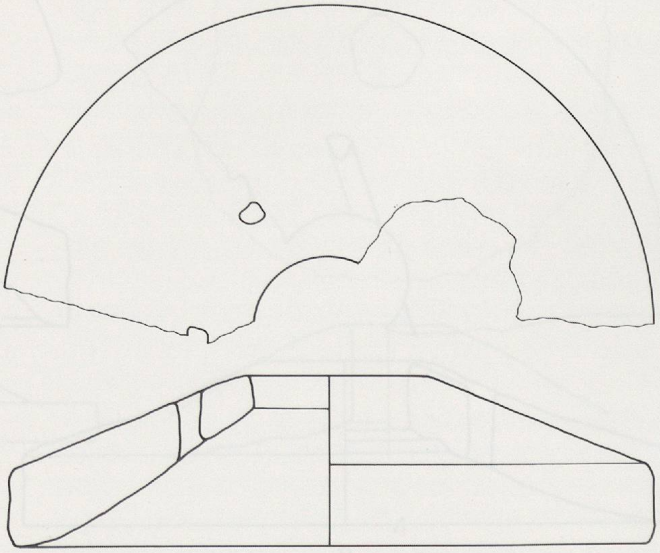
10



11



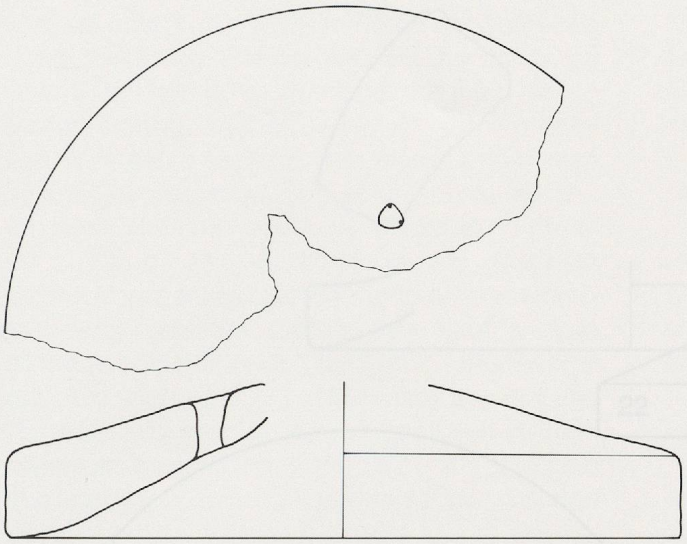
12



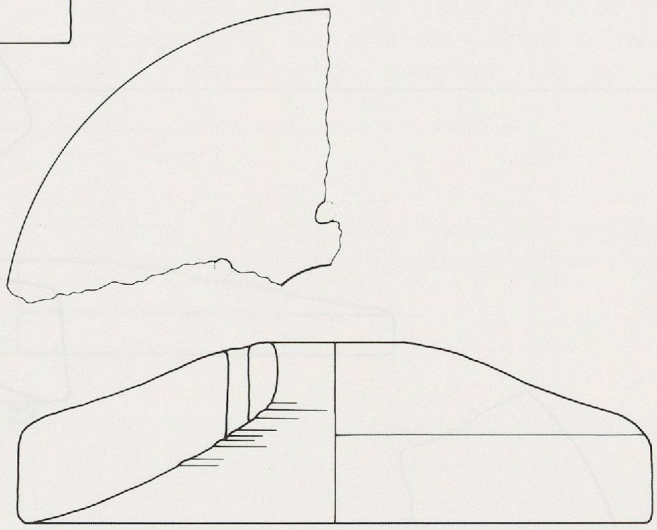
13

Ech. 1:8

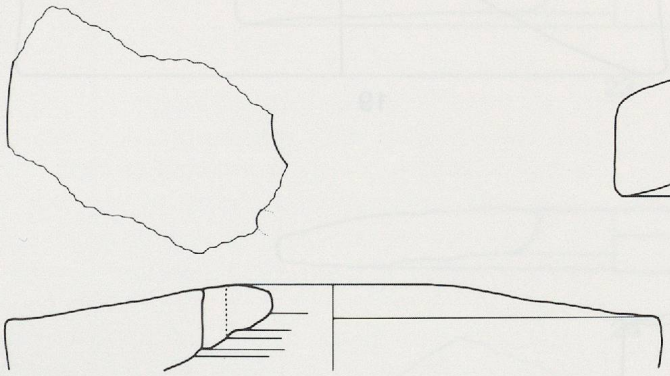
Fig. 34



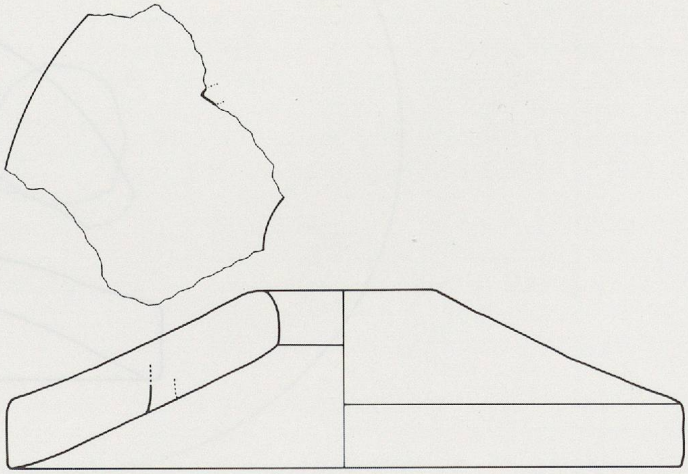
14



15



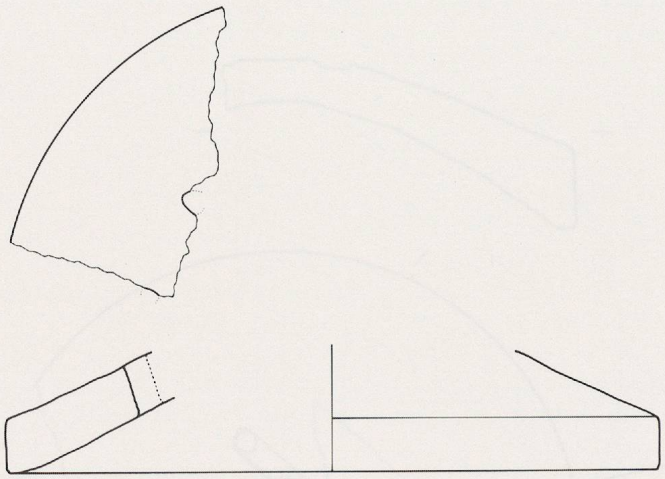
16



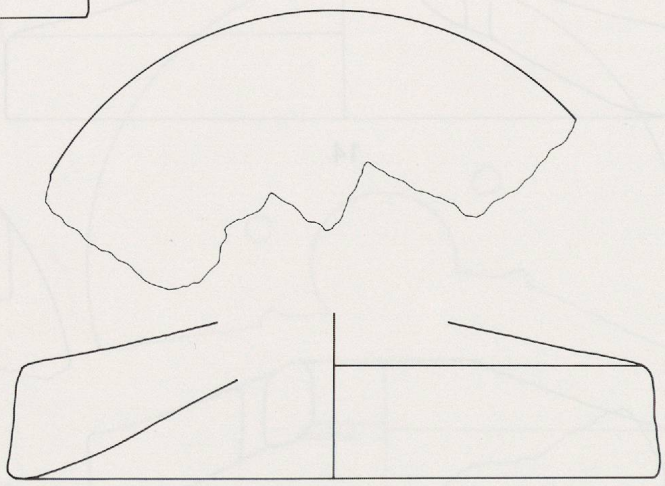
17

Ech. 1:8

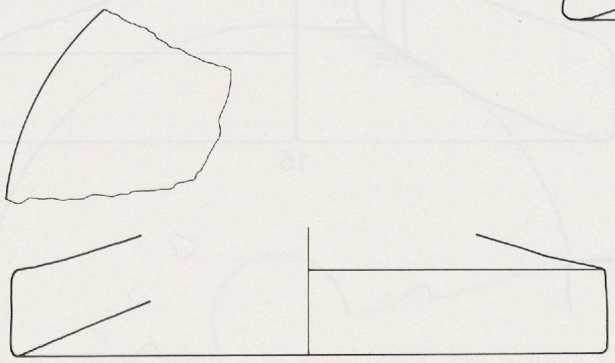
Fig. 35



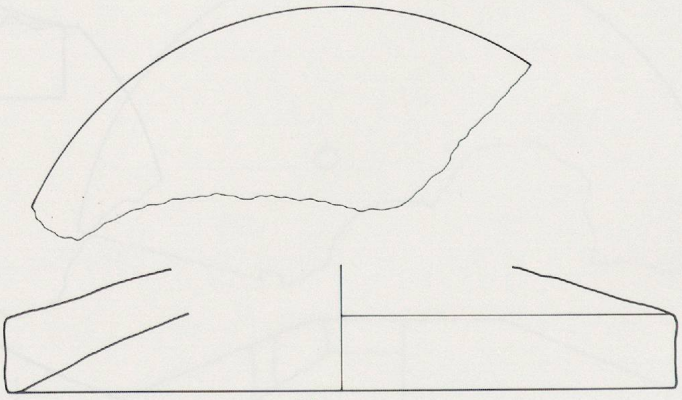
18



19



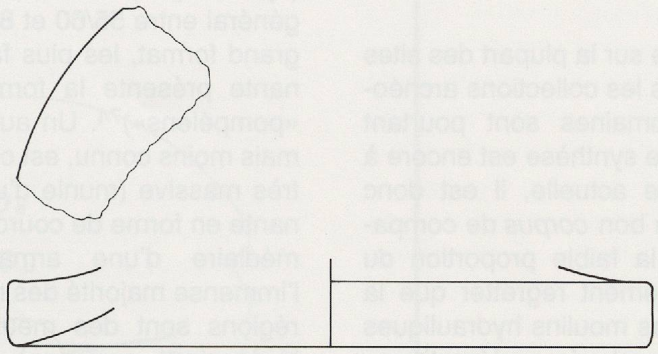
20



21

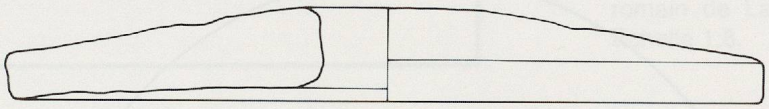
Ech. 1:8

Fig. 36

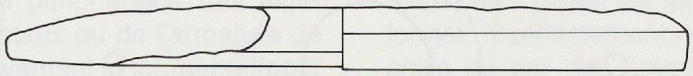


22

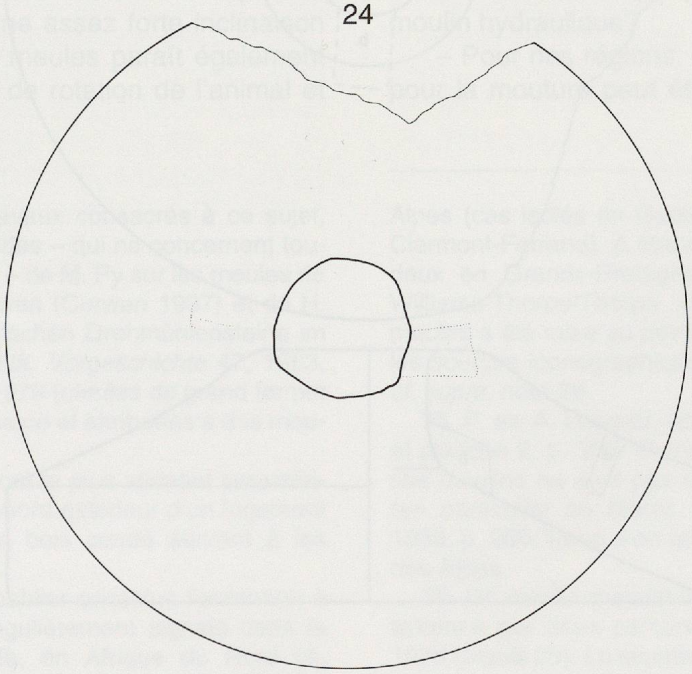
meules 23 et 24: cf. p. 72



23



24



Ech. 1:8

Fig. 37

Eléments de comparaison

Récoltées en grand nombre sur la plupart des sites d'habitat, très abondantes dans les collections archéologiques, les meules gallo-romaines sont pourtant encore bien mal connues et une synthèse est encore à faire sur ce sujet[72]. A l'heure actuelle, il est donc encore bien difficile d'établir un bon *corpus* de comparaison, en raison surtout de la faible proportion du matériel publié. On peut également regretter que la grande majorité des meules des moulins hydrauliques connus n'ait pas fait l'objet de relevés systématiques dans le cadre des publications disponibles.

On distingue traditionnellement les meules rotatives manuelles d'un diamètre de 30/35 à 45/48 cm[73], qui sont de loin les plus courantes, des meules actionnées par la traction animale, par deux personnes debout ou par un mode d'entraînement indirect (hydraulique par exemple), dont le diamètre se situe en général entre 55/60 et 80/90 cm. Parmi les moulins de grand format, les plus fameux sont ceux dont la tournante présente la forme d'un sablier (moulins dits «pompéiens»)[74]. Un autre type, proche du précédent mais moins connu, est constitué d'une *meta* également très massive (munie d'un pivot central) et d'une tournante en forme de couronne, mue elle aussi par l'intermédiaire d'une armature de bois[75]. Toutefois, l'immense majorité des meules de grand format de nos régions sont des meules «plates» (cylindriques ou légèrement coniques), morphologiquement proches des meules manuelles. On lit parfois que, parmi ces meules de grand format, aucune distinction claire ne peut être établie *a priori* entre celles d'un moulin à traction animale et celles d'un moulin hydraulique. Or, il semble que le moulin à traction animale (avec entraînement **direct** – *i.e.* sans engrenage – de la meule

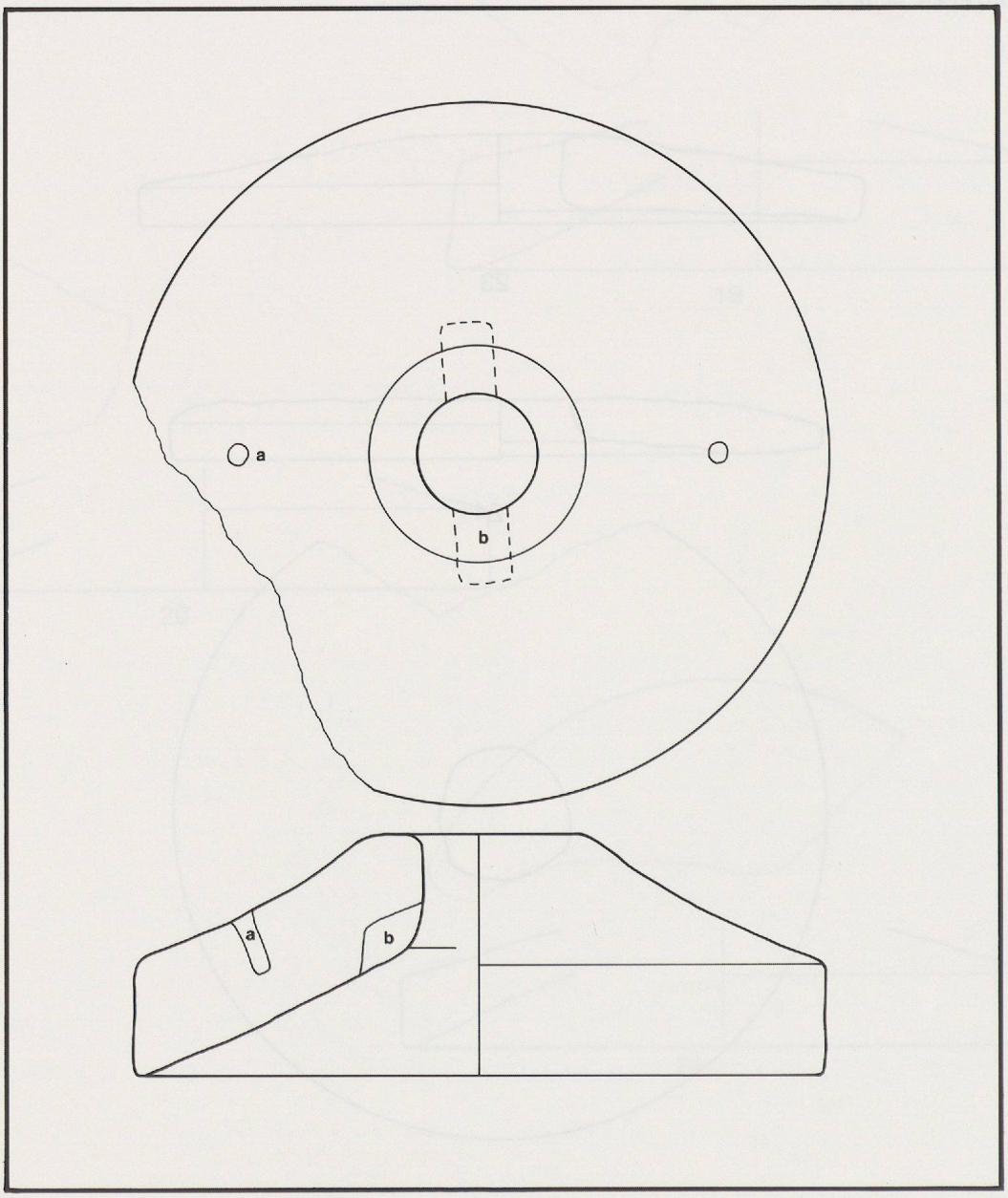


Fig. 38. Meule tournante de granit noir (Musée romain d'Avenches; sans n° d'inv.). Echelle 1:8.

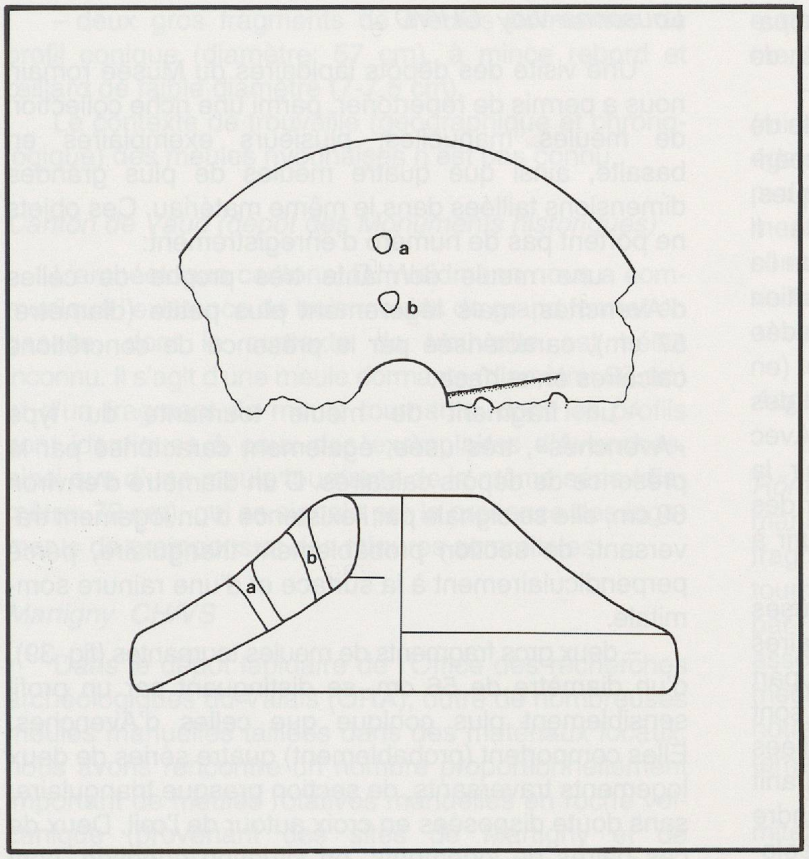


Fig. 39. Meule tournante de basalte (Musée romain de Lausanne-Vidy; sans n° d'inv.). Echelle 1:8.

tournante) doive impérativement se signaler soit par le caractère très massif de sa dormante (pour d'évidentes raisons de statique pendant le travail; cf. le type «pompéien»), soit par la situation périphérique des logements des manchons horizontaux ou de l'armature de bois servant à mettre en mouvement la tournante (pour des raisons d'économie d'effort, comme sur la plupart des meules manuelles)[76]. Une assez forte inclinaison des surfaces broyantes des meules paraît également requise par la faible vitesse de rotation de l'animal et donc du moulin. Ces considérations préliminaires amènent immédiatement deux questions:

– Peut-on en déduire que la majorité des meules tournantes plates ou légèrement coniques, de grand format, manifestement liées à un axe vertical par une anille ou par des crampons et dépourvues de logements de manchon périphériques, sont des meules de moulin hydraulique?

– Pour nos régions, où l'usage de la force animale pour la mouture peut être considéré comme vraisem-

72. Parmi les (trop) rares travaux consacrés à ce sujet, méritent d'être signalées les études – qui ne concernent toutefois que les meules manuelles – de M. Py sur les meules de Lattes (Py 1992), de E. C. Curwen (Curwen 1937) et de H. Lies (Die vor- und frühgeschichtlichen Drehmühlensteine im Bezirk Magdeburg, *Jschr. mitteldt. Vorgeschichte* 47, 1963, pp. 287-323). Voir aussi Bucur 1979 (meules de grand format provenant de sites de Dacie romaine et attribuées à des moulins hydrauliques).

73. Les meules tournantes sont le plus souvent caractérisées par la présence sur leur rebord extérieur d'un logement horizontal pour le manchon de bois coudé servant à les mettre en mouvement.

74. La partie supérieure du sablier constitue l'entonnoir à grains. Ce type de moulins, régulièrement signalé dans le monde méditerranéen, en Italie, en Afrique du Nord (A. Lucquet, Blé et meunerie à Volubilis, *Bulletin d'archéologie marocaine* 6, 1966, pp. 301 *sqq.*), en Gaule Narbonnaise, et surtout sur les sites urbains, a été peu diffusé au nord des Alpes (cas isolés en Gaule, notamment à Paris, Amiens et Clermont-Ferrand). A titre d'exemple, on n'en a recensé que deux en Grande-Bretagne (importés du Massif Central!): Williams-Thorpe/Thorpe 1988. Une typologie fine de ces meules a été mise au point récemment: Peacock 1989. Pour les sources iconographiques concernant ce type de meules: *cf. supra*, note 28.

75. P. ex. A. Lucquet, *op. cit.* note précédente, fig. 2, p. 306 et planche 2, p. 309. Moins fréquents que les «pompéiens», ces moulins ne sont pas rares en Méditerranée occidentale (en particulier au Maroc et au Portugal): Williams-Thorpe 1988, p. 260. Nous n'en connaissons pas d'exemple au nord des Alpes.

76. Un moulin manuel de grand format (diamètre: 64 cm), actionné par deux personnes, a été découvert à Augst en 1976 (*insula* 25). La situation périphérique des logements des manchons horizontaux est caractéristique: W. Hürbin, *Römisches Brot. Mahlen, Backen, Rezepte*, (Augster Blätter zur Römerzeit 4), Augst, 1980.

blable[77], mais où les meules «pompéiennes» ou apparentées sont rarissimes[78], quels autres types de meules étaient alors utilisés?

A ces deux questions, seule une reprise globale de l'étude des meules, accompagnée peut-être d'expérimentations pratiques et d'enquêtes ethnographiques, permettrait d'amener des éléments de réponse. Il semble par exemple possible d'imaginer, comme on l'a fait à Zugmantel, des moulins «de sang» (à traction animale) à mécanisme **indirect**, à transmission coudée et cabestan (manège), dont le principe fonctionnel (en particulier le mode d'accrochage et d'entraînement des meules) serait analogue à celui du moulin à eau. Avec de tels mécanismes, il serait possible d'obtenir la vitesse de rotation relativement élevée requise par des meules plates ou faiblement inclinées sans recourir à l'énergie hydraulique.

Comme on le voit, les questions sont nombreuses et nos recherches bibliographiques et documentaires se sont rapidement avérées peu productives: la plupart des meules publiées, d'ailleurs peu nombreuses, sont des meules manuelles de petit format, souvent taillées dans des matériaux d'extraction locale (grès et granit principalement). Nous avons donc décidé de prendre contact avec un certain nombre de musées archéologiques et d'institutions dans le but d'élargir notre *corpus* comparatif:

Avenches CH/VD

La plupart des meules du site d'Avenches, actuellement entreposées dans le dépôt lapidaire de Lucens, sont des meules manuelles, le plus souvent taillées dans un grès local (pierre de la Molière) ou dans le granit. Si nous n'avons recensé aucun exemplaire en basalte, plusieurs meules de grand format ont attiré notre attention:

– une meule tournante en granit noir (diamètre: 73 cm; fig. 38), dont le profil légèrement conique est très proche des exemplaires d'*En Chaplix*. Elle se signale toutefois par un mince replat sommital autour de l'œil, par la présence de deux logements non traversants de section circulaire, creusés de part et d'autre de l'œil (à env. 25 cm de l'axe central) et perpendiculairement à la surface supérieure de la pierre et surtout par l'existence d'un logement d'anille rectangulaire.

– une meule tournante en granit (diamètre: 67 cm), dont le profil est nettement plus conique que la précédente et qui se caractérise également par la présence d'un logement d'anille rectangulaire et, près du bord extérieur, de deux logements non traversants, presque perpendiculaire à la surface supérieure de la meule.

– deux meules dormantes en granit (diamètre: 60 et 70 cm), analogues à celle d'*En Chaplix*.

Le contexte de trouvaille de ces objets n'est pas connu.

Lousonna-Vidy CH/VD

Une visite des dépôts lapidaires du Musée romain nous a permis de répertorier, parmi une riche collection de meules manuelles, plusieurs exemplaires en basalte, ainsi que quatre meules de plus grandes dimensions taillées dans le même matériau. Ces objets ne portent pas de numéro d'enregistrement:

– une meule dormante très proche de celles d'Avenches, mais légèrement plus petite (diamètre: 57 cm), caractérisée par la présence de concrétions calcaires en surface.

– un fragment de meule tournante du type «Avenches», très usée, également caractérisé par la présence de dépôts calcaires. D'un diamètre d'environ 60 cm, elle se signale par l'existence d'un logement traversant, de section probablement triangulaire, percé perpendiculairement à la surface et d'une rainure sommitale.

– deux gros fragments de meules tournantes (fig. 39), d'un diamètre de 56 cm, se distinguant par un profil sensiblement plus conique que celles d'Avenches. Elles comportent (probablement) quatre séries de deux logements traversants, de section presque triangulaire, sans doute disposées en croix autour de l'œil. Deux de ces paires de logements, en situation opposée, sont apparemment reliées par une profonde rainure sommitale, marquant clairement l'emplacement d'un crampon qui traverse l'œillard en son centre.

Nyon CH/VD

Outre quelques dormantes de moulins à bras en basalte (diamètre: 39/40 cm), les collections du Musée romain local recèlent quatre exemplaires de meules de grand format taillées dans le même matériau:

– une meule tournante complète (Inv. 671) d'un diamètre de 57 cm, caractérisée par la présence de deux paires de logements verticaux traversants reliées par deux rainures sommitales peu profondes qui recoupent un œillard d'un diamètre de 14,5 cm. Très proche des meules avenchoises, cette pierre se signale toutefois par une surface supérieure qui remonte plus faiblement vers son centre.

– un fragment de meule tournante du type «Avenches» (diamètre: 58 cm), provenant du village voisin de Duillier (villa romaine?), qui se caractérise également par la présence de logements verticaux (non traversants et profonds de 5/6 cm) et de rainures sommitales. La surface broyante comporte en outre cinq profondes stries concentriques.

77. Il n'est toutefois pas formellement attesté à notre connaissance, faute de sources littéraires et iconographiques...

78. Dans l'iconographie antique (très pauvre, il est vrai), le type «pompéien» est le seul attesté dans le cadre d'un moulin à traction animale.

– deux gros fragments de meules dormantes de profil conique (diamètre: 57 cm), à mince rebord et œillard de faible diamètre (7-7,5 cm).

Le contexte de trouvaille (géographique et chronologique) des meules nyonnaises n'est pas connu.

Canton de Vaud (dépôt des Monuments historiques)

L'archéologue cantonal D. Weidmann nous a communiqué l'existence de trois meules de grand format en basalte, dont le contexte de trouvaille est hélas inconnu. Il s'agit d'une meule dormante (diamètre: 60 cm) et d'un fragment de meule tournante, dont les profils sont identiques à ceux des exemplaires d'Avenches, ainsi que d'une meule tournante de la même série (diamètre: 72 cm), qui se signale par la présence des logements de crampons et des rainures sommitales.

Martigny CH/VS

Dans le dépôt lapidaire de l'Office des recherches archéologiques du Valais (ORA), outre de nombreuses meules manuelles taillées dans des matériaux locaux, nous avons rencontré un nombre proportionnellement important de meules rotatives manuelles en roche volcanique (provenant des sites de Martigny et de Massongex), ainsi que quelques meules de grand format, toutes issues du site de Martigny:

– une meule tournante en granit d'env. 72 cm de diamètre (inv. MY89/4684-11; fig. 40/1), au profil analogue à celles d'Avenches, et caractérisée par la présence autour de l'oeil de quatre logements non traversants (de section circulaire), forés perpendiculairement à la surface de la meule et reliés deux par deux par des rainures peu profondes. Dans un de ces logements, a été découvert un clou de 5 cm avec des restes de bois; deux autres recelaient encore des fragments de tiges de fer de section rectangulaire (agrafes), non scellés au plomb. Enfin, deux autres cavités ont été observées sur la surface supérieure, de part et d'autre de l'œil: elles recelaient des éléments de fer scellé au plomb, peut-être des anneaux destinés à soulever et manipuler la meule;

– un fragment de meule tournante en granit (sans n° d'inv.), d'un diamètre de 70 cm, très proche de la précédente, et qui se signale par la présence d'un logement vertical non traversant, de section circulaire (diamètre: 2,5 cm) et profond de 8 cm, probablement associé à une rainure sommitale;

– un fragment de meule tournante en granit (inv. MY89/4737-1), appartenant à la même série que les deux précédentes;

– une meule dormante en granit, de profil conique (inv. 79/218; fig. 40/2), dont le diamètre est de 70 cm;

– une meule dormante en basalte, de profil conique (inv. 79/468), d'un diamètre de 62 cm, caractérisée par un replat sommital large de 3-4 cm (autour de l'œil) et par la présence de fines stries en *S* rayonnantes sur sa surface broyante. La surface de la pierre est partiellement recouverte de concrétions de calcaire;

– un fragment de meule tournante en pierre locale (micaschiste?) (inv. 87/336), d'un diamètre d'env. 70 cm, également conique, mais très mince (épaisseur maximale: 6 cm) et caractérisée par la présence d'un logement d'anille à ailerons rectangulaires (partiellement conservé; largeur minimale: 6 cm). Le contexte de trouvaille et la minceur du profil suggèrent une datation assez tardive (Bas-Empire).

Augst CH/BL

Parmi la riche collection de meules du *Römermuseum*, où dominent largement les meules manuelles en grès local, nous avons reconnu plusieurs fragments de meules en lave basaltique, dont quelques tournantes de 55 à 68 cm de diamètre, caractérisées par la présence de logements traversants, parfois associés à des rainures sommitales. En outre, trois meules tournantes (diamètres: 54 à 58 cm) ont frappé notre attention par leur forme très originale, encore nettement plus conique que celles d'Avenches:

– l'une avec quatre trous traversants, rainures sommitales et quatre logements d'anille disposés en croix sur sa surface inférieure. Elle comporte également un trou traversant et une échancrure rectangulaire en situation périphérique et opposée (fig. 41);

– une seconde avec deux ou quatre trous non traversants et également un logement d'anille en croix;

– la troisième avec quatre trous traversants, rainures sommitales, mais sans logement d'anille. On y voit également un trou traversant en position périphérique.

Signalons en outre la découverte d'une dormante d'un profil identique à celles d'Avenches, en remploi dans l'atelier de poterie de *Kurzenbettli* (Ier siècle ap. J.-C.).

Frick/Lenzburg CH/AG

C. Doswald nous a signalé la découverte à Frick (*villa*) d'une meule tournante en grès rouge, de forme conique, d'un diamètre de 66 cm, caractérisée par l'existence de trois (de quatre?) trous non traversants autour de l'œil. C'est, avec les meules de granit de Martigny, l'un des rares exemples que nous ayons recensés de meules morphologiquement analogues à celles d'Avenches qui n'aient pas été taillées dans la lave.

On peut également mentionner ici la découverte dans le *vicus* de Lenzburg-Lindfeld (1946) d'une meule dormante en gneiss de 72 cm de diamètre, assez épaisse et au profil assez plat.

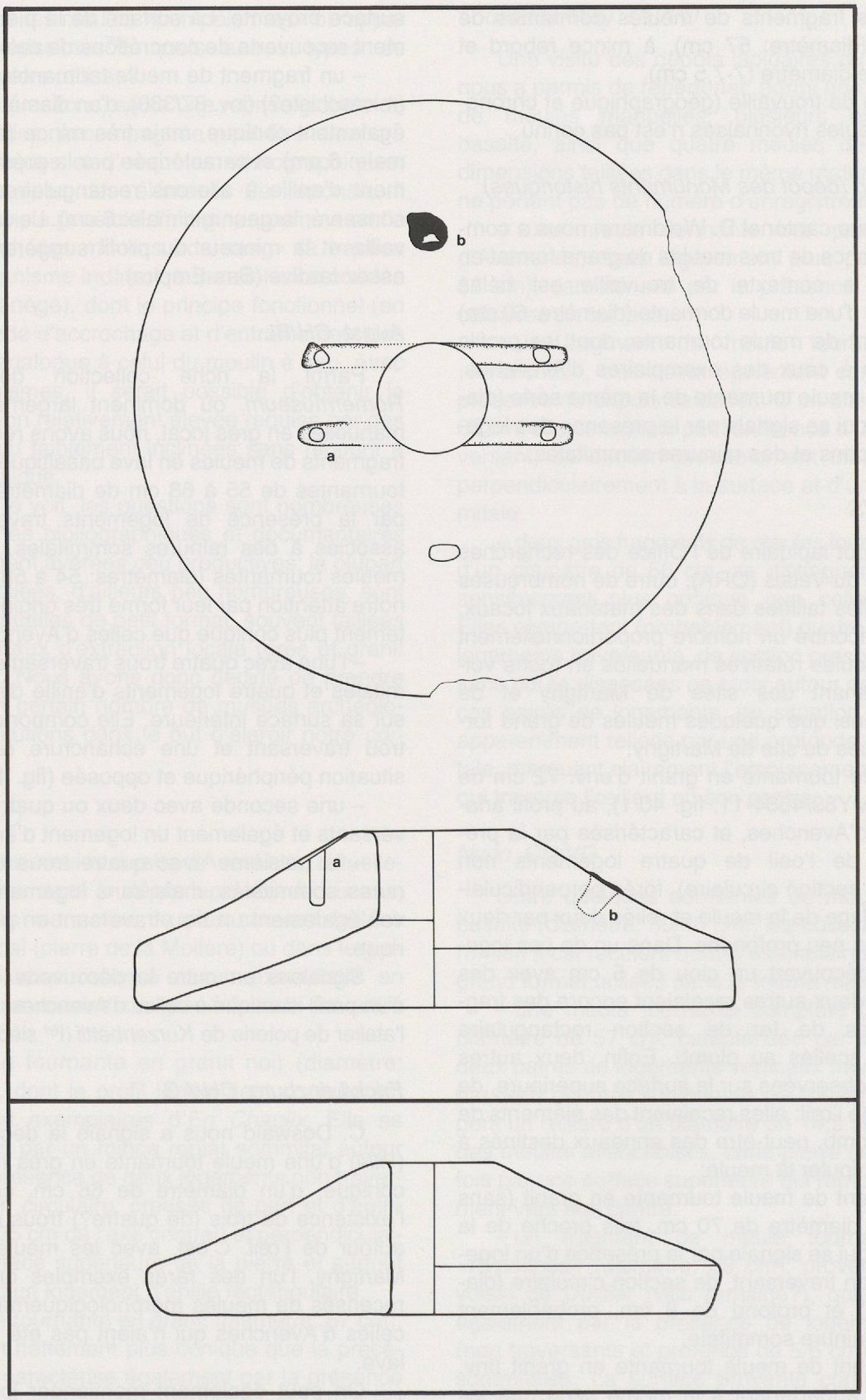


Fig. 40. Meules de granit (Martigny). 1: meule tournante (inv. MY89/4684-11); 2: meule dormante (sans nº d'inv.). Echelle 1:8.

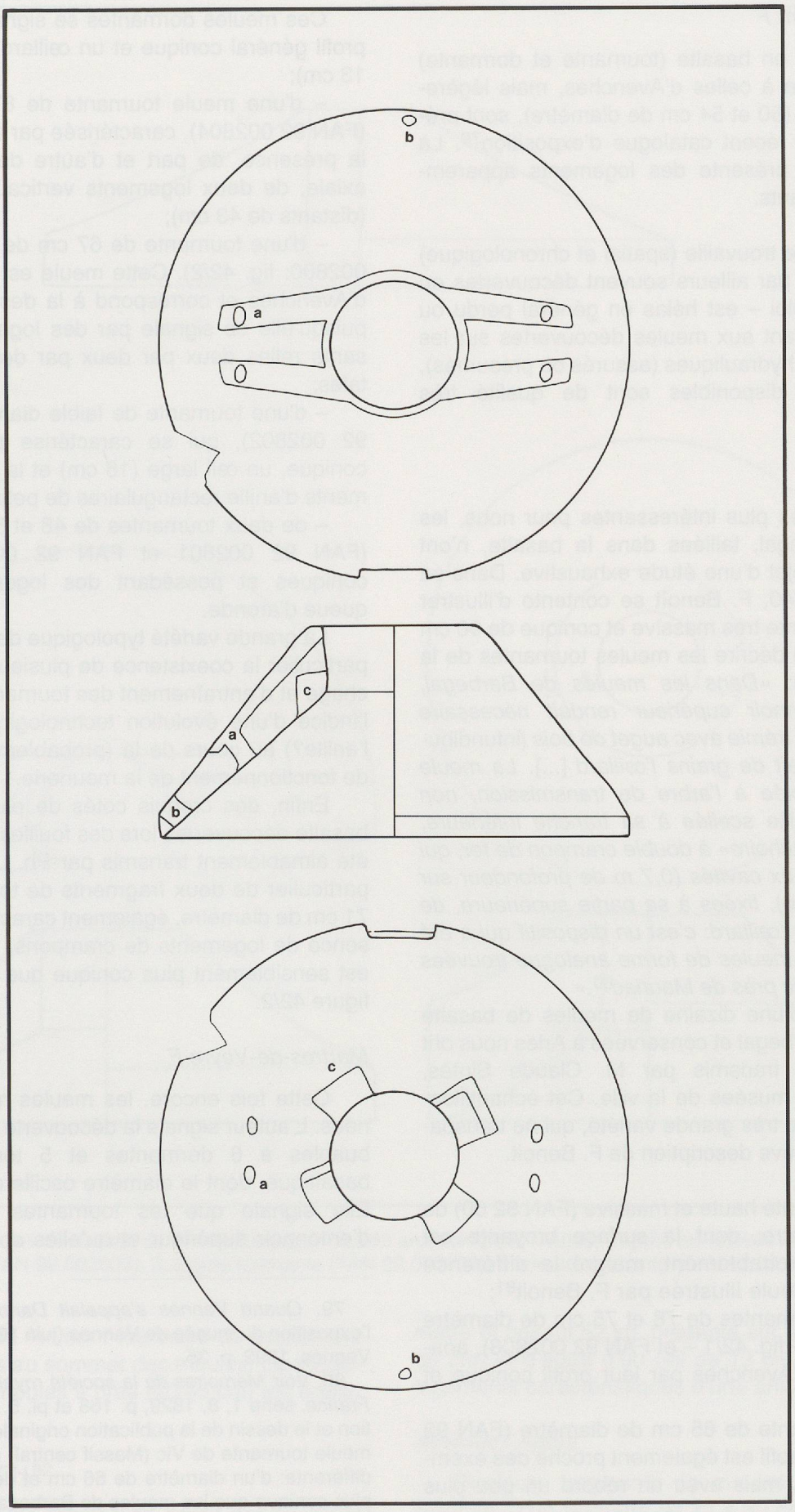


Fig. 41. Meule tournante de basalte (Römermuseum Augst; inv. 1978.7026; GSTL-848 (Augst, insula 31); d'après un relevé original de D. Wirth). Echelle 1:8.

Vannes (Morbihan) F

Deux meules en basalte (tournante et dormante) de profil analogue à celles d'Avenches, mais légèrement plus petites (50 et 54 cm de diamètre), sont présentées dans un récent catalogue d'exposition[79]. La meule tournante présente des logements apparemment non traversants.

Le contexte de trouvaille (spatial et chronologique) de ces meules – par ailleurs souvent découvertes en situation de remploi – est hélas en général perdu ou très imprécis. Quant aux meules découvertes sur les sites des moulins hydrauliques (assurés ou présumés), les informations disponibles sont de qualité très inégale:

Barbegal F

Sans doute les plus intéressantes pour nous, les meules de Barbegal, taillées dans le basalte, n'ont hélas pas fait l'objet d'une étude exhaustive. Dans sa publication de 1940, F. Benoît se contente d'illustrer une meule dormante très massive et conique de 90 cm de diamètre et de décrire les meules tournantes de la manière suivante: «*Dans les meules de Barbegal, l'absence d'entonnoir supérieur rendait nécessaire l'adaptation d'une trémie avec auget de bois (*infundibulum*), qui alimentait de grains l'œillard* [...]. *La meule tournante était fixée à l'arbre de transmission, non point par une* anille *scellée à sa tranche inférieure, mais par une «mâchoire» à double crampon de fer, qui pénétrait dans deux cavités (0,7 m de profondeur sur 0,2 m de diamètre), fixées à sa partie supérieure, de part et d'autre de l'œillard: c'est un dispositif qui a été signalé dans des meules de forme analogue trouvées en Auvergne, à Vic près de Mauriac*[80].»

Des relevés d'une dizaine de meules de basalte découvertes à Barbegal et conservées à Arles nous ont été aimablement transmis par M. Claude Sintès, conservateur aux musées de la ville. Cet échantillonnage frappe par sa très grande variété, qui ne transparaît pas dans la brève description de F. Benoit.

Il s'agit:

– d'une dormante haute et massive (FAN 92 00) de 80 cm de diamètre, dont la surface broyante est conique. C'est probablement, malgré la différence de diamètre, la meule illustrée par F. Benoit[81];

– de deux dormantes de 78 et 75 cm de diamètre (FAN 92 002803 – fig. 42/1 – et FAN 92 002808), analogues à celles d'Avenches par leur profil conique et leur rebord étroit;

– d'une dormante de 65 cm de diamètre (FAN 92 002809), dont le profil est également proche des exemplaires avenchois, mais avec un rebord un peu plus haut;

– d'une dormante de 56 cm de diamètre (FAN 92 002786), à la surface supérieure convexe.

Ces meules dormantes se signalent toutes par un profil général conique et un œillard assez étroit (10 à 13 cm);

– d'une meule tournante de 87 cm de diamètre (FAN 92 002804), caractérisée par un profil conique et la présence, de part et d'autre de l'œil en situation axiale, de deux logements verticaux non traversants (distants de 43 cm);

– d'une tournante de 67 cm de diamètre (FAN 92 002800: fig. 42/2). Cette meule est analogue à celles d'Avenches et correspond à la description de Benoit, puisqu'elle se signale par des logements non traversants reliés deux par deux par des rainures sommitales;

– d'une tournante de faible diamètre (43 cm; FAN 92 002802), qui se caractérise par un profil très conique, un œil large (16 cm) et la présence de logements d'anille rectangulaires de petites dimensions;

– de deux tournantes de 48 et 55 cm de diamètre (FAN 92 002801 et FAN 92 002805: fig. 42/3), coniques et possédant des logements d'anille en queue d'aronde.

La grande variété typologique de ces objets – et en particulier la coexistence de plusieurs modes d'accrochage et d'entraînement des tournantes – pourrait être l'indice d'une évolution technologique (le passage à l'anille?) au cours de la (probablement longue) durée de fonctionnement de la meunerie.

Enfin, des croquis cotés de plusieurs meules de basalte découvertes lors des fouilles récentes nous ont été aimablement transmis par Ph. Leveau. Il s'agit en particulier de deux fragments de tournantes de 76 et 71 cm de diamètre, également caractérisées par la présence de logements de crampons, mais dont le profil est sensiblement plus conique que l'exemplaire de la figure 42/2.

Martres-de-Veyre F

Cette fois encore, les meules ne sont pas dessinées. L'auteur signale la découverte de fragments attribuables à 6 dormantes et 5 tournantes en lave basaltique, dont le diamètre oscille entre 48 et 92 cm. Elle signale que les tournantes sont dépourvues d'entonnoir supérieur et qu'elles sont fixées à l'arbre

79. *Quand Vannes s'appelait Darioritum*, catalogue de l'exposition du musée de Vannes (juin 1992-décembre 1993), Vannes, 1992, p. 35.

80. Voir *Mémoires de la société royale des antiquaires de France*, série 1, 8, 1829, p. 168 et pl. 5. Bien que la description et le dessin de la publication originale soient peu clairs, la meule tournante de Vic (Massif central) est en réalité un peu différente: d'un diamètre de 66 cm et de profil sensiblement plus conique que les meules de Barbegal et d'Avenches, elle se signale par la présence de 6 logements (de crochets ou d'agrafes ?) creusés (à intervalles réguliers ?) autour de l'œil.

81. Benoit 1940, fig. 16, p. 59.

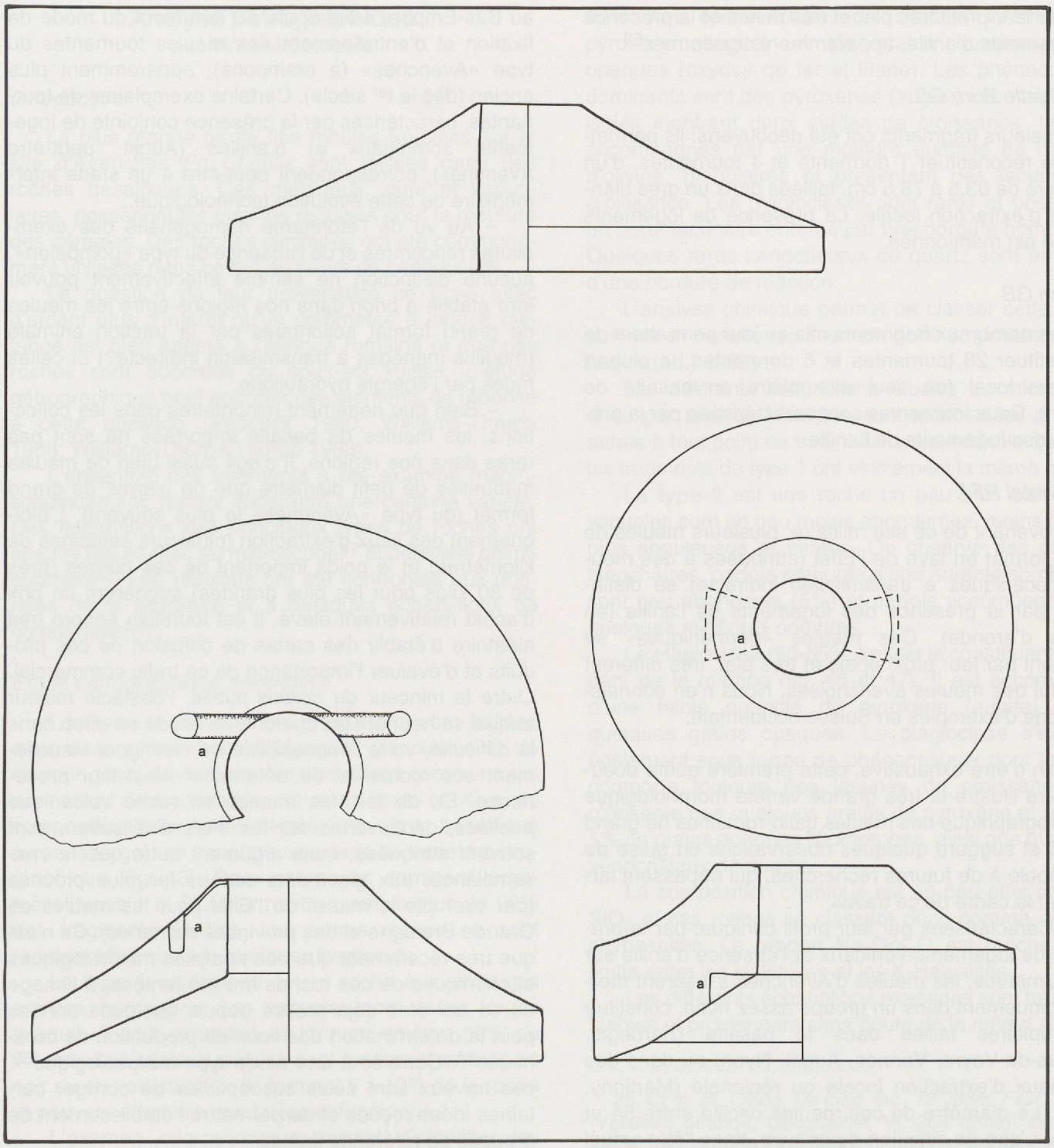


Fig. 42. Quelques meules de basalte du site de Barbegal (Musée archéologique d'Arles; d'après les relevés originaux du Musée). 1: meule dormante (FAN 92.002803); 2: meule tournante (FAN 92.002800); 3: meule tournante (FAN 92.002805). Echelle 1:8.

par des crochets de fer dont les trous de scellement sont encore visibles au sommet des meules. La découverte de plusieurs meules à bras (40/45 cm) est également évoquée.

Hagendorn/Cham CH [82]

Cinq fragments de meules en granit apparaissent sur les documents de fouille. Ont pu être reconstituées:

– deux tournantes, dont l'une, de 75 cm de diamètre et pesant 52 kg, présente sur sa face inférieure, de part et d'autre d'un œil de 13 cm de diamètre, les logements caractéristiques d'une anille rectangulaire.

Athènes / Agora

Plusieurs fragments de meules de lave ont été récoltés. D'un diamètre de 72 à 82 cm, elles se signa-

82. Gähwiler/Speck 1991, pp. 50-51 et fig. 18.

lent par leur profil très plat et très mince et la présence de logements d'anille, apparemment cruciformes[83].

Haltwhistle Burn GB

Plusieurs fragments ont été découverts: ils permettent de reconstituer 1 dormante et 4 tournantes, d'un diamètre de 63,5 à 78,5 cm, taillées dans un grès blanchâtre d'extraction locale. La présence de logements d'anille est mentionnée.

Ickham GB

Les nombreux fragments mis au jour permettent de reconstituer 28 tournantes et 6 dormantes, la plupart en grès local (un seul exemplaire en basalte de Mayen). Deux tournantes sont caractérisées par la présence des logements de l'anille.

Zugmantel RFA

Provenant de ce site militaire, plusieurs meules de grand format en lave de l'Eifel (attribuées à des moulins mécaniques à transmission indirecte) se distinguent par la présence des logements de l'anille (en queue d'aronde). Ces meules «germaniques» se signalent par leur profil épais et très plat, très différent de celui des meules avenchoises. Nous n'en connaissons pas d'exemples en Suisse occidentale.

Loin d'être exhaustive, cette première quête documentaire illustre la très grande variété morphologique et pétrographique des meules gallo-romaines de grand format et suggère quelques observations en guise de préambule à de futures recherches, qui dépassent largement le cadre de ce travail:

– Caractérisées par leur profil conique, par la présence de logements verticaux et l'absence d'anille sur les tournantes, les meules d'Avenches s'insèrent morphologiquement dans un groupe assez riche, constitué d'exemplaires taillés dans le basalte (Barbegal, Martres-de-Veyre, Vannes, Augst, Nyon) ou dans des matériaux d'extraction locale ou régionale (Martigny, Frick). Le diamètre de ces meules oscille entre 54 et 72 cm. L'aire de diffusion de ce type, dans l'état actuel des connaissances, semble être assez limitée (France, Suisse). Indépendamment de leur mode de fixation, la plupart des meules de grand format de ces régions présentent un profil conique plus ou moins marqué; les meules «plates» du type «Saalburg/Zugmantel» y sont rarissimes, sinon absentes.

– La présence de logements d'anille (rectangulaires, cruciformes ou en double queue d'aronde) est régulièrement signalée sur les meules tournantes, en particulier sur les sites des moulins hydrauliques. Les rares indices chronologiques disponibles paraissent suggérer une apparition relativement tardive (au IIe siècle?) et une large diffusion géographique de l'anille au Bas-Empire, sans doute au détriment du mode de fixation et d'entraînement des meules tournantes du type «Avenches» (à crampons), apparemment plus ancien (dès le Ier siècle). Certains exemplaires de tournantes, caractérisés par la présence conjointe de logements sommitaux et d'anilles (Augst, peut-être Avenches), correspondent peut-être à un stade intermédiaire de cette évolution technologique...

– Au vu de l'étonnante homogénéité des exemplaires rencontrés et de l'absence du type «pompéien», aucune distinction ne semble effectivement pouvoir être établie *a priori* dans nos régions entre les meules de grand format actionnées par la traction animale (moulins-manèges à transmission indirecte?) et celles mues par l'énergie hydraulique.

– Bien que nettement minoritaires dans les collections, les meules de basalte importées ne sont pas rares dans nos régions. Il s'agit aussi bien de meules manuelles de petit diamètre que de pierres de grand format (du type «Avenches» le plus souvent). L'éloignement des lieux d'extraction (plusieurs centaines de kilomètres) et le poids important de ces pierres (près de 80 kilos pour les plus grandes) suggèrent un prix d'achat relativement élevé. Il est toutefois encore très aléatoire d'établir des cartes de diffusion de ces produits et d'évaluer l'importance de ce trafic commercial. Outre la minceur du *corpus* publié, l'obstacle majeur auquel se heurtent les chercheurs réside en effet dans la difficulté, voire l'impossibilité de distinguer visuellement ces roches et de déterminer ainsi leur provenance. Et, de fait, les meules en roche volcanique publiées, découvertes sur les sites d'utilisation, sont souvent attribuées, sans argument autre que la vraisemblance, aux gisements connus les plus proches (par exemple le massif de l'Eifel pour les meules de Grande-Bretagne et des provinces rhénanes). Ce n'est que très récemment que des analyses minéralogiques et chimiques de ces roches ont été tentées, à l'image de ce qui était déjà réalisé depuis quelques années pour la détermination des lieux de production de céramique[84]. Corrélés à une étude typo-morphologique[85], ces travaux sont seuls susceptibles de corriger certaines idées reçues et de permettre l'établissement de groupes de référence fiables.

83. La forme exacte de ces logements n'a toutefois pu être confirmée par R. J. Spain, qui a réexaminé ces meules dans le cadre d'une réexpertise du moulin athénien: Spain 1987, pp. 351-352.

84. Peacock 1980; Williams-Thorpe 1988; Williams-Thorpe/Thorpe 1988; Dautria/Reille 1992. Voir aussi D. P. S. Peacock, The production of roman millstones near Orvieto, Umbria, Italy, *The Antiquaries Journal* 66, 1986, pp. 45-51.

85. On observe en effet déjà, malgré les immenses lacunes de la recherche, que tous les types de meules n'ont pas été débités indifféremment sur les sites d'extraction connus ou présumés. La carte de diffusion de ces divers types serait sans aucun doute riche d'enseignements.

Analyse pétrographique

par Vincent Serneels

Introduction

La plus grande partie des meules trouvées sur le site d'Avenches *En Chaplix* sont taillées dans des roches basaltiques. Ces matériaux, durs et vacuolaires, possèdent les qualités requises pour la mouture des céréales. Des roches similaires ont été communément utilisées dans ce but au cours de l'Antiquité[86].

La question de leur provenance se pose avec d'autant plus d'intérêt qu'un commerce à longue distance est bien attesté à l'époque romaine et que ces roches sont absentes du sous-sol suisse. L'étude pétrographique peut apporter des éléments de réponse à cette question (Peacock 1980; Williams-Thorpe 1988; Williams-Thorpe/Thorpe 1988).

L'ensemble des fragments a été examiné macroscopiquement, faisant apparaître une certaine variété. Des échantillons des principaux types de roches ont ensuite été étudiés au microscope[87] et analysés chimiquement[88]. Les résultats ont été confrontés aux données de la littérature et à quelques échantillons de comparaison[89].

Etude pétrographique descriptive

Les meules d'Avenches *En Chaplix* sont taillées dans des roches dures, fortement vacuolaires et de couleur grise. Au-delà de ces caractères communs qui permettent de reconnaître une roche ignée effusive, de composition basique à intermédiaire (lave basaltique au sens large), on constate une certaine variété pétrographique (fig. 43). Deux catégories dominent largement (types 1 et 2) et forment ensemble plus de 90% des fragments étudiés. Les autres roches ne sont représentées que par quelques fragments.

Le **type 1** correspond à une roche à matrice gris sombre, homogène. Les vacuoles sont assez larges (jusqu'à 5 cm), arrondies et forment environ 50% du volume. Les cristaux visibles sont fortement colorés en noir ou en vert sombre. Ils forment 5 à 10% de la roche et peuvent atteindre une taille centimétrique.

L'examen microscopique permet d'identifier les constituants (fig. 44 et 47). La matrice est composée essentiellement de petites lattes de plagioclases (55-60% An) enchevêtrées, de cristaux informes de pyroxène (augite) et de grains quadrangulaires opaques (oxydes de fer et titane). Les phénocristaux dominants sont des pyroxènes (augite) idiomorphes et isolés montrant deux stades de croissance. Ils sont accompagnés par une moindre quantité de cristaux d'olivine, globulaires et présentant des lacunes de croissance. Les plagioclases sont rares et possèdent un cœur lacunaire entouré par une bordure homogène. Quelques rares xénocristaux de quartz sont entourés d'une bordure de réaction.

L'analyse chimique permet de classer cette roche comme un basalte relativement riche en potassium (Le Maitre (ed.) 1989).

Les différents échantillons étudiés au microscope et/ou par analyse chimique sont proches les uns des autres à tout point de vue. Il est vraisemblable que tous les fragments du type 1 ont strictement la même origine.

Le **type 2** est une roche un peu plus claire. Les vacuoles sont un peu moins abondantes, moins larges, plus anguleuses et étirées. On observe des cristaux blanchâtres, parfois entourés d'une auréole sombre. Ils sont peu abondants (5%) et parfois accompagnés de quelques minéraux sombres.

Le plagioclase (50-55% An) est le constituant dominant de la matrice (fig. 45 et 47). Il est accompagné d'une faible quantité de pyroxène (augite) et de quelques grains opaques. Le plagioclase s'exprime également sous forme de phénocristaux dont le cœur comporte toujours des lacunes de croissance. On n'observe que quelques grains de pyroxène et environ 1% de grains opaques idiomorphes, ainsi que quelques xénocristaux de quartz.

La composition chimique est un peu plus riche en SiO_2 et ces roches se classent donc comme des trachybasaltes. Le rapport Na_2O/K_2O est proche de la limite entre les Hawaiites et les K-Hawaiites.

Les différents échantillons examinés sont très semblables et proviennent sans doute de la même source.

	type 1	type 2	autres
dormantes	7	10	2
tournantes	10	12	
indéterminées	32	31	3
Total	49	53	5

Fig. 43. Avenches *En Chaplix*. Attribution des fragments de meules aux divers types pétrographiques définis dans le texte.

86. Cf. p. ex. Ovide, *De med. fac.*, 72; *idem*, *Fast.*, VI, 318 (Vésuve); Strabon, *Géographie*, VI, 269 (Etna); *ibidem*, X, 488 et Antipater de Thessalonique (île de Nisyros; *cf. supra*, p. 18); Strabon, *Géographie*, XIV, 645 (Asie Mineure).

87. Les lames minces ont été réalisées par l'atelier de la section des Sciences de la Terre de l'Université de Lausanne par L. Nicod, sous la direction de R. Ansermoz (MacKenzie *et alii* 1982).

88. Les analyses chimiques ont été réalisées par fluorescence des rayons X à énergie dispersive au Centre d'analyse minérale de la section des Sciences de la Terre de l'Université de Lausanne sous la direction de H. R. Pfeifer et avec l'aide de J.-C. Lavanchy (Jenkins 1976; appareil Philips PW 1400, tube Sc/Mo; dosage du fer ferreux par colorimétrie et mesure du carbone par coulométrie).

89. Les échantillons de basalte de Mayen et de meules de Saalburg et Zugmantel nous ont été aimablement transmis par le prof. D. Baatz (Saalburg).

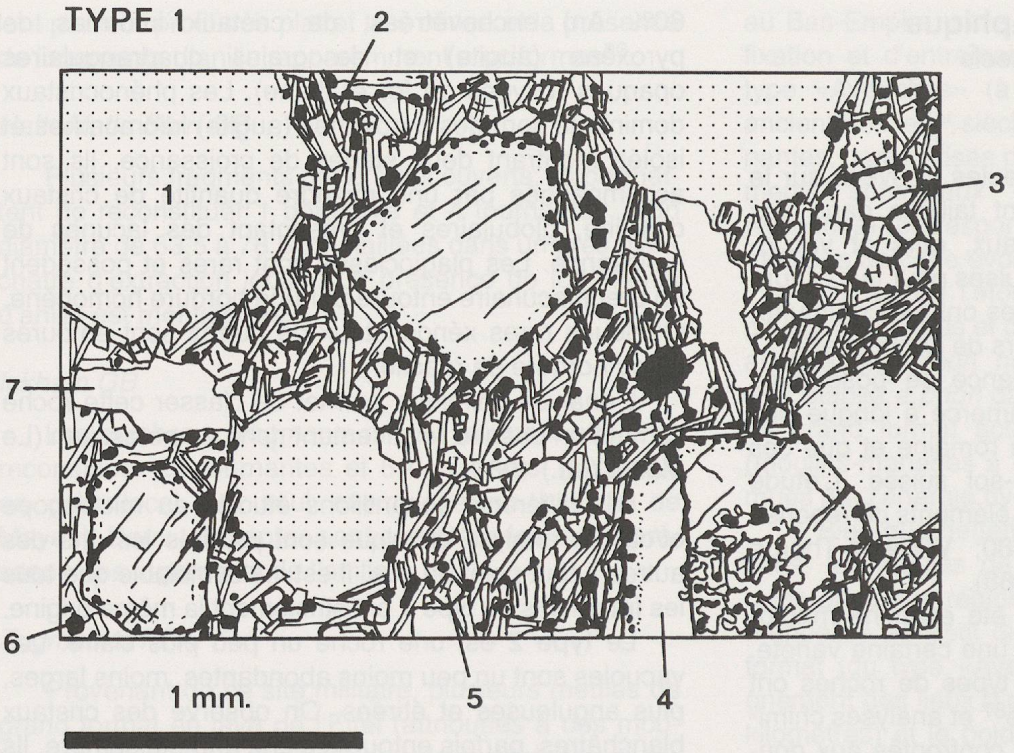


Fig. 44. Texture microscopique des roches du type 1.
1: vacuole; 2: microlithe de plagioclase; 3: amas zoné de pyroxène; 4: phénocristal de pyroxène zoné avec cœur altéré; 5: petit cristal de pyroxène; 6: petit cristal opaque (oxyde de fer et titane); 7: phénocristal de plagioclase.

Quelques rares fragments ne peuvent être rattachés à ces deux types. Ils présentent des caractères macroscopiques légèrement différents, que les analyses détaillées confirment.

La meule nº 12 possède une matrice grise très sombre, les vacuoles sont étroites et abondantes (fig. 47). Aucun phénocristal n'est identifiable à l'œil nu. Au microscope, la mésostase apparaît formée de plagioclases, pyroxènes et grains opaques. Les phénocristaux sont assez petits et nombreux. Les pyroxènes sont des augites souvent agglomérées en amas polycristallins. On distingue deux générations de plagioclases de taille différentes. Les plus jeunes sont petits et non altérés. Les plus anciens sont plus grands, plus altérés et possèdent un cœur lacunaire. Il y a également de gros grains d'oxydes de fer et titane. C'est l'échantillon le plus riche en silice et, chimiquement, il se classe comme une trachyandésite basaltique à tendance potassique.

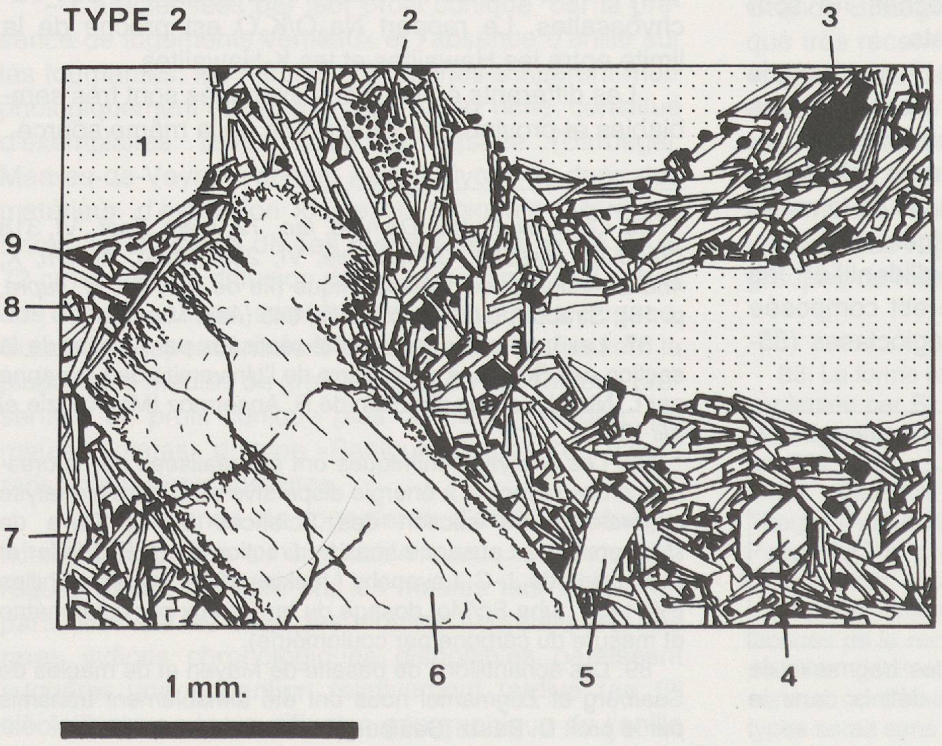


Fig. 45. Texture microscopique des roches du type 2.
1: vacuole; 2: amas de cristaux opaques (relique ?); 3: phénocristal opaque (oxyde de fer et titane); 4: phénocristal de pyroxène; 5: cristal de plagioclase; 6: phénocristal de plagioclase zoné +/– altéré; 7: microlithe de plagioclase; 8: petit cristal de pyroxène; 9: petit cristal opaque (oxyde de fer et titane).

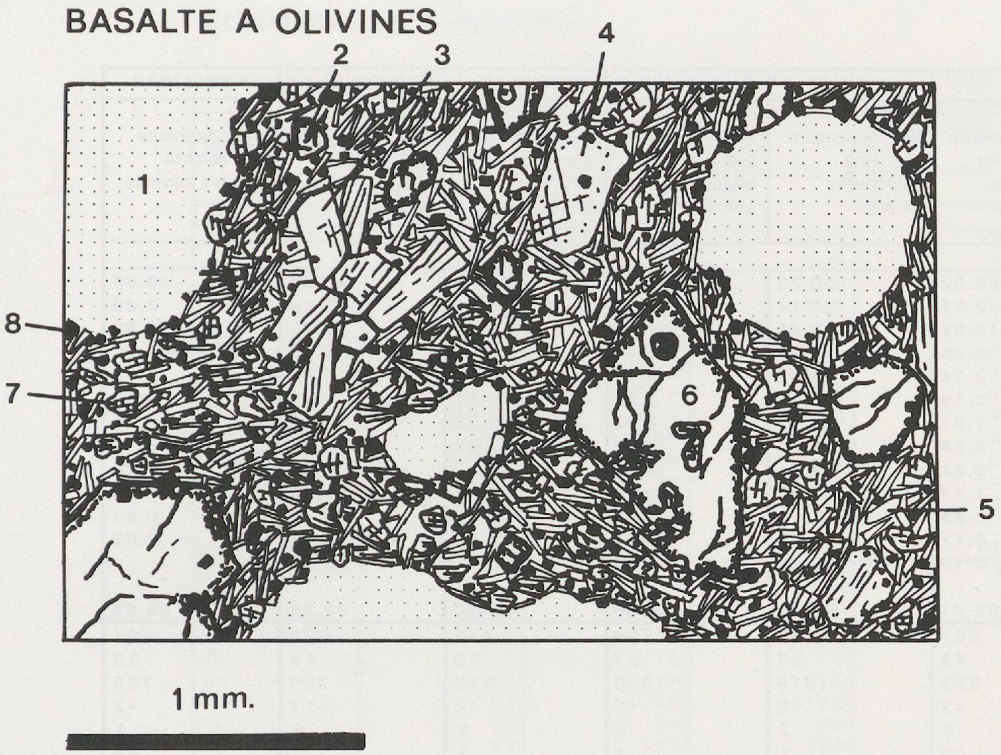


Fig. 46. Texture microscopique des basaltes à olivines.
1: vacuole; 2: petit cristal d'olivine; 3: agglomérat de cristaux de pyroxène; 4: phénocristal de pyroxène légèrement zoné; 5: microlithe de plagioclase; 6: phénocristal d'olivine avec une bordure d'iddingsite et des lacunes de croissance; 7: petit cristal de pyroxène; 8: petit cristal opaque (oxyde de fer et titane).

La meule n° 21 est de couleur gris bleuté et présente une altération typique en taches gris blanchâtre (fig. 47). Les vacuoles sont relativement peu abondantes et petites. Les cristaux ne se distinguent pas à l'œil nu. En lame mince, la matrice est abondante et contient les minéraux habituels. Les cristaux de grande taille sont des augites zonées, accompagnées d'olivines globulaires. La texture est nettement fluidale. Du point de vue chimique, cette roche est un basalte *sensu stricto*. La roche ne contient qu'un très faible excès de silice, mais les feldspathoïdes n'apparaissent pas dans le calcul de norme.

Un petit fragment (AV90/7849, sans n° d'inv.) montre une structure où les vacuoles sont fréquemment remplies par des zéolithes et des carbonates en géode. Il contient également une enclave centimétrique de péridotite très altérée. Cette pièce n'a pas été analysée.

Enfin, deux échantillons de petite taille (AV90/7849, sans n° d'inv. et AV90/7864, sans n° d'inv.; fig. 46 et 47) sont des laves vacuolaires gris sombre à phénocristaux d'olivine vert clair. La mésostase comporte du plagioclase, du pyroxène, de l'olivine et des minéraux opaques. Parmi les phénocristaux, les olivines sont dominantes. Elles présentent des formes assez idiomorphes, avec quelques lacunes de croissance. Une auréole d'iddingsite assez étroite les entoure très fréquemment. Les pyroxènes sont agglomérés en amas désordonnés polycristallins.

L'ensemble des roches analysées présentent des caractères chimiques qui permettent de les interpréter comme le résultat d'un volcanisme situé à l'intérieur d'une plaque tectonique et non en bordure (rapport entre Ti, Nb et Sr: Pearce/Cann 1973).

Ces différentes roches (types 1, 2 et autres) ne peuvent provenir de la même coulée de lave. Plusieurs carrières ont donc approvisionné le site. Par contre, l'ensemble des roches ne montre aucun caractère incompatible: elles peuvent donc provenir d'une seule région volcanique, sans que l'on puisse exclure des origines géographiquement distinctes.

Etude de provenance

Des roches comparables à celles qui ont été utilisées pour fabriquer les meules d'Avenches n'existent pas sur le territoire suisse. Par contre, à l'échelle du monde romain, elles ne sont pas rares.

Quelques carrières, peu nombreuses, ont été identifiées et étudiées, mais dans la plupart des régions volcaniques, l'exploitation n'est que potentielle (roches susceptibles d'avoir été utilisées) ou indirectement reconnue (meules identifiées). L'inventaire et la caractérisation des sources possibles est en cours (Williams-Thorpe 1988). Dans l'état actuel de la recherche, il n'est pas encore possible d'attribuer systématiquement une origine à une meule. En effet, les données analytiques de référence sont encore incomplètes (et surtout incomplètement publiées). De plus, la composition chimique et minéralogique d'une roche basique effusive est l'expression du processus de formation de cette roche (nature du magma et histoire du refroidissement). Ces conditions pouvant se répéter dans le temps et dans l'espace, une attribution formelle restera toujours délicate.

Le volume des blocs nécessaires pour tailler des meules et la faible altération des échantillons semblent indiquer que seules des formations jeunes sont susceptibles d'avoir été exploitées. Toutefois, sur le territoire de la partie occidentale de l'Empire romain, il

Avenches / en Chaplix

N° ECHANTILLON	meule 8	meule 22	meule 10	AV91/7923-9	meule 12	meule 21	AV90/7849
IDENTIFICATION MACROSCOPIQUE	type 1: lave vacuolaire gris sombre pyroxènes et olivine	type 2: lave vacuolaire gris sombre pyroxènes, olivines et feldspaths	type 2: lave vacuolaire gris clair feldspaths altérés	type 2: lave vacuolaire gris clair feldspaths altérés	lave vacuolaire gris sombre petits feldspaths et pyroxènes	lave vacuolaire gris bleuté altération en taches	lave vacuolaire gris sombre grosses olivines
ANALYSE CHIMIQUE GLOBALE							
SiO2 (% poids)	48.31	48.30	50.23	50.01	51.78	46.54	46.65
TiO2	2.23	2.24	2.14	2.20	1.92	2.40	2.30
Al2O3	15.32	15.35	17.41	17.40	17.50	16.27	13.92
Fe2O3	3.72	9.08	5.81	5.42	4.01	2.89	11.27 Fe2O3 tot
FeO	6.87	2.14	4.04	4.70	5.03	8.45	
MnO	0.19	0.19	0.20	0.21	0.21	0.21	0.17
MgO	7.14	7.21	3.39	3.55	3.72	6.61	9.66
CaO	9.58	9.55	7.60	7.70	7.48	9.88	9.13
Na2O	2.66	2.64	4.41	3.87	3.89	2.83	2.79
K2O	1.73	1.77	2.30	2.19	2.42	1.40	1.39
P2O5	0.50	0.53	1.20	1.23	0.82	0.70	0.61
H2O	0.68	0.11	0.55	0.77	0.51	0.89	0.65
CO2	0.13	0.10	0.14	0.11	0.01	0.19	
total	99.06	99.21	99.42	99.36	99.30	99.26	98.54
Ba (ppm)	554	581	689	738	732	628	607
Rb	46	46	57	57	59	43	33
Sr	616	623	1019	1030	842	700	788
Pb	<2	<2	<2	<2	<2	517	<2
Th	5	5	7	8	9	8	1
U	<2	<2	3	4	2	3	<2
Nb	56	59	74	76	81	65	49
La	50	50	70	64	79	61	42
Ce	87	88	119	119	128	96	79
Nd	42	44	61	56	55	43	40
Y	28	28	34	36	36	29	19
Zr	251	254	287	283	331	262	224
V	266	262	136	133	164	296	202
Cr	197	200	14	14	26	101	342
Ni	77	79	<2	<2	14	42	229
Co	62	57	50	33	37	53	101
Cu	67	55	10	<4	17	155	43
Zn	110	107	105	97	113	117	258
Ga	23	21	21	20	23	24	16
Hi	8	8	8	7	9	7	3
S	75	73	77	65	71	81	128
CLASSIFICATION	Basalte (High-K)	Basalte (High-K)	Trachybasalte (Hawaiite)	Trachybasalte (K-Hawaiite)	Trachyandésite basaltique	Basalte	Basalte
NORME CIPW (composition minéralogique calculée sur la base de l'analyse chimique)							Fe2O3 = 1.5 %
Quartz	0.00	0.59	0.00	1.89	1.08	0.00	0.00
Orthose	10.40	10.56	13.77	13.14	14.48	8.42	8.47
Albite	22.90	22.55	37.80	33.25	33.32	24.38	23.48
Anorthite	25.18	25.04	21.19	24.00	23.43	28.06	22.01
Leucite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Néphéline	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
Diopside	15.93	15.01	7.05	5.22	6.99	13.98	16.65
Hypersthène	8.96	11.17	4.47	7.46	9.21	0.93	0.00
Olivine	5.62	0.00	0.57	0.00	0.00	13.64	20.64
Magnétite	5.49	1.03	7.57	7.98	5.89	4.27	2.24
Ilménite	4.31	4.30	4.12	4.24	3.69	4.54	4.50
Hématite	0.00	8.45 oxydation	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Apatite	1.20	1.27	2.88	2.96	1.97	1.69	1.49
COMPOSITION MINERALOGIQUE ET TEXTURE MICROSCOPIQUE							
texture						fluidale	+- fluidale
porosité	40	30	30	30	20	30	25
mésostase	40	50	64	63	40	50	50
plagioclase	20	30	44	43	25	30	30
pyroxène	7	8	10	10	10	12	8
opaque	13	12	10	10	5	8	8
olivine							4
phénocristaux	20	20	6	7	40	20	25
plagioclase	1 grain		5	5	20	1 grain	
pyroxène	15	17	qques grains	1	15	15	10
olivine	5	3				5	15
quartz	1 grain	1 grain	1 grain	1 grain			
opaque			1	1	5		
amphibole			qques grains				

Fig. 47. Avenches *En Chaplix*. Tableau des données des analyses chimiques et pétrographiques effectuées sur les meules. Les numéros des meules renvoient aux tableaux des pp. 46-47.

Echantillons de comparaison

PROVENANCE	AGDE coulée du cap	EIFEL meule SS 1059b	EIFEL meule ZS 1020	EIFEL MAYEN-BELLERBERG	EIFEL MAYEN-BELLERBERG
IDENTIFICATION MACROSCOPIQUE	lave vacuolaire gris sombre pyroxènes et olivines	lave vacuolaire gris clair feldspathoïdes	lave vacuolaire gris clair feldspathoïdes	lave vacuolaire gris clair feldspathoïdes	lave vacuolaire gris clair feldspathoïdes
ANALYSE CHIMIQUE GLOBALE					
SiO2 (% poids)	47.69	48.17	48.83	48.88	48.57
TiO2	2.29	2.11	2.08	1.92	2.07
Al2O3	13.80	16.21	16.10	16.87	16.20
Fe2O3	5.60	5.90	6.69	6.08	6.69
FeO	5.57	2.47	1.73	1.60	1.57
MnO	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18
MgO	8.47	5.42	5.34	4.81	5.36
CaO	9.18	9.15	8.93	8.19	8.96
Na2O	3.37	4.14	3.70	4.74	4.05
K2O	1.52	3.93	4.07	4.43	3.94
P2O5	0.71	0.49	0.48	0.41	0.43
H2O	0.65	1.06	0.99	1.16	1.04
CO2	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00
total	99.03	99.33	99.13	99.28	99.06
Ba (ppm)	577	1153	1264	944	1166
Rb	36	124	130	144	121
Sr	806	1055	1037	901	1041
Pb	<2	10	10	10	<2
Th	5	10	11	13	11
U	<2	5	4	4	5
Nb	66	90	92	90	88
La	56	83	82	82	80
Ce	83	135	133	128	123
Nd	38	53	45	45	46
Y	26	28	27	25	26
Zr	235	360	358	420	350
V	179	250	253	228	226
Cr	227	63	62	50	64
Ni	166	45	45	37	45
Co	61	50	63	48	45
Cu	51	38	38	33	38
Zn	124	99	98	97	91
Ga	22	21	22	22	20
Hi	7	8	8	8	6
S	429	140	119	219	82
CLASSIFICATION	Basalte (High-K)	Phonotéphrite	Phonotéphrite	Phonotéphrite	Phonotéphrite
NORME CIPW (composition minéralogique calculée sur la base de l'analyse chimique)					
Quartz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Orthose	9.13	23.65	24.50	11.89	23.75
Albite	28.97	13.07	15.82	26.68	15.00
Anorthite	18.33	14.30	15.59	11.89	14.68
Leucite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Néphéline	0.00	12.24	8.71	15.40	10.81
Diopside	18.27	22.32	20.51	20.84	21.31
Hypersthène	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Olivine	9.96	2.39	2.83	1.78	2.62
Magnétite	8.25	2.51	0.17	0.18	0.00
Ilménite	4.42	4.08	4.02	3.72	0.21
Hématite	0.00	4.28	6.70	6.07	6.82
Apatite	1.71	1.18	1.16	0.99	1.04

Fig. 48. Tableau des données des analyses chimiques effectuées sur les échantillons de comparaison (coulée du cap d'Agde / meule de Saalburg SS 1059b / meule de Zugmantel ZS 1020 / deux échantillons prélevés sur le site du Bellerberg dans l'Eifel).

existe de nombreuses régions où un volcanisme effusif tertiaire ou quaternaire est connu (fig. 49).

Si aucune roche basaltique n'est disponible sur le sol suisse et que l'on peut donc être certain que les meules d'Avenches ont été importées, l'étendue du réseau de communications romain empêche d'exclure *a priori* même les sources les plus éloignées. Dans l'état actuel des connaissances, la seule démarche possible est de comparer les matériaux vaudois aux roches des régions les plus proches et les plus accessibles et d'évaluer les probabilités.

La vallée du Rhin

Le Rhin offre la possibilité de transporter assez facilement des matériaux pesants, et cela jusqu'aux portes d'Avenches sans rupture de charge importante. Plusieurs massifs volcaniques, liés à la formation du fossé d'effondrement du Rhin, s'alignent le long de la vallée.

Les affleurements les plus proches de la Suisse se trouvent dans le Hegau, au nord-est de Schaffhouse, en territoire allemand (Schreiner 1976). Ces quelques pointements, peu importants, sont essentiellement composés de laves sous-saturées en silice. Ils sont

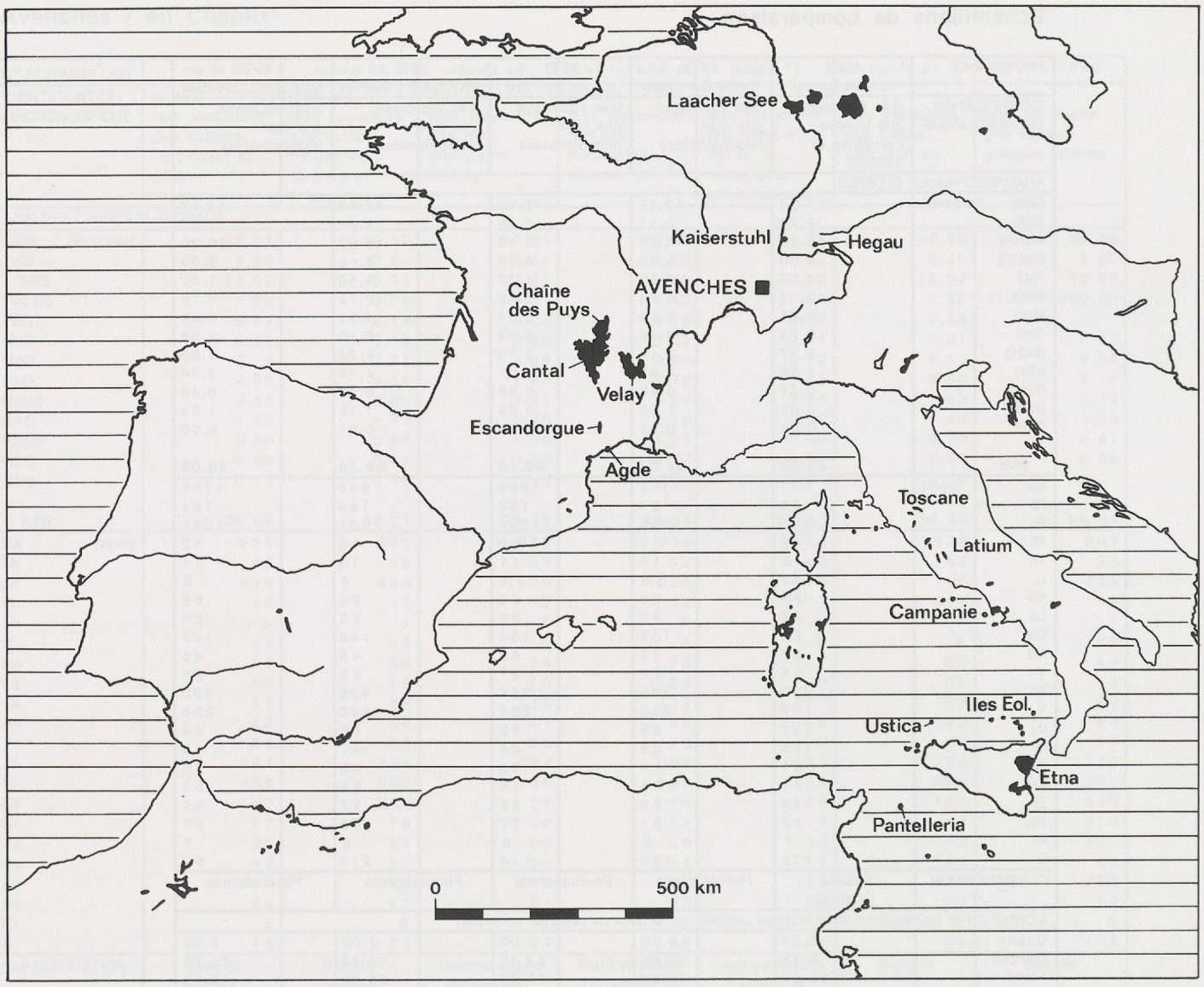


Fig. 49. Carte des principaux massifs volcaniques tertiaires et quaternaires dans la partie occidentale de l'Empire romain. D'après Choubert/Favre-Muret 1976.

situés sur la rive est du Rhin et aucune exploitation ancienne n'est clairement attestée. Tant du point de vue historique que pétrographique, il est fort peu probable que les meules d'Avenches proviennent de ce secteur.

Le massif du Kaiserstuhl se trouve en bordure du Rhin sur la rive est entre Colmar et Freiburg (Wimmenauer *et alii* 1959). Les roches sont également très sous-saturées en silice et, dans ce cas également, une éventuelle exploitation antique n'est pas démontrée. Ce massif peut donc également être exclu.

Plus au nord, une zone volcanique importante se trouve dans la région de l'Eifel (Duda/Schmincke 1978; Meyer 1988). Au Tertiaire, le volcanisme se manifeste par un épisode basaltique accompagné d'une faible quantité de laves différenciées, plus riches en silice. Au Quaternaire, dans une région plus circonscrite autour du Laacher See, se mettent en place de petits volcans dont les roches ont une forte tendance sous-saturée. Une zone d'exploitation importante est connue dans cette région aux environs de Mayen (Höter *et alii* 1950/1951; Crawford/Röder 1955).

L'extraction de la pierre et l'industrie meulière commence au début de l'âge du Fer et se prolonge jusqu'au Moyen Age. La fabrication de meules rotatives débute avant même l'époque romaine, mais les produits sont typologiquement différents des meules d'Avenches. La roche exploitée est également très différente, tant du point de vue chimique que minéralogique (phonotéphrite, fig. 48; Williams-Thorpe 1988). On peut donc formellement exclure que cette carrière soit la source des matériaux vaudois. Il est fort probable que ce soit également le cas pour l'ensemble du massif.

La vallée du Rhône et la Méditerranée

Le Rhône met en communication le Plateau suisse avec la Méditerranée. Le transport jusqu'à Avenches exige cependant de brefs portages terrestres. Les

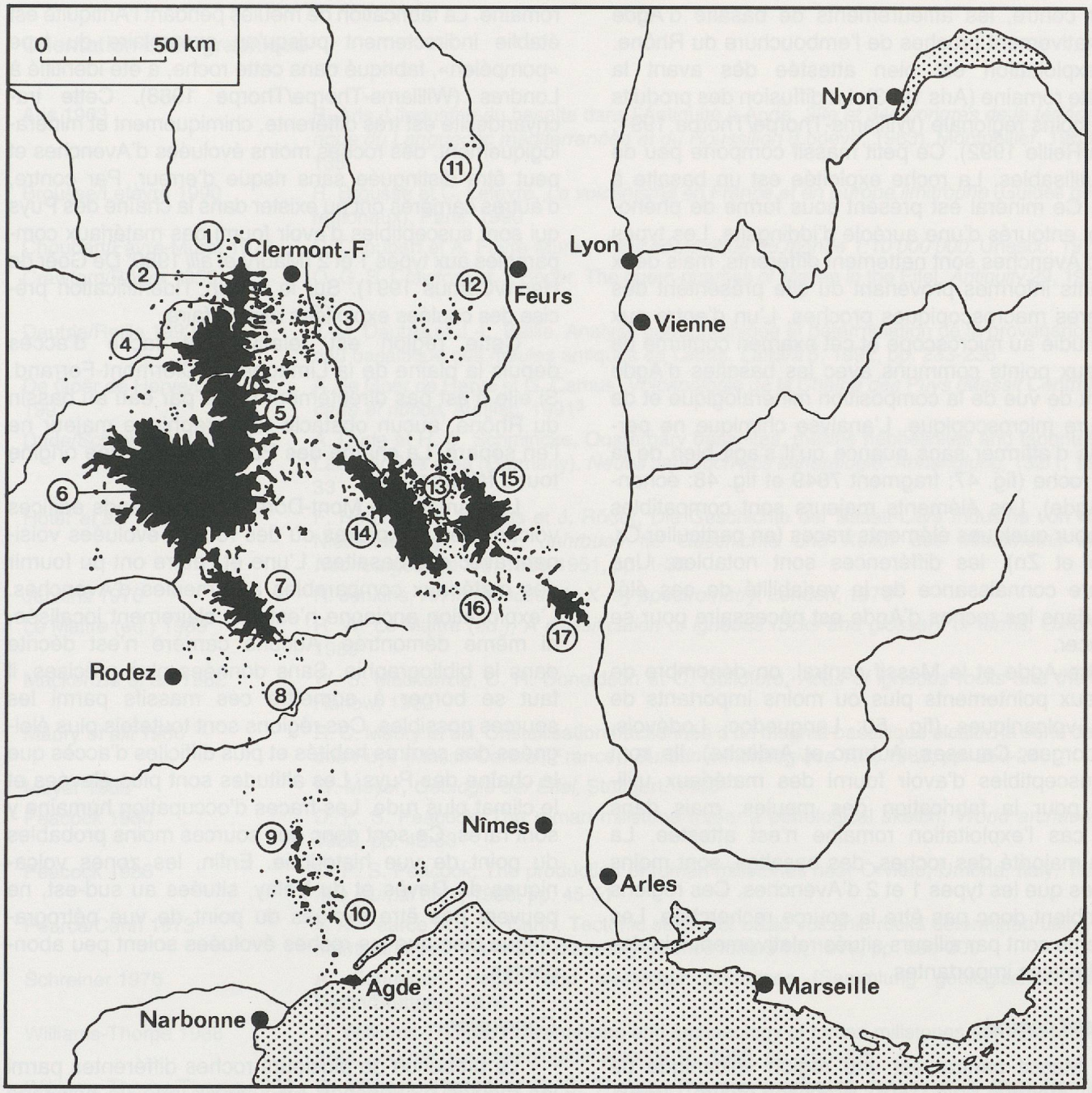


Fig. 50. Carte des principales régions volcaniques tertiaires et quaternaires entre le Massif central et la Méditerranée. D'après De Göer de Herve/Camus 1991.
1: Chaîne de la Sioule; 2: Chaîne des Puys; 3: Limagne, Comté, Livradois; 4: Mont-Dore; 5: Cézallier; 6: Cantal; 7: Aubrac; 8: Causses; 9: Escandorgue; 10: Bas-Languedoc; 11: Bourgogne; 12: Forez; 13: Bassin du Puy et Emblavès; 14: Devès; 15: Velay oriental; 16: Bas-Vivarais; 17: Coiron.

régions volcaniques proches de la vallée du Rhône ou limitrophes de la côte méditerranéenne sont fort nombreuses.

Les roches volcaniques d'Italie centrale (Toscane, Latium et Campanie) sont souvent caractérisées par une forte sous-saturation en silice et la présence d'un minéral particulier, la leucite. La zone d'extraction romaine proche d'Orvieto est typique de ce point de vue (Peacock 1986). Aucune confusion n'est possible avec le matériel des meules étudiées.

Les roches des îles Eoliennes, d'Ustica et de Pantelleria, au large de la Sicile, possèdent les caractères chimiques des basaltes d'arcs insulaires, qui les distinguent des roches d'Avenches (Pearce/Cann 1973).

Les données publiées concernant les autres régions méditerranéennes possibles ne présentent pas de similitudes frappantes avec les roches d'Avenches (Williams-Thorpe 1988). Il est toutefois impossible d'exclure formellement ces origines compte tenu de la variabilité des roches considérées. L'éloignement de certaines zones (Sicile, Afrique du Nord) rend toutefois celles-ci peu probables.

Par contre, les affleurements de basalte d'Agde sont relativement proches de l'embouchure du Rhône. Leur exploitation est bien attestée dès avant la conquête romaine (Aris 1963). La diffusion des produits est au moins régionale (Williams-Thorpe/Thorpe 1991; Dautria/Reille 1992). Ce petit massif comporte peu de laves utilisables. La roche exploitée est un basalte à olivine. Ce minéral est présent sous forme de phénocristaux entourés d'une auréole d'iddingsite. Les types 1 et 2 d'Avenches sont nettement différents, mais deux fragments informes provenant du site présentent des caractères macroscopiques proches. L'un d'entre eux a été étudié au microscope et cet examen confirme de nombreux points communs avec les basaltes d'Agde du point de vue de la composition minéralogique et de la texture microscopique. L'analyse chimique ne permet pas d'affirmer sans nuance qu'il s'agit bien de la même roche (fig. 47: fragment 7849 et fig. 48: échantillon Agde). Les éléments majeurs sont compatibles mais, pour quelques éléments traces (en particulier Cr, Ni, Co et Zn), les différences sont notables. Une meilleure connaissance de la variabilité de ces éléments dans les roches d'Agde est nécessaire pour se prononcer.

Entre Agde et le Massif central, on dénombre de nombreux pointements plus ou moins importants de roches volcaniques (fig. 50: Languedoc, Lodévois, Escandorgue, Causses, Aubrac et Ardèche). Ils sont tous susceptibles d'avoir fourni des matériaux utilisables pour la fabrication des meules, mais dans aucun cas l'exploitation romaine n'est attestée. La grande majorité des roches, des basaltes, sont moins évoluées que les types 1 et 2 d'Avenches. Ces régions ne semblent donc pas être la source recherchée. Les gisements sont par ailleurs situés relativement loin des voies fluviales importantes.

Le Massif central

Le Massif central est une région volcanique de grande étendue (fig. 50; Brousse/Lefèvre 1990). Plusieurs ensembles se juxtaposent et se superposent en partie (Cantal, Cézailler, Mont-Dore et chaîne des Puys). Mis à part le massif du Cézailler, dont les roches sont essentiellement basaltiques, on trouve dans les trois autres groupes des roches plus évoluées, comparables à celles d'Avenches. Ces domaines, fort étendus et fort complexes, offrent de multiples possibilités.

Dans la chaîne des Puys, l'exploitation antique est suspectée depuis longtemps, en particulier dans le cas de la coulée de trachyandésite (Benmoréite) du Puy de la Nugère près de Volvic. L'extraction de la pierre à cet endroit est connue dès le Moyen Age et se pratique encore aujourd'hui. On compte une centaine de carrières ouvertes dans la même coulée de lave, mais aucune n'est datée archéologiquement de l'époque romaine. La fabrication de meules pendant l'Antiquité est établie indirectement puisqu'un exemplaire du type «pompéien», fabriqué dans cette roche, a été identifié à Londres (Williams-Thorpe/Thorpe 1988). Cette trachyandésite est très différente, chimiquement et minéralogiquement, des roches moins évoluées d'Avenches et peut être distinguée sans risque d'erreur. Par contre, d'autres carrières ont pu exister dans la chaîne des Puys qui sont susceptibles d'avoir fourni des matériaux comparables aux types 1 et 2 (Maury *et alii* 1980; De Goër de Herve/Camus 1991). Sur le terrain, l'identification précise des coulées exploitées reste à faire.

Cette région est relativement facile d'accès depuis la plaine de la Limagne de Clermont-Ferrand. Si elle n'est pas directement reliée par eau au bassin du Rhône, aucun obstacle topographique majeur ne l'en sépare. La chaîne des Puys est donc une origine tout à fait possible.

Le Cantal et le Mont-Dore sont de grands édifices volcaniques complexes où des roches évoluées voisinent avec des basaltes. L'une et l'autre ont pu fournir des matériaux comparables aux meules d'Avenches. L'exploitation ancienne n'est pas clairement localisée, ni même démontrée. Aucune carrière n'est décrite dans la bibliographie. Sans données plus précises, il faut se borner à admettre ces massifs parmi les sources possibles. Ces régions sont toutefois plus éloignées des centres habités et plus difficiles d'accès que la chaîne des Puys. Les altitudes sont plus élevées et le climat plus rude. Les traces d'occupation humaine y sont rares. Ce sont donc des sources moins probables du point de vue historique. Enfin, les zones volcaniques du Devès et du Velay, situées au sud-est, ne peuvent pas être exclues du point de vue pétrographique bien que les roches évoluées soient peu abondantes.

Conclusion

La présence de plusieurs roches différentes parmi les meules d'Avenches *En Chaplix* jette un éclairage intéressant sur le problème de leur origine. Elles ne proviennent pas de la même carrière. Si les meules ont été achetées ensemble, c'est à un revendeur disposant d'un stock aux origines variées. Cette variété pourrait illustrer également un changement de la source d'approvisionnement au cours du temps.

Dans l'état actuel des connaissances, les deux types pétrographiques dominants (types 1 et 2) ne sont pas rigoureusement attribuables à une source précise. L'hypothèse la plus crédible est qu'ils proviennent tous deux du Massif central, peut-être de la chaîne des Puys, mais de carrières différentes. Les rares basaltes à olivines trouvés sur le site peuvent également provenir de cette région (troisième carrière), sans que l'on puisse toutefois exclure une origine agathoise.

Orientation bibliographique

Aris 1963	R. Aris, L'industrie du basalte dans l'Antiquité à Agde, *33e et 34e congrès de la fédération historique du Languedoc méditerranéen et du Roussillon* (Lodève, 1963), Montpellier, 1963, pp. 129-135
Brousse/Lefèvre 1990	R. Brousse et C. Lefèvre, *Le volcanisme en France et en Europe limitrophe* (Guides géologiques régionaux), Paris, 1990
Choubert/Favre-Muret 1976	C. Choubert et A. Favre-Muret, *Atlas géologique du monde 1:10'000'000*, Unesco, 1976
Crawford/Röder 1955	O. G. S. Crawford et J. Röder, The quern-quarries of Mayen in the Eifel, *Antiquity* 29, 1955, pp. 68-76
Dautria/Reille 1992	J.-M. Dautria et J.-L. Reille, Analyse pétrographique et détermination de la provenance du matériau basaltique des meules antiques de Lattes, *Lattara* 5, 1992, pp. 233-236
De Goër de Herve/Camus 1991	A. de Goër de Herve et G. Camus, *Volcanologie de la Chaîne des Puys (Massif Central français), carte et notice*, Aurillac, 1991[3]
Duda/Schmincke 1978	A. Duda et H. U. Schmincke, Quaternary basanites, melilite nephelinites and tephrites from the Laacher See area (Germany), *Neues Jahrbuch aus Mineralogie, Abhandlung,* 132/1, 1978, pp. 1-33
Höter *et alii* 1950-1951	F. Höter, K. X. Michels et J. Röder, Die Geschichte der Basalt-Lava Industrie von Mayen und Niedermendig. Teil 1, *Jahrbuch für Geschichte und Kultur des Mittelrheins und seiner Nachbargebiete* 2-3, 1950-1951, pp. 1-32
Jenkins 1976	R. Jenkins, *An introduction to X-ray spectrometry*, London, 1976[2]
Le Maitre (ed.) 1989	R. W. Le Maitre (ed.), *A classification of igneous rocks and glossary of terms,* Oxford/London, 1989
Mackenzie *et alii* 1982	W. S. Mackenzie, C. H. Donaldson et C. Guildford, *Atlas of igneous rocks and their textures*, Harlow, 1982
Maury *et alii* 1980	R. C. Maury *et alii*, Cristallisation fractionnée d'un magma basaltique alcalin: la série de la chaîne des Puys (Massif Central, France), *Bulletin minéralogique* 103, 1980, pp. 250-266
Meyer 1988	W. Meyer, *Geologie der Eifel,* Stuttgart, 1988[2]
Peacock 1980	D. P. S. Peacock, The roman millstone trade: a petrological sketch, *World archaeology* 12.1, 1980, pp. 43-53
Peacock 1986	D. P. S. Peacock, The production of roman millstones near Orvieto, Umbria, Italy, *The antiquaries journal* 66/1, 1986, pp. 45-51
Pearce/Cann 1973	J. A. Pearce et J. R. Cann, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis, *Earth and planetary science letters* 19, 1973, pp. 290-300
Schreiner 1976	A. Schreiner, *Hegau und westlicher Bodensee* (Sammlung geologischer Führer 62), Berlin/Stuttgart, 1976
Williams-Thorpe 1988	O. Williams-Thorpe, Provenancing and archaeology of roman millstones from the Mediterranean area, *Journal of archaeological science* 15, 1988, pp. 253-305
Williams-Thorpe/Thorpe 1988	O. Williams-Thorpe et R. S. Thorpe, The provenance of donkey mills from Roman Britain, *Archaeometry* 30.2, 1988, pp. 275-289
Williams-Thorpe/Thorpe 1991	O. Williams-Thorpe et R. S. Thorpe, The import of millstones to roman Mallorca, *Journal of roman archaeology* 4, 1991, pp. 152-159
Wimmenauer *et alii* 1959	W. Wimmenauer *et alii*, *Geologische Exkursionskarte des Kaiserstuhls*, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 1959

A propos de trois autres meules du site d'En Chaplix...

Trois autres meules de grand format ont été mises au jour à quelques centaines de mètres au nord-est du moulin, au bord de la route du *Nord-Est* et à proximité immédiate de la nécropole du IIe siècle (fig. 2, en haut). Une première meule (dormante) a été découverte dans un sondage préliminaire de 1986 (sond. 143); les deux autres à quelques mètres de là lors de la campagne de fouille de 1991 (fig. 37/23-24). Il s'agit de meules de grand format, en pierre de la Molière (grès d'extraction locale), qui se caractérisent par leur grand diamètre (env. 70 cm), leur profil très plat (impliquant une vitesse de rotation élevée) et leur exceptionnelle minceur (environ 5 cm pour la tournante). La surface inférieure de la meule tournante se signale par la présence d'un logement d'anille très érodé à deux ailerons rectangulaires. Ces meules sont, par leur forme et leurs dimensions, très proches des meules du moulin d'Athènes (Ve siècle) et d'autres exemplaires signalés çà et là au Bas-Empire et au Moyen Age.

Le contexte de trouvaille de ces meules n'est pas sans intérêt: elles ont en effet été mises au jour à faible profondeur, sur la rive d'un important bras de rivière fossile (large d'env. 15 m; fig. 2: C), dont le cours est attesté sur plusieurs centaines de mètres grâce aux observations de fouille et aux photos aérienne de 1976: il s'agit également d'un ancien lit du Chandon, se dirigeant du sud-est vers le nord-ouest. Après avoir longé l'enclos du sanctuaire nord, la rivière recoupe la route du *Nord-Est*, traverse la nécropole du IIe siècle (en endommageant plusieurs sépultures), se dirige ensuite vers le canal d'époque antonine, le franchit (le canal est donc à ce moment déjà comblé), et se jette enfin dans le lac de Morat non loin du port romain.

Les trois meules reposaient sur des niveaux empierrés (galets, pierres calcaires, blocs de grès et de molasse; alt. env. 435.05/435.40 m), où se lisaient les traces (peu sûres) de trois ou quatre poteaux et d'une fosse. Près de la meule de 1986, fut par ailleurs mis au jour un dé en grès de la Molière d'environ 40 cm de côté, percé d'une crapaudine. Certes maigres, les indices disponibles n'interdisent pourtant pas de supposer, à cet endroit ou non loin de là, l'existence d'un second moulin, alimenté par cette rivière, dont le cours n'est (ici) pas antérieur au IIIe siècle. C'est en tous les cas entre cette époque et le Haut Moyen Age que ces trouvailles doivent être provisoirement situées[90].

90. La trouvaille la plus tardive provenant du lit de la rivière est un pot à lèvre en bandeau de la seconde moitié du IVe ou du Ve s. (inv. AV91/7946-7).