



**HAL**  
open science

# Les fondations en bois en milieu humide : l'exemple de Strasbourg de l'Antiquité au XIXe siècle

Jean-Jacques Schwien

► **To cite this version:**

Jean-Jacques Schwien. Les fondations en bois en milieu humide: l'exemple de Strasbourg de l'Antiquité au XIXe siècle. Actes des Colloques de la Direction du Patrimoine, "Le bois dans l'Antiquité", Rouen, 1993, France. pp.132-147. halshs-00005329

**HAL Id: halshs-00005329**

**<https://shs.hal.science/halshs-00005329>**

Submitted on 15 Feb 2006

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

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

Actes des Colloques de la Direction du  
Patrimoine, « Le bois dans  
l'architecture », Rouen, 1993

# Les fondations en bois en milieu humide : l'exemple de Strasbourg de l'Antiquité au XIXe siècle

Les grands chantiers de fouilles de sauvetage à Strasbourg au cours de ces dix dernières années ont permis de mettre en valeur un type de structures jusque là négligé et pourtant d'un intérêt de portée générale : les fondations en bois à fleur de nappe phréatique. En effet, Strasbourg s'est développée dans la plaine alluviale de l'Ill et du Rhin sur un sous-sol formé d'un épais dépôt de gravier aquifère recouvert d'un mince manteau de sédiments fins ; la plupart des fondations profondes ont dû prendre en compte ces conditions naturelles. Trois grandes familles de structures ont été observées : d'une part, les enceintes, les quais et les ponts, d'autre part, les bâtiments publics et privés, et, enfin, les puits et les fosses. La très grande majorité de ces fondations est en chêne, à l'exception des puits et des latrines où le résineux domine. Les observations archéologiques liées à la mise en oeuvre de ces bois, complétées par l'étude des archives des XVII-XIXe siècles, comme, par exemple, le rapport de construction de la caserne Barbade, ont permis de proposer des chiffres précis quant aux quantités de bois nécessaires et de décrire avec précision les différentes étapes de construction des fondations en milieu subaquatique. L'essentiel de ces prélèvements a pu être daté par la dendrochronologie ; les données ainsi obtenues ouvrent de nouvelles perspectives à la fois sur l'histoire des techniques et sur celle de l'urbanisation.

**Jean-Jacques Schwien**

Afin de permettre une meilleure appréhension de l'analyse, une présentation préalable du contexte géologique strasbourgeois s'avère indispensable.

La ville chevauche deux unités naturelles distinctes. À l'ouest, elle mord le rebord oriental d'un vaste ensemble de collines quaternaires (le Kochersberg) qui a fait office de grenier à grains de Strasbourg jusqu'à la période moderne. C'est là que s'est développé le faubourg antique de Koenigshoffen sur une terrasse qui domine la plaine alluviale de 5 à 10 m (cote moyenne 145-150 m NGF).

L'essentiel de l'agglomération, de l'Antiquité au XIXe siècle, s'inscrit toutefois dans la plaine du Rhin et de ses affluents, l'Ill qui prend sa source dans le Jura, la Bruche d'origine vosgienne et la Kinzig issue de la Forêt-Noire. C'est aussi là que se situent les fondations en bois dont il sera question ci-après.

Son sous-sol est formé par les graviers déposés par le Rhin tout au long du quaternaire (1 million d'années)

sur une épaisseur (à Strasbourg) de 100 à 150 m. Leur toit est d'altitude variable mais formant néanmoins un plan régulier entre 135 et 136 m NGF. La particularité de ces sédiments graveleux est de contenir une nappe phréatique piégée par les séries tertiaires imperméables. Cette masse est en mouvement constant : elle s'écoule globalement du sud vers le nord suivant la pente du fossé rhénan mais connaît aussi des battements (variation du toit) dont l'amplitude est fonction de la distance par rapport aux rivières et de leur régime (crues, étiage). Au centre de Strasbourg, le toit moyen se situe à une altitude de 135,50 m près des Ponts Couverts (au sud) et de 134,50 m sous la place de la République (au nord). Son battement maximal annuel est de 1 m. Il ne semble pas qu'il y ait eu de grosses variations (en valeurs moyennes) au cours des périodes historiques.

L'ensemble est recouvert par un manteau de sédiments fins (argiles, limons et sables), épais de 2 m au plus : il forme un élément compact dont le toit (à la cote moyenne de 137-138 m NGF) constitue le premier sol de la ville, selon les secteurs, dès l'Antiquité ou seulement à partir du Moyen Âge. La chronologie de la mise en place de ce manteau n'est pas connue précisément. Elle doit se situer entre la fin de la dernière glaciation (-10000) et donc la diminution du débit du Rhin charriant des graviers et les périodes historiques. Les récentes fouilles du Tramway apportent la des premières informations grâce aux datations C14 de bois flottés : le manteau semble sinon se constituer du moins se stabiliser entre - 6000 et - 200 pour le coeur de la ville antique et entre + 400 et + 700 pour les quartiers entre Ill et Rhin colonisés au Moyen Âge.

Le mode de formation de ce manteau est tout aussi délicat à analyser. Selon les secteurs et les périodes, il est mis en place par les crues du Rhin et de son plus vigoureux affluent, la Bruche, à travers un lacis de chenaux en mouvement perpétuel. L'emprise et l'importance des marécages dans cette sédimentation n'ont nulle part pu être mesurées mais semblent incontestables.

Le résultat, au total, est l'omniprésence de l'eau à la fois de par un dense réseau de surface (cours d'eau et marécages) et de par la proximité de la nappe phréatique. L'histoire des interstices, c'est à dire des terrains secs, se confond en grande partie avec celle des hommes visant à la dominer pour l'utiliser ou s'en défendre. L'analyse des bois utilisés en fondation permet d'ouvrir un certain nombre de pistes de réflexion pour cette histoire de la maîtrise de l'eau. Les observations sont principalement issues des fouilles archéologiques récentes parfois complétées par des recherches d'archives. Il n'est pas inutile de préciser d'emblée que si la nappe phréatique joue un rôle positif en conservant les bois dans un état parfait, elle constitue aussi un handicap : de par la difficulté à la rabattre correctement au cours des chantiers de fouilles, il est souvent impossible de faire toutes les observations nécessaires.

Trois grandes familles de structures ont été observées, qui ont permis de dégager les principaux types de fondations<sup>2</sup> : à savoir, d'une part, les enceintes, les quais et les ponts, d'autre part, les bâtiments et, enfin, les puits et les fosses.

## Les enceintes, les quais et les ponts

La première enceinte a été édifée par les légionnaires romains au début du I<sup>er</sup> siècle après J.-C. Remanié deux fois au moins, l'essentiel en a perduré jusqu'au XIII<sup>e</sup> siècle. Au Moyen Âge, la ville a construit trois enceintes successives, la première entre 1200 et 1250 pour le noyau urbain, la seconde entre 1374 et 1390 pour le faubourg ouest dit du Marais Vert, la troisième entre 1404 et 1441 pour le faubourg est de la Krutenau. Des aménagements ponctuels leur ont été apportés au cours des deux siècles suivants pour répondre aux progrès des armes à feu, en particulier la construction de fausses-brâies. Mais ce n'est qu'au XVII<sup>e</sup> siècle que le système défensif est repensé dans son ensemble avec la transformation des structures médiévales en système bastionné (1630-1675). Vauban, après 1681, l'a complété par l'adjonction d'ouvrages à cornes, de demi-lunes et d'une citadelle. Ce dernier état a subsisté sans changements jusqu'en 1870-1900.

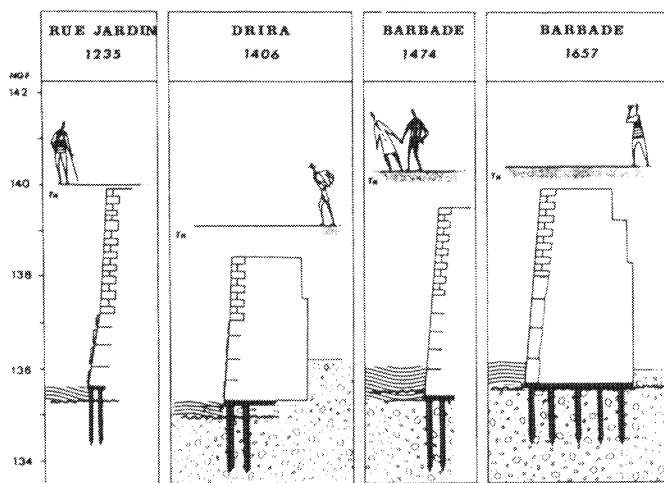
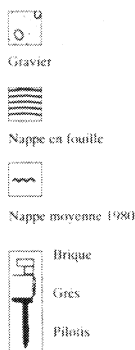
Par le hasard des chantiers de ces dernières années, nous disposons d'une observation au moins pour les enceintes correspondant à ces constructions entre 1200 et 1450 et leur modernisation ultérieure (Fig. 1). Il nous manque encore des références archéologiques précises sur le pilotis des ouvrages construits par Vauban, en particulier la citadelle.

Toutes ces fondations sont construites selon un principe identique : un mur en briques avec un revêtement en grès à la base côté fossé et un radier en bois. Conservées sur 4 m de hauteur en moyenne, les maçonneries ont un profil en trapèze irrégulier dont la base mesure entre 1,80 et 2,50 m et l'arase entre 1,50 et 1,70 m. Le radier se compose lui de planches en chêne clouées ou chevillées sur des files de pieux, eux aussi en chêne, disposés en quinconce avec un espacement de 30 à 80 cm : avant 1500, il y a deux files de pieux et une planche sous la seule partie en grès, le reste étant fondé directement sur le gravier ; après 1600, il y a plusieurs planches et cinq files de pieux sous toute l'épaisseur du mur. Les planches, larges de 25 cm et épaisses de 10 cm, peuvent mesurer jusqu'à 11-12 m de long. Les pieux sont des pièces de 1 m à 1,50 m pour 20 cm de diamètre enfoncées verticalement dans le gravier aquifère. Le niveau des planches correspond au toit moyen de la nappe phréatique

Fig.1 Coupes schématiques

des enceintes médiévales  
et modernes

(Document J.J. Schwiens)



actuelle. La base de ces fondations ne semble pas avoir été protégée par une risberme avant l'époque moderne : seul le bastion de la caserne Barbade (1657) a livré une file de pieux supplémentaire disposée devant le mur, retenant une planche posée de chant ; l'espace de 40 cm entre cette planche et le radier était colmaté avec de l'argile de façon à empêcher l'eau du fossé d'affouiller les graviers sous le mur. Plusieurs documents d'archives contemporains font penser que cette protection était dès lors systématique.

Pour bien comprendre le rôle de ces fondations en bois, il importe de rappeler la structure générale de ces systèmes défensifs et leur évolution. Le mur du camp légionnaire antique, au Bas-Empire en particulier, était fondé (sans pieux) dans le manteau de sédiments fins, soit sur un hérisson de pierres sèches posées de chant, soit sur un béton de chaux et de briques pilées ; mesurant 2,50 m de large et 9 à 10 m de haut, il était complété par un système mal connu de fossés en V ou en auge, en partie au moins à sec et séparés de la courtine par un terre-plein. Au Moyen Âge, par contre, l'enceinte crénelée, haute elle aussi d'une dizaine de mètres, disposait d'un fossé à fond plat, large d'une quinzaine de mètres au moins et aménagé côte extérieure par une contrescarpe : creuse jusqu'à la nappe phréatique, sa hauteur d'eau habituelle était de 30 cm (1 m à 1,50 m en cas de conflit). Pour les bastions de l'époque moderne, enfin la hauteur totale du mur est rabaisée à 5 m environ et devient, avec la disparition du crénelage, un simple soutènement des imposants remparts de terre surplombant le sol de l'époque de 5 à 15 m pour arrêter ou dévier les boulets ennemis tout en servant de plate-forme d'artillerie ; quoiqu'élargie à 40 m en moyenne, la structure générale des fossés reste identique.

Au total, du Moyen Âge à l'époque moderne, les dimensions des murs, leur couronnement, leur environnement évoluent, mais pas leur principe général de fondation. On peut en conclure que le pilotis n'est pas lié à la hauteur du mur mais à la contiguïté de l'escarpe et du fossé : il sert d'ancrage dans le sous-sol à une maçonnerie sur laquelle s'exerce une poussée des terres depuis l'intérieur de la ville vers le vide du fossé. L'enceinte romaine n'en avait pas besoin impérativement, les charges étant réparties dans sa tranchée de fondation. Un exemple exceptionnel illustre d'ailleurs l'évolution de ces modes de fondation au même endroit : le front nord du *castrum* intégré dans l'enceinte médiévale a été conservé dans sa structure mais complété par un nouveau crénelage et un parement en grès fondé sur des pieux enfoncés en sous-œuvre<sup>3</sup>. À l'inverse, le passage du système crénelé au rempart de terre ayant pour conséquence une augmentation de la poussée se traduit par une adaptation des fondations : la maçonnerie s'épaissit et le pilotis se développe sous l'ensemble du mur.

L'analyse de ces fondations est loin d'être complète. Les quelques observations déjà faites sur les tours, contrescarpes et barrages dans les fossés font entrevoir des systèmes de fondations en bois plus complexes, en particulier des grillages et palplanches pour la période moderne. Le seuil critique des informations

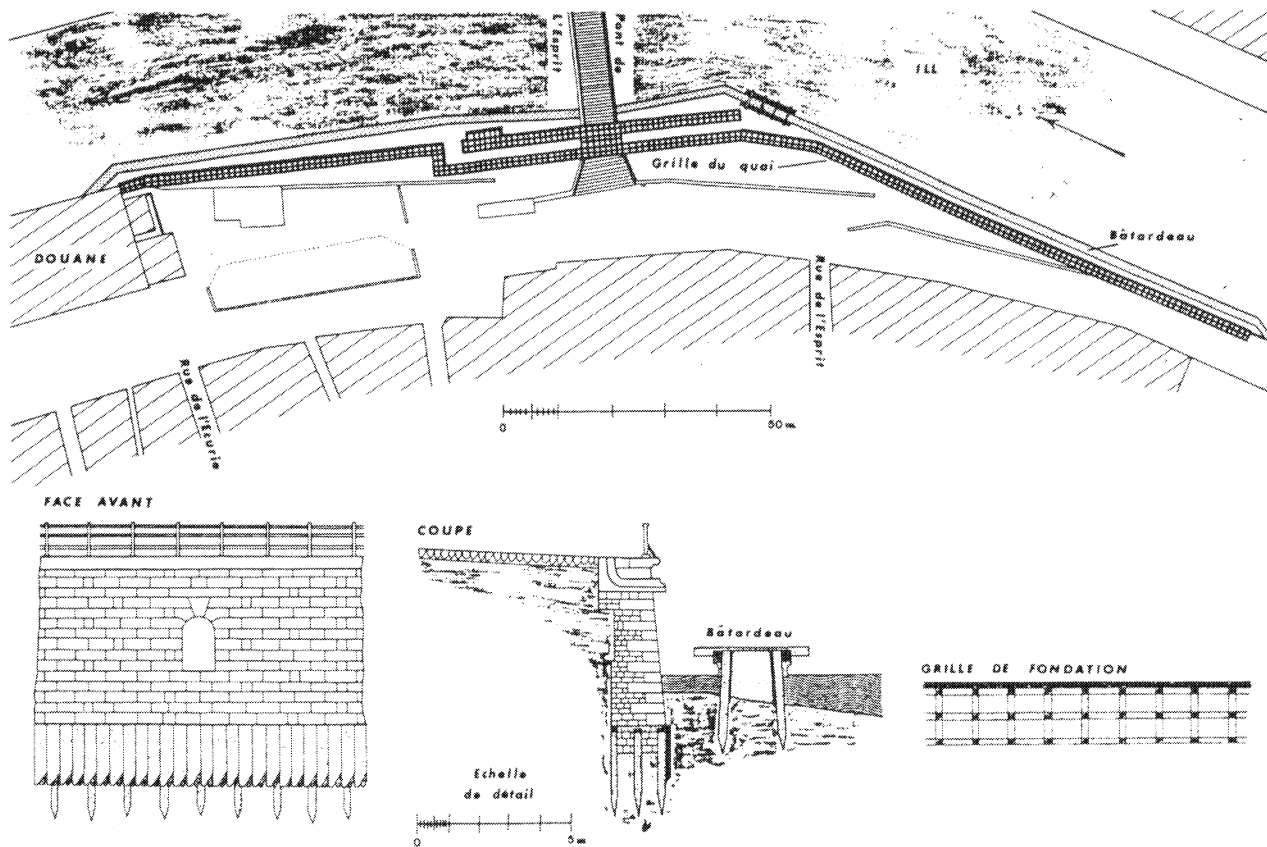
n'est cependant pas encore atteint pour pouvoir les intégrer dans un schéma explicatif et évolutif cohérent. Les quais appartiennent à la même famille de structures que les enceintes.

Sans avoir été aussi systématiques que pour les enceintes, les recherches sur les aménagements de berge tant sur le terrain qu'aux archives n'en ont pas moins été fructueuses. D'après les observations archéologiques, tant pour l'antiquité que pour le Moyen Âge, il semble que pendant longtemps on se soit contenté des berges en terre parfois seulement maintenues par des piquets en bois. C'est le cas de la rive gauche de l'Ille dans l'Antiquité, la seule véritablement occupée ; c'est aussi le cas des fossés et cours d'eau secondaires à partir de l'époque carolingienne ; c'est enfin encore le cas d'une partie de l'Ille à l'époque moderne si l'on en juge d'après les dessins de Wenzel Hollar ou J.-J. Arhardt au XVII<sup>e</sup> siècle (quais de la Petite France et des Pêcheurs, soit à l'entrée et sortie de la ville). L'iconographie du XIX<sup>e</sup> siècle signale aussi de vrais quais en bois formés de poteaux verticaux retenant des planches.

On ignore la date de naissance des quais maçonnés de même que les phases de leur développement. Une pierre commémorant la construction du quai des Bateliers (Ille), entre 1412 et 1423, a longtemps constitué notre plus ancien témoignage. Les fouilles du Tramway viennent d'en fournir un exemplaire daté de 1375 (fossé des Tanneurs). Il faut, par ailleurs, attendre les dessins de Hollar et Arhardt pour être entièrement assuré de la canaïsation du cours de l'Ille au centre de l'agglomération (quais Saint-Nicolas et Saint-Thomas). Presque tous les quais actuels, enfin, ont été construits ou reconstruits au XIX<sup>e</sup> siècle pour accompagner les modifications en profondeur de la navigation (multiplication des canaux, accroissement des gabarits de bateau).

Quant à la typologie, nous ne mentionnerons que pour mémoire les piquets de berge qui ne sont pas des fondations au sens propre du terme puisqu'ils ne répartissent aucune charge verticale. Ces aménagements se composent généralement d'une seule file de piquets de 10 cm de section pour 0,50 m à 1 m de longueur, avec un espacement variant entre 20 et 50 cm, soit au niveau de l'eau soit à mi-pente. Deux cas seulement en diffèrent légèrement. La berge antique (II-III<sup>e</sup> siècle) près de l'actuelle église Saint-Thomas avait été consolidée avec de vrais pieux de 20 cm de section<sup>4</sup> ; la berge de l'Ille datée de 1038 sur le site de la caserne Barbade (et à ce moment là, *extra-muros*) disposait d'une double ligne de piquets entrelacés de branches ou fascines.

Les quais maçonnés, avec deux exemples archéologiques récents, nous retiendront davantage. Le quai de Zürich (place des Bateliers) bordait le Rheingiesen, un canal qui, entre le Moyen Âge et 1860 au moins, servait aux bateaux rhénans à accéder au port sur l'Ille. Un premier aménagement sommaire avec des piquets est réalisé à l'époque carolingienne, le quai lui-même étant construit dans la première moitié du XIII<sup>e</sup> siècle. Il s'agit de fait du dernier tronçon de l'enceinte du noyau urbain : il en a donc toutes les caractéristiques. A



quelques différences près. Le mur a été repris en sous-œuvre (pierres en grès et pilotis) à deux reprises au moins, en 1346 et 1533 ; sa fondation a aussi été complétée par une risberme (une file de pieux) en 1490, réaménagée en 1667.

Le fossé des Tanneurs, dégagé avec le pont du Hibou sur une soixantaine de mètres place de l'Homme de Fer, sans jamais avoir servi à la navigation, n'en était pas moins le principal cours d'eau du centre ville avec l'III. D'origine incontestablement naturelle avec des chenaux datés de - 11 000, - 9 000, - 2 000, il est canalisé d'abord avec des piquets au Xe-XIe siècle puis avec des quais en dur à partir du XIVe siècle. Quatre étapes de construction ou reconstruction ont été observées, 1375 et 1477 pour la rive droite (culée du pont puis mur), 1486 et 1545-1567 pour la rive gauche (mur puis culée). Comme pour le quai de Zürich, une risberme est construite en rive gauche entre 1632 et 1675. L'ensemble de ces quais ressemble à s'y méprendre aux murs d'enceinte évoqués précédemment : la maçonnerie est en briques avec un parement en grès du côté de l'eau et un radier de planches sur pieux. Seule la fondation de la culée de 1549 en diffère avec un grillage de longrines et traversines, de 25 x 15 cm de section assemblées à mi-bois et chevillées.

Une vraie différence réside cependant dans la mauvaise qualité générale de l'ouvrage ainsi que dans les reprises en sous-œuvre : une partie des pierres en grès était délitée, descellée ou remplacée par des briques : la culée de 1375 était aussi fendue de haut en bas dans l'axe du mur en raison sans doute d'un éboulement et de la reconstruction de la voûte du pont.

Fig. 2 Plan, élévation et coupe du projet de reconstruction du quai Saint-Thomas en 1830

(d'après AMS, Administration de la commune, 53/727).

(Document J.J. Schwien)

Selon les sources archivistique de la fin du XVIIIe et du début du XIXe siècle, les quais que l'on projetait (et qui ont vraisemblablement été réalisés) étaient tous du modèle de celui observé pour le fossé des Tanneurs dans sa phase terminale : le grillage de fondation avait pris un caractère systématique de même que la protection contre les affouillements par l'eau, le risberme ayant toutefois cédé la place à un rideau de palplanches (Fig. 2).

La fondation sur pilotis est progressivement abandonnée à partir de 1830 au profit des semelles en béton coulées dans un coffrage en bois. Le premier cas connu d'après les archives et confirmé par les fouilles du Tramway est l'ensemble des quais du fossé du Faux-Rempart. Il est remarquable d'ailleurs de constater que lors de reprises en sous-œuvre d'une partie des murs, au cours du XXe siècle sans doute, l'on ait mis en place des piquets en fer (des cornières de section en LJ de 60 cm de long hors œuvre avec un espacement de 50-60 cm, sous la nouvelle semelle en béton armé.

De l'ensemble de ces informations, on retiendra essentiellement une équivalence entre les fondations des quais et des enceintes puisqu'on observe les mêmes matériaux, le même profil, trapézoïdal, et la même organisation du pilotis. Dans certains cas comme l'enceinte du quai de Zürich, il y a même identité. C'est qu'elles ont une fonction commune qui est de répartir les charges de la poussée des terres de l'arrière vers le vide du fossé ou du cours d'eau nécessitant le même ancrage dans le sous-sol graveleux. Entre 1200 et 1830, cet ancrage s'est fait au moyen d'un radier en

bois. Ce radier évolue globalement d'un simple ensemble de pieux et de planches sous la seule partie externe du mur vers un système complexe de grillage avec ou sans pieux sous toute l'épaisseur du mur ; il est protégé des affouillements par l'eau d'abord par une risberme puis par un radeau de palplanches : sous réserve d'observations de terrain complémentaires et de recherches d'archives plus poussées, la charnière semble se situer au XVII<sup>e</sup> siècle.

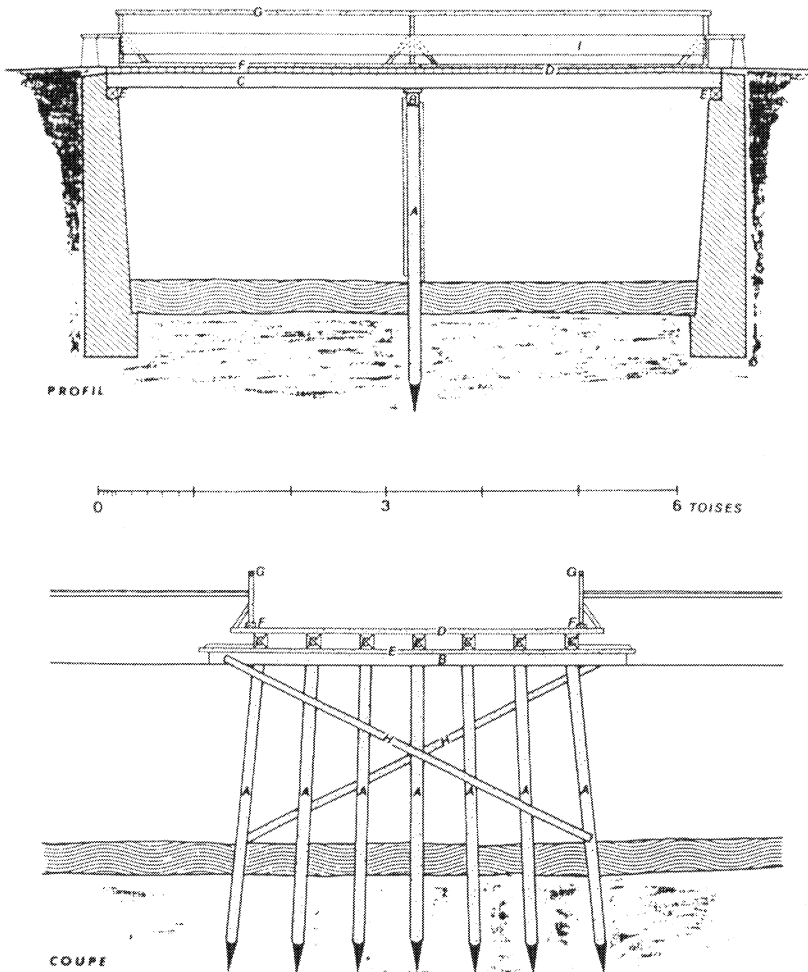
De nature équivalente et avec une évolution du pilotis selon un rythme à peu près similaire, les deux types de structures n'ont cependant pas résisté de la même manière à l'usure du temps. Hormis les cas de récupération de matériaux avant comblement, les enceintes nous sont parvenues dans un état de conservation quasi parfait, y compris celle du XIII<sup>e</sup> siècle pourtant démantelée seulement entre 1780 et 1830. Les quais au contraire, ont fait l'objet de réparations mais aussi d'améliorations incessantes : il est probable que leur plus grande fragilité ait été liée au courant qui animait leur chenal alors qu'à l'inverse, la hauteur d'eau était habituellement réduite dans les fossés défensifs.

Les ponts sont les derniers représentants de cette famille de structures.

Les points de passage de l'Ill (et du Rhin), à l'époque

Fig. 3 Coupe du modèle de pont strasbourgeois en 1769 (d'après AMS, AA 2514).

A : pieux, B : chapeau.  
C : longerons, D : couchis.  
E : couronnement.  
F-G : garde-fou, H : crois  
(1 toise = 1,949 m).  
(Document J.J. Schwient)



romaine, n'ont pas encore été localisés avec certitude. Un seul pont en bois avec trois rangées de trois pieux est connu pour un ancien lit (?) du Rhin Tortu à la Meinau. Les mêmes fouilles ont d'ailleurs mis au jour un autre pont non daté vraisemblablement médiéval ou moderne avec des pieux dont les sabots étaient frappés aux armes de Strasbourg.

A partir du XII<sup>e</sup> siècle, les mentions de ponts se multiplient dans nos sources écrites, tant pour les fossés de fortifications que pour les voies internes à la ville. Le premier nommé est le pont Saint-Thomas en 1197, mais les plus célèbres sont les Ponts-Couverts qui barrent les bras de l'Ill à l'entrée de la ville. Construits vers 1200 en même temps que la première enceinte médiévale, ils ne sont cités qu'à partir de 1300. D'abord en bois, ils sont reconstruits en pierres en 1468, puis à nouveau en bois en 1557, jusqu'aux ponts actuels en pierres qui datent de 1864.

Mais ces mentions sont éparées et d'inégale qualité. Nos informations se précisent seulement avec les premiers plans : sur une vue cavalière de l'architecte Specklin en 1577, on dénombre 52 ponts sur les fossés et cours d'eau de la ville. La première liste complète des ponts strasbourgeois, en 1771, comptabilise, elle, 57 ponts et pontons *intra-muros*, à l'exclusion des fossés de fortification. Ils sont tous en bois, sauf une dizaine qui ont tout ou partie des piles en maçonnerie. Aucun des ponts actuels enfin, tant sur l'Ill que sur le fossé du Faux-Rempart, n'est antérieur au XIX<sup>e</sup> siècle.

En l'absence de références archéologiques, excepté bien entendu le pont du Hibou déjà cité, la typologie est fondée sur les documents d'archives des XVIII<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècles. Deux grandes familles y sont distinguées : les ponts en bois, les plus nombreux, et ceux en pierres.

Un mémoire sur les ponts strasbourgeois fourni par la ville à l'Intendant du Dauphiné en 1769 explique les raisons de cette prédominance du pont en bois encore en plein milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Dans la plaine rhénane, le pont doit répondre à deux fonctions contradictoires, le passage des hommes et l'écoulement des eaux, particulièrement en période de crue. La structure en bois semble la mieux adaptée puisque le tablier peut y être droit au contraire de la voûte maçonnée qui, trop arquée, empêcherait le passage des hommes et, trop surbaissée, entraverait l'écoulement des eaux de crue.

D'après ce mémoire (Fig. 3), le pont-type strasbourgeois est long de 12 m et large de 6 m. Ses culées sont supposées être en maçonnerie. Il se compose de deux éléments essentiels, l'un vertical, la palée, au milieu du cours d'eau, qui sert de support, l'autre, horizontal, d'une rive à l'autre, les longerons, qui sert à la voie de roulement. La palée est formée de 7 pieux en chêne, armés d'un sabot en fer, partiellement enfoncés dans le lit de la rivière au moyen d'un mouton. La stabilité est assurée par une croix en bois et un chapeau. Les longerons, également au nombre de sept, sont des poutres en sapin d'un seul tenant d'une culée à l'autre et reposant sur la palée centrale. La voie de roulement elle-même est constituée de couchis ou planches en sapin.

L'inconvénient des ponts en bois est de nécessiter de constantes réparations. Si les palées en chêne ont une

durée de vie moyenne de 30 à 40 ans, les éléments en sapin s'abiment au contraire très vite : les longerons sont changés tous les 3 à 4 ans, et les couchis deux fois par an. Le sapin a beau être 4 à 5 fois moins cher que le chêne, le coût d'entretien est considérable. La ville, de plus, doit maîtriser le commerce du bois de sapin dont l'essentiel provient de la Forêt Noire (par flottage sur la Kinzig ?).

Les divers plans de construction des ponts strasbourgeois du début du XIXe siècle répondent effectivement à ce modèle de pont en bois mais adapté à la largeur des cours d'eau : le pont reconstruit en 1812 sur les canaux de la Spitzmühle et de la Dinsenmühle en amont de l'Ill mesure 40 m et comporte 4 palées. D'autres exemples pourraient être invoqués, des ponts avec culées en bois comme celui de l'hôpital militaire sur le canal du Rhin en 1845 ou des ponts avec un système de ponts-levis pour permettre le passage des grands bateaux. Mais il ne s'agit à chaque fois que de variantes du même modèle.

Quant aux ponts en maçonnerie, il en existe plusieurs types. Le plus simple est une adaptation du pont en bois avec substitution de piles maçonnées aux palées : le tablier reste droit et en bois. Un exemple est fourni par le pont de l'Esprit (ancien pont Saint-Nicolas)

**Fig. 4** Coupe des fondations du pilier de la flèche de la cathédrale (d'après Will, 1988, Fig. 6). (Document J.J. Schwien)

reconstruit en 1809. Les piles sont en pierres de taille et fondées sur pilotis avec plate-forme en bois. Un autre type est représenté par le pont du Hibou fouillé en même temps que le fossé des Tanneurs : le tablier en bois est construit sur une voûte maçonnée en briques avec parement en grès. Le projet de reconstruction du pont Broglie sur ce même fossé des Tanneurs en 1812 en donne un autre exemple tout à fait similaire. Ce type correspond aux cours d'eau qui ne nécessitent qu'une courte portée et qui ne sont pas navigables.

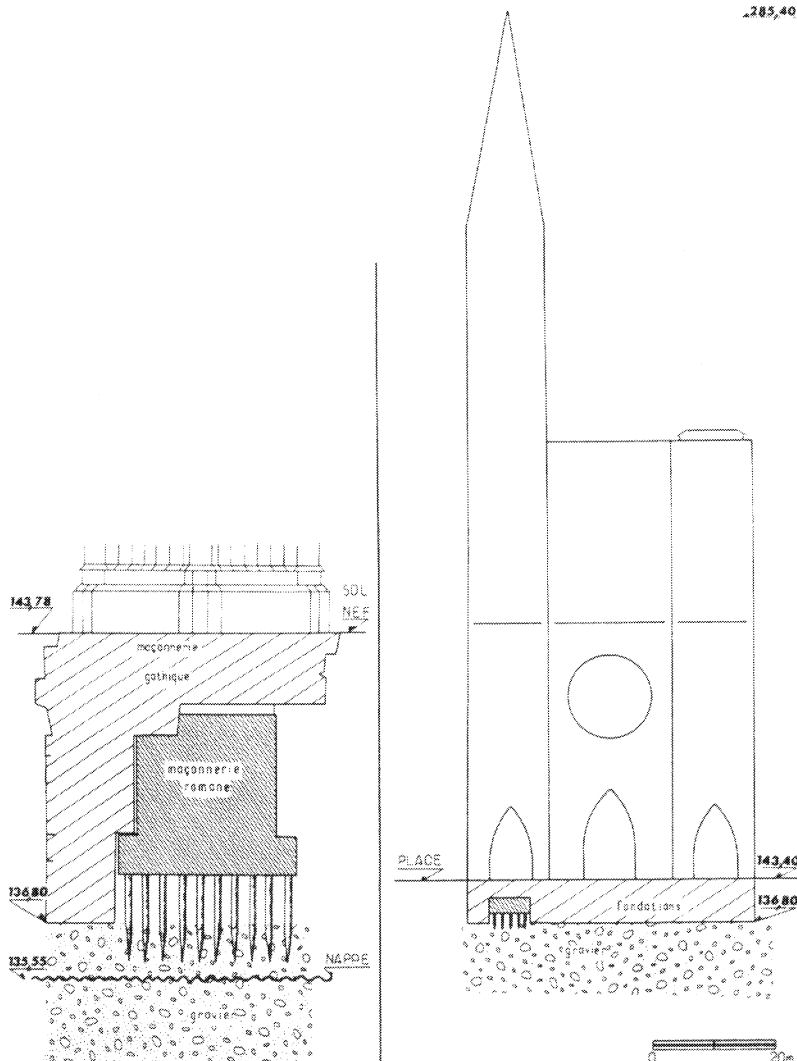
Ces deux types de ponts maçonnés ont coexisté depuis le Moyen Age avec les ponts en bois. Il y manque celui avec plusieurs arches voûtées et piles (absence réelle ou lacune documentaire ?) tout au moins avant 1830. Mais à partir de cette date, de même que pour les quais, la fondation en bois cède aussi le pas au béton.

### Les bâtiments

Le nombre et la qualité des informations sont ici bien moindres, rendant une présentation systématique plus difficile : les fondations sur pieux, tant des bâtiments d'habitation que des églises ou des édifices municipaux semblent en effet rares. Nous évoquerons de ce fait quatre exemples sur la petite dizaine d'observations déjà faites.

La cathédrale tout d'abord. Ce bâtiment prestigieux n'a pas encore fait l'objet de fouilles développées, mais ses fondations ont été observées à plusieurs reprises au cours des deux derniers siècles à l'occasion de travaux en sous-œuvre. L'édifice actuel, construit à partir de 1176, repose sur un double mur, ses fondations propres ayant (partiellement au moins) repris et enchemisé celles de la cathédrale romane du début du XIe siècle (**Fig. 4**). Leur profondeur est très inégale : 5 à 7 m sous le sol actuel (cote 143,80 m NGF), pour la maçonnerie gothique, 5 à 6 m pour celle de l'époque romane. Leur base n'atteint nulle part le gravier mais repose tantôt sur le manteau de sédiments fins naturels (cote moyenne du toit 137,50 m), tantôt sur des couches d'occupation romaines. Pour des raisons qui restent à déterminer, seul l'édifice roman était fondé sur des pieux dont la tête était simplement noyée dans la maçonnerie. La plupart d'entre eux avaient pourri et n'ont été observés qu'en négatif dans le mortier et les couches naturelles. Deux types légèrement différents ont été relevés : dans un cas, le chœur, ils mesuraient 1,45 m pour 18 x 12 cm de section et étaient disposés en rangs serrés ; dans l'autre, le massif occidental, ils mesuraient 2 m de long et 11 cm de section avec un espacement de 40 cm.

Les fouilles de la place des Bateliers, en second lieu, ont livré un autre édifice religieux fondé sur pieux, une chapelle construite vers 1200 et sans doute détruite peu de temps après. Mesurant 12 x 8 m, ce bâtiment disposait d'imposants murs en colombages avec double sablière. Le solin, large de 90 cm pour une hauteur de 70 cm, se composait d'une maçonnerie en briques sur un hérisson de briques, tuiles, mortier et galets concassés. Dans le seul angle conservé, ce solin était lui-même fondé sur un lit uniforme de gros galets





posé sur un ensemble de 35 piquets ou pieux. Enfoncés comme dans le cas de la cathédrale dans le manteau de sédiments fins naturels (à partir de la cote 136,70), ils avaient pourri de même et n'ont pu être relevés qu'en négatif : d'un diamètre de 10 à 20 cm, ils mesuraient 70 à 85 cm de long avec un espacement de 5 x 20 cm.

Un troisième exemple est fourni par les fouilles du Tramway (place de l'Homme de Fer). Seul l'angle de cette maison d'habitation en briques fondé sur un grillage et pilotis daté de 1775 a été observé. Les pieux enfoncés dans le manteau de sédiments fins à partir de la cote 137,40 m NGF, étaient parfaitement conservés : de section carrée (15 x 15 cm), ils mesuraient 1 m de longueur en moyenne. Disposés sur trois rangs, ils étaient espacés de 30 à 40 cm dans le sens de la largeur du mur et de 50 cm dans le sens de la longueur. Le grillage cloué sur ces pieux avait totalement pourri et n'apparaissait qu'en négatif dans la semelle de mortier qui avait servi à l'ennoyer. Les traversines mesuraient 1,10 m (soit toute la largeur du mur) pour 20 cm de large et 7 cm d'épaisseur. Il semble qu'il n'y ait eu que deux longrines, des planches larges de 40 cm et épaisses elles aussi de 7 cm : les pieux de la file médiane étaient soit absents, soit directement liés à la maçonnerie. D'après les minutes du plan-relief de la ville de 1836, ce bâtiment comportait 4 niveaux d'habitation et 2 combles pour une hauteur totale de 24 m.

Le dernier exemple, la caserne Barbade construite en 1788, a l'insigne avantage sur les précédents de comporter à la fois des observations de fouilles et un dossier d'archives de construction complet. Le bâtiment mesure 70 x 20 m et 24 m de haut, hors-sol, et possède 4 niveaux d'habitation et 2 combles. Il est construit entièrement en moellons de grès. Ses fondations, outre les murs extérieurs, comportent un mur de refend dans le sens de la largeur. Leur profondeur est de 4 m sous le niveau du sol actuel. Construits sur arceaux, ces murs de fondation ont 1,35 m d'épaisseur pour les extérieurs et le refend longitudinal, 0,75 m pour les cloisons. Les pieux sont expressément mentionnés dans le devis : d'après les plans du projet, il y en avait 876 disposés sur trois rangs et en quinconce, tant pour les murs extérieurs que pour les "piles" de fondation des arceaux. La rapidité des travaux de démolition et les difficultés liées à la présence de la nappe phréatique n'ont pas permis d'étudier complètement le système en place. On a noté toutefois pour une partie des piles la conformité rigoureuse entre les plans du devis et leur réalisation. Une dizaine de pieux extraits mesuraient entre 1,90 à 3,00 m et avaient un diamètre de 17 à 25 cm. Il s'agissait de troncs bruts en chêne en parfait état de conservation avec leur aubier et écorce. A part un léger trou conique au centre, leur tête horizontale et lisse ne comportait aucune trace des outils, écrasement par le mouton ou cerclage de protection, qui ont permis de les enfoncer : il faut supposer un recépage postérieur. L'espace entre les pieux était noyé de mortier et de gros fragments de briques sans doute coulés dans un coffrage de planches dont une au moins a été relevée *in situ*. Le tout était surmonté de deux assises de pierres de taille de dimen-

sions imposantes et d'une largeur maximale de 1,50 m. L'ensemble de cette semelle était plus large que le mur lui-même.

De l'ensemble de ces observations, il résulte un certain nombre de lignes de force : les pieux ont des sections variables, certains se rapprochant même du piquet ; leur espacement est tantôt lâche tantôt serré ; leur tête est généralement noyée directement dans la maçonnerie sans plate-forme intermédiaire ; leur niveau d'enfoncement habituel est le manteau de sédiments fins, soit 1 à 2 m au-dessus de la nappe phréatique avec pour conséquence un pourrissement à plus ou moins long terme ; enfin, leur emploi déjà rare en soi peut aussi être discontinu pour un même bâtiment.

A considérer tous ces caractères, il apparaît que ce pilotis n'assure pas la même fonction que pour les quais et enceintes, alors qu'ici il reprenait principalement des poussées latérales, il sert là à compacter avant tout un milieu plastique, argilo-limoneux, pour éviter le fluage ou tassement différentiel des maçonneries. Cette explication d'ordre général ne résout cependant pas toutes les questions, en particulier l'irrégularité de leur présence. Plusieurs paramètres ont dû jouer, ensemble ou séparément : le niveau social du constructeur, la taille du bâtiment, la chronologie : rôle des ingénieurs militaires à partir du XVI<sup>e</sup> siècle, la localisation par rapport aux cours d'eau et aux anciens marécages. En raison du très petit nombre d'observations, il n'est pas possible de trancher.

### Les puits et les fosses

Nous retrouvons ici un secteur largement documenté par les fouilles.

La ville antique disposait de trois sources d'approvisionnement en eau, les eaux de surface, une source située à 25 km de là et la nappe phréatique. Le rôle réel de la première n'est évidemment pas connu. La seconde, transportée par une double canalisation en terre cuite, était probablement réservée aux thermes. La troisième était exploitée par des puits. Ceux-ci, curieusement, n'étaient pas répartis également dans l'agglomération : quasi absents du camp légionnaire et du quartier "résidentiel" des officiers et négociants, ils se concentraient dans le secteur des artisans et petits commerçants. Il est impossible pour le moment de trancher entre le hasard des fouilles ou un usage particulier.

La situation à la fin du Moyen Âge et à l'époque moderne est différente : la nappe phréatique devient la première source d'eau potable. D'après les sources écrites, il y avait au moins 23 puits publics au XIII<sup>e</sup> siècle, 130 vers 1500, 140 vers 1700, gérés d'ailleurs par deux agents municipaux spécifiques, les Brunnenmeister. Toutes les fouilles un tant soit peu développées en découvrent de même abondamment dans les anciennes cours, jardins voire caves.

D'après une trentaine d'exemplaires attestés et hormis quelques cas problématiques, les puits antiques étaient construits avec des tonneaux de récupération dont on enlevait les fonds. Mesurant 1,80 à 2 m de haut pour 70 à 90 cm de diamètre, soit une contenance de 800 à 1200 l, seul le quart inférieur était situé dans la nappe phréatique actuelle : le reste ayant généralement

pourri, la forme complète ne nous est donnée que par la tranchée de fondation. Dans deux cas au moins et sans raison apparente (place de l'Homme de Fer), le conduit était formé de deux tonneaux imbriqués et rigoureusement contemporains, sorte de structure gigogne dont l'élément intérieur plus étroit était aussi plus profond de 50 cm ; le fond y était tapissé de gros galets rapportés servant sans doute à éviter de puiser le sable graveleux du substrat en même temps que la nappe. L'aménagement du conduit au-dessus de ces tonneaux de même que la forme d'une éventuelle margelle restent inconnus.

Les puits médiévaux et modernes sont tout à fait différents : leur conduit en briques ou en pierres en grès appareillées à sec, sans doute pour faciliter les infiltrations latérales, est fondé sur un rouet plus ou moins élaboré. La morphologie des conduits de forme circulaire, et de 1 m de diamètre en moyenne, est extrêmement variable. Les briques sont soit fabriquées spécialement soit réemployées : dans le premier cas, et semble-t-il uniquement au XVe et au XIXe siècle, elles ont une forme incurvée avec 10 briques par assise ; dans le second cas, surtout au XVI et au XVIIe siècle, les briques sont posées alternativement par assises à plat et de chant. Les conduits en grès sont façonnés de même avec des moellons en réemploi ou des éléments

taillés spécifiquement. Ces derniers, de petite taille et avec marques de pose aux XVe-XVIIe siècles, évoluent vers de grandes dalles aux XVIIe-XVIIIe siècles ; le puits de la caserne Barbade en 1788, par exemple, comportait 5 assises de 3 ou 4 dalles chacune, de 1,10 à 1,30 m de haut et 12 cm d'épaisseur, avec un extradoss grossièrement taillé et un intrados à finition soignée et lisse. Les variantes et cas hybrides, briques et grès pour un même conduit, sont presque aussi nombreux que les chantiers de fouilles. Au contraire de l'époque romaine, ces conduits sont construits jusqu'au sol de l'époque, entre 4 et 8 m au-dessus de la nappe phréatique. Les margelles quant à elles ne sont guère connues que par l'iconographie.

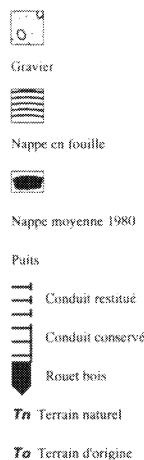
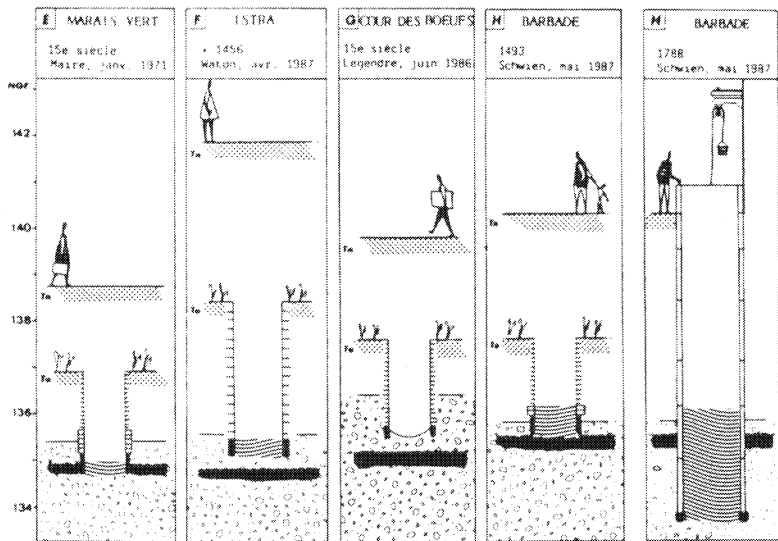
A la variété des conduits s'oppose l'uniformité des rouets dont deux types principaux seulement ont été observés. Le premier, spécifique du XVe siècle, est le plus complexe avec 3 assises superposées. La plus basse est un carré de quatre poutres assemblées à mi-bois et chevillées ; leur face inférieure est taillée en biseau pour faciliter leur mise d'aplomb dans le gravier. La seconde est identique, sans le biseau, et chevillée à la première. La dernière, chevillée de même sur la précédente, se compose de quatre pièces de longueur inégale dont l'extérieur forme un octogone irrégulier et l'intérieur un cercle. L'ensemble, de 1,20 à 1,30 m de côté et 60 cm de haut, est inscrit dans un coffrage de construction de une à deux planches superposées dont la plus basse, elle aussi biseautée, est maintenue par des piquets intérieurs. Dans le second cas, le rouet ne comporte qu'une assise de plan circulaire avec quatre ou cinq éléments de section trapézoïdale, aux angles inférieurs biseautés, assemblés à tenon et mortaise ou à mi-bois et chevillés.

La profondeur d'enfouissement de ces rouets dans la nappe phréatique actuelle est très inégale, parfois légèrement au-dessus, le plus souvent à 50 cm en moyenne en-dessous (cote de la partie supérieure) ; seul le puits de la caserne Barbade de 1788 était franchement dans la nappe, à près de 2,40 m sous le niveau en cours de fouilles (Fig. 5). En raison de la variabilité du toit de cette nappe, il est difficile d'estimer la hauteur d'eau utile dans les puits médiévaux. Grâce aux sources écrites, nous sommes mieux outillés pour l'époque moderne et contemporaine. Selon le devis du puits de la caserne Barbade, celui-ci devait être assez profond "pour que dans les plus basses eaux, il s'y trouve toujours 3 pieds (87 cm) d'eau vive" : la fouille a montré que l'entrepreneur a presque triplé cette valeur. Par ailleurs, une enquête sanitaire publiée en 1864 a calculé une hauteur d'eau moyenne de 94 cm dans 21 puits strasbourgeois.

Les archéologues désignent sous le terme de "fosses", des structures en creux dans le sol aux fonctions diverses et pas toujours connues avec certitude : extraction de matériaux (torchis, terres à poterie), stockage (silos, glaciers), hygiène (latrines, dépotoirs). Leur point commun, d'ailleurs également avec les puits, est d'être comblées avec des objets usagés ou cassés, des résidus de foyers, divers remblais de terre, des matériaux de démolition...

Les fosses les plus simples, de l'Antiquité aux XIIIe-

Fig. 5 Coupes schématiques d'un ensemble de puits médiévaux et modernes. (Document J.J. Schwien)



XIVe siècles, sont aménagées à même la terre. Les conduits revêtus de bois ou de briques, en dépit de quelques exemples romains ou du début du Moyen Age, ne deviennent la forme prépondérante qu'à partir du XIVe siècle. Dans le même temps, le champ des fonctions possibles se restreint au stockage, en utilisant la fraîcheur de la nappe phréatique, soit 8° de température constante, et surtout aux latrines, avec la possibilité de les curer régulièrement. Vu le nombre de ces structures découvertes en fouilles, chaque unité d'habitat pouvait dès lors disposer d'une de ces latrines au moins. Elles seront progressivement remplacées par des fosses en béton mais aussi un réseau d'égouts au XIXe siècle.

Trois types de fosses revêtues ont été observées pour le moment. Nous mentionnerons seulement pour mémoire les fosses en bois, antiques et médiévales, de plan carré aux planches maintenues par des poteaux d'angle et les fosses-tonneaux des XIII-XIVe siècles, qui se situent généralement 1 à 2 m au-dessus de la nappe phréatique. Les structures en briques, les plus nombreuses, comportent deux modèles légèrement différents. Le premier est formé de fosses quadrangulaires aux parois maçonnées, d'environ 2 m de côté et de 3 à 6 m de profondeur entre le sol de l'époque et la nappe phréatique : ces trois parois généralement obliques, avec la plus grande ouverture vers le haut, et fondées directement sur le gravier à fleur de nappe phréatique, présentent presque toujours des trous de boulins (de construction ?). Le second s'en différencie seulement par des parois verticales et surtout une fondation en bois, à savoir une assise de quatre poutres assemblées à mi-bois et chevillées, dans la nappe phréatique.

Les puits, par définition, sont creusés jusqu'à la nappe phréatique. Afin de retenir les terrains graveleux et de disposer d'un certain volume d'eau libre, différents moyens ont été employés. L'aménagement le plus sommaire est le tonneau antique : il se justifie parce que la nappe n'était qu'à 2 ou 3 m sous la surface du sol. Au Moyen Age, par contre, avec un terrain qui s'était surélevé par endroits de 2 à 4 m et, qui plus est, avec des remblais d'origine anthropique, était instable, un conduit plus élaboré s'est avéré nécessaire. Il aurait pu être en bois mais les briques et le grès avaient l'avantage de pouvoir durer sans trop d'entretien. Selon la période et le rang social du constructeur, ce conduit a été réalisé avec divers matériaux et modes de construction ; tous par contre se devaient d'avoir une fondation en bois ou plus précisément une sorte de charpente aux éléments solidaires et indéformables facilitant la pose d'aplomb des premières assises tout en reprenant les poussées latérales sur l'extrémité la plus fragile du conduit, celle soumise aux affouillements de gravier lors du puisage. C'est pourquoi sans doute les conduits du XVe siècle, édifiés avec de petits modules, briques ou moellons, donc plus enclins à se désolidariser, disposaient de rouets complexes. A l'opposé, les grandes dalles en grès quasi autobloquantes du XVIIIe siècle craignaient moins cette déformation latérale : un simple rouet d'assise pouvait donc suffire, voire, selon un exemple observé place de l'Homme de Fer ne nécessitaient pas de rouet du tout.

Quant au rôle des fondations en bois pour les fosses atteignant le toit de la nappe, il est plus malaisé à définir dans la mesure où la fonction n'est pas toujours bien assurée. L'on proposera donc seulement pour le moment une hypothèse de travail. Un tel aménagement semblait superflu pour les latrines dans la mesure où leurs parois étaient maçonnées et où la nappe n'y affleurerait pas en temps ordinaire à l'état libre ; les "glacières" au contraire pouvaient craindre les effets des affouillements.

#### **Les matériaux et leur mise en oeuvre : aspects économiques et techniques de construction**

L'écrasante majorité de ces bois de fondation est en chêne, à quelques variantes près : le pin et le sapin pour deux murs de cave (Tramway, rue de la 1ère Armée), l'orme, l'aune, le noisetier et le prunier pour une partie des piquets de berge. Seuls les puits et les fosses maçonnées font réellement exception avec l'emploi systématique du résineux, le sapin et, pour l'un des puits-tonneau de la place de l'Homme de Fer, l'épicéa.

La façonnage et l'âge à l'abattage des bois est évidemment fonction des dimensions requises et de leur rôle dans la fondation.

Les pieux sont généralement grossièrement équarris avec une pointe, normalement sans sabot de protection, du tiers de la hauteur totale : il s'agit de troncs ou branches ayant conservé leur aubier ou écorce. Dans un seul cas, une maison de la rue de la 1ère Armée, les pieux fendus dans un tronc dans le sens de la hauteur étaient de section triangulaire. Avec 20 cm de diamètre en moyenne, ils ont entre 40 et 200 ans à l'abattage, soit autant de cernes de croissance : la moyenne tant pour les enceintes que pour les quais se situe autour de 70 ans. Les archives techniques des ponts et quais pour les années 1800-1820 apportent quelques précisions, parfois en contradiction avec les observations archéologiques, sur la qualité de ces pieux : ils doivent être d'ancienne coupe et bien secs, de droit fil, sans mauvais noeuds, purgés de l'aubier, équarris à vive arête, à la hache ou au cordeau, pour les parties hors terre, les bois arrachés par le vent sont interdits ; la plupart sont protégés par un sabot en fer tiré des forges vosgiennes.

Les planches des plates-formes et grillages ainsi que les rouets sont bien évidemment travaillés autrement, avec des arêtes bien vives. Leur section n'étant pas très différente de celle des pieux, leur âge moyen à l'abattage converge : 80-90 ans pour les planches, 70 ans pour certains rouets, 70 ans pour les douves de puits-tonneau. Les seuls éléments vraiment différents sont ici les piquets de berge, des bois extrêmement jeunes avec une vingtaine d'années en moyenne.

Les quantités nécessaires sont impressionnantes, tout au moins en ce qui concerne les enceintes et quais. Selon le devis de construction d'un bastion dit "Lug-in-Land" en 1672, 1550 pieux sur 5 rangs sont demandés pour 100 m de murs ; ils sont au nombre de 700 sur 3 rangs par tronçon de 100 m dans le projet de reconstruction du quai Saint-Thomas en 1812. A partir des observations archéologiques, l'on arrive à des chiffres

avoisinants : 400 pieux espacés de 50 cm en moyenne sur 2 files avant 1500, 1000 unités sur 5 rangs entre 1630 et 1680. Les trois enceintes médiévales (12 km) et le système bastionné (6,40 km) auraient ainsi dévoré 480 000 et 640 000 pieux. Et il s'agit là d'une estimation qui ne prend pas en compte les contrescarpes, les ouvrages d'art, les risbermes et les réparations.

Cette mise en œuvre d'énormes masses de bois génère sans aucun doute un secteur d'activité économique sinon prospère du moins organisé : exploitation, coupe, transport, façonnage. Malheureusement, ces activités ne semblent guère avoir laissé de traces dans les archives, y compris dans les devis et autres documents techniques de l'époque moderne <sup>7</sup>. Il est ainsi impossible de savoir, à l'heure actuelle, d'où venaient ces bois : les rares mentions nous orienteraient plutôt vers la Forêt Noire. D'après les observations de terrain, par contre, le ried rhénan avec un écosystème favorable à la croissance du chêne n'est pas à exclure : les pieux prélevés à Strasbourg témoignent tous d'une croissance rapide en bordure d'eau et avec des individus espacés les uns des autres <sup>8</sup>.

Pour les mêmes raisons que plus haut, la valeur de cette matière première n'a pu être mesurée avant la période contemporaine. Le devis de la caserne Barbade en 1788 estime à 9000 livres, pour un montant total de travaux de 220 000 livres, le coût du pilotis, soit 4 % du prix, mais sans préciser la part du matériau et de sa mise en œuvre. L'avant-métrage des travaux pour un petit tronçon du quai des Bateliers en 1853 évalue quant à lui l'achat et la mise en place de 140 pieux avec sabots et grillage à 4 500 FF, soit 5,6 % d'un total de 80 000 FF de travaux.

Quant à l'étude des techniques de construction, la mise en place de fondations profondes suppose des investigations en sous-sol ainsi que des techniques permettant de retenir les eaux de surface ou de rabattre la nappe phréatique en cours de travaux. Seuls les documents d'archives des XVIIIe-XIXe siècles tels le rapport de construction de la caserne Barbade pour les sondages préalables et les devis ou avant-métrages de travaux de quais mais aussi moulins et écluses pour les travaux dans l'eau en donnent un aperçu complet. Tardifs, ils ne peuvent être transposés sans précaution au Moyen Age mais n'en constituent pas moins notre seul corpus "ethnographique" pour les constructions sur pilotis avant l'ère industrielle.

En ce qui concerne la caserne Barbade, le devis décrivait précisément la nature de tous les ouvrages à réaliser. Les fondations sont traitées dans l'article 3.

"Les fondations du dit corps de caserne sont fixées à 10 pieds (de France, soit 3,24 m) de profondeur au-dessous du niveau du seuil de la grande porte du magasin de l'écluse (barrage Vauban). Si à cette profondeur, le terrain n'est pas propre pour asseoir la fondation, il sera creusé jusqu'à la rencontre du solide et bon fond (le gravier). S'il ne s'en trouve point, il sera fait un pilotage en bois de chêne : chaque pilot aura 8 pouces d'équarrissage (21 cm) et sera enfoncé jusqu'au refus d'un poids battu par 8 hommes. Ladite fondation sera composée de trois rangs de pilots plantés en échiquier, lesquels seront espacés de 3 pieds en 3 pieds (97 cm).

Sera ensuite déblayé toutes les mauvaises terres qui se trouveront entre les dits pilots pour être remplacées par une bonne maçonnerie sur laquelle sera posée deux assises en dalles de 6 pouces d'épaisseur".

Le rapport de l'officier du Génie militaire chargé des travaux de fondation explique, lui, les étapes et les difficultés rencontrées en cours de réalisation. Il vaut d'être cité pour ses informations sur la connaissance du sous-sol strasbourgeoise et les méthodes d'investigation à la fin du XVIIIe siècle.

"...Le déblai fait le 10e jour du mois de mai (1788) d'une grande partie des fondations de la face opposée au rempart des dites casernes, le terrain en fut sondé au moyen d'une tarière d'environ 9 pieds de longueur et il fut reconnu par sa nature devoir assujettir indissolublement à un pilotage qui, pour être établi avec solidité exigeait d'avoir la tête enfoncée d'un pied en-dessous des plus basses eaux de la rivière d'Ill. Conséquemment, après avoir vérifié moi-même le nivellement de ces fondations comparées à la hauteur du seuil du magasin aux vivres au-dessus de l'écluse 110, m'être assuré que la supériorité de ce seuil au-dessus des plus basses eaux de la rivière était de 12 pieds 3 pouces 6 lignes (3,97 m), et que les fondations de cette partie de face avaient été creusées à 13 pieds 3 pouces 6 lignes (4,29 m), il fut unanimement arrêté et convenu que cette profondeur serait suffisante et qu'elle serait généralement observée dans toutes les fondations des murs dépendant de ce bâtiment.

Ces opérations préparatoires faites, on commença la plantation des pilots avec des moutons à bras de poids d'environ 190 livres pesant et manoeuvrés avec 8 hommes. Mais 16 pilots depuis 4 jusqu'à 6 pieds de longueur (1,30 à 1,95 m) plantés suivant ce procédé à la distance de 3 pieds de milieu en milieu, ainsi qu'il est spécifié dans le devis, ayant enfoncé avec trop de facilité dans ce terrain, je fis faire une nouvelle fouille en présence de M. de Favart, maréchal de camp et chef de district de la brigade de Strasbourg au corps royal du Génie, de M. de Rochelle, officier au même corps partageant avec moi la conduite de ces travaux et M. Boudor, architecte de la ville. Les résultats ne donnèrent que depuis 3 jusqu'à 5 pieds de profondeur le gros gravier pur, nature de terrain sur lequel l'expérience faite depuis longtemps à Strasbourg prouve qu'on peut s'établir avec sécurité. Il fut dès lors définitivement résolu qu'on donnerait au pilotis 4 pieds de fiche au moins dans ce pur gravier ; que pour cet effet, on substituerait aux moutons à bras des moutons à sonnettes que M. de Manson, commandant des arsenaux de cette ville, voulut bien prêter à ma demande ; que tous les pilotis auraient dorénavant depuis 7 jusqu'à 12 pieds de longueur (2,26 à 3,88 m) ; qu'on en planterait un entre deux dans l'intervalle des seize déjà enfoncés ; que pour plus grande solidité, ceux sous les quatre angles du bâtiment seraient depuis 9 jusqu'à 12 pieds de longueur (2,90 à 3,88 m) suivant les diverses circonstances du terrain et à 18 pouces d'intervalle (48 cm) entre chaque...."

On retiendra de ce texte que l'ingénieur recherchait explicitement le gravier rhénan pour la base des fondations parce qu'il constituait l'assise idéale. Les pieux ne

s'imposaient que dans le cas où ce gravier serait trop profond. La base de référence devenait alors le plan d'eau de l'ill, vraisemblablement pour obtenir une immersion constante et éviter leur pourrissement : le bâtiment étant situé à une vingtaine de mètres de la berge, cette démarche suppose qu'on avait déjà observé une corrélation entre le battement de la nappe phréatique et le niveau de la rivière.

Les données de fouilles archéologiques ont permis de vérifier le contexte réel de ces travaux de fondation. Le bâtiment ayant été édifié perpendiculairement au fossé de l'enceinte de 1474 (large de 23 m), la stratigraphie se compose de deux profils principaux. Dans le fossé, on a observé de bas en haut le toit des graviers rhénans (surcreusés) à 135 m NGF, une couche de vase (30 à 50 cm) et un comblement meuble entièrement anthropique (tuiles, briques et mortier). A l'extérieur, entre les graviers à 136 m NGF et les couches anthropiques superficielles étaient conservés des sédiments fins naturels (limon et sable) épais de 1,50 à 2,00 m. La tête des pieux se situait partout à la cote de 136-136,20 m NGF soit au niveau du toit de la nappe phréatique au moment des fouilles (juin 1986). On peut en déduire que l'officier qui a rencontré le gravier à 1,00-1,50 m sous le fond de fouilles, avait effectué son sondage dans l'ancien fossé.

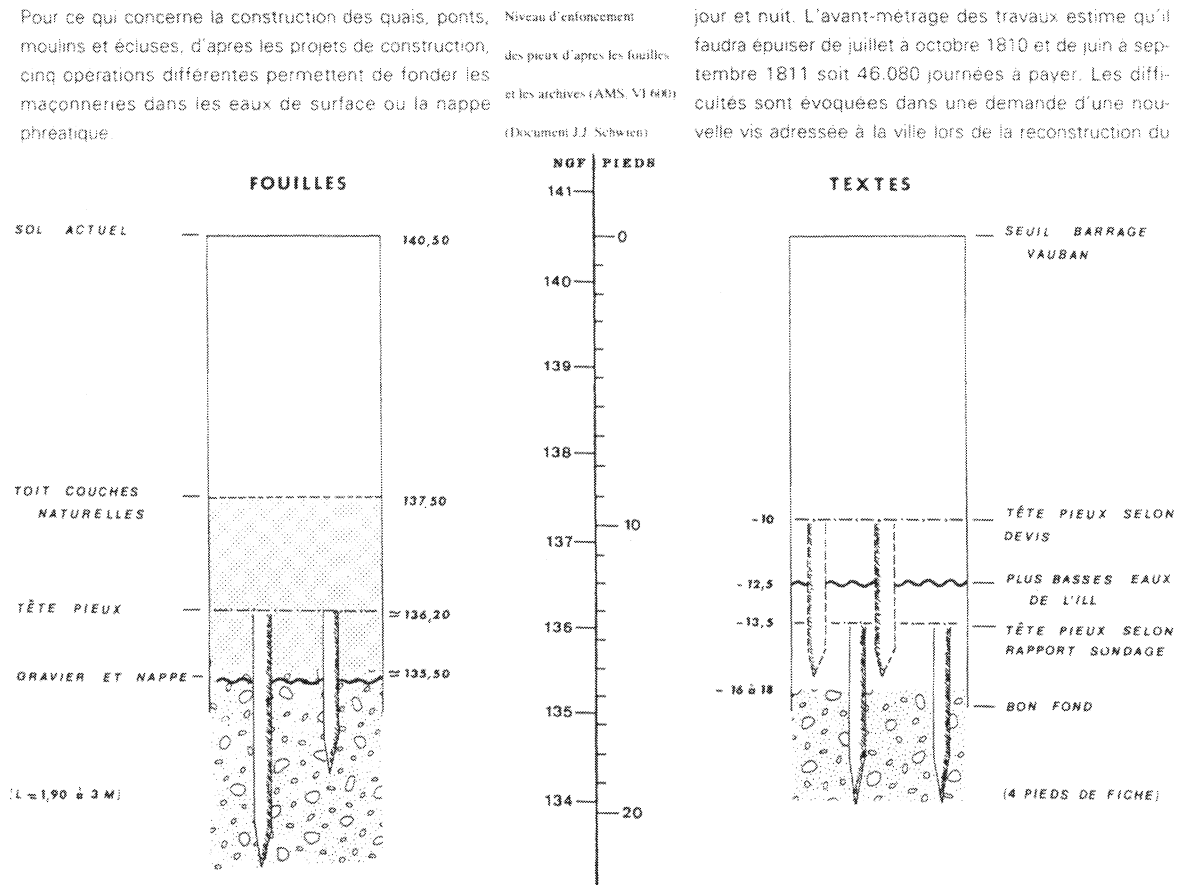
Ces observations stratigraphiques s'accordent bien avec les documents d'archives (Fig. 6) : les altitudes en valeur absolue des devis et rapports de fondation peuvent prendre pour point d'origine le sol actuel à 140,50 m NGF qui était déjà celui du seuil de l'écluse 110 au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Pour ce qui concerne la construction des quais, ponts, moulins et écluses, d'après les projets de construction, cinq opérations différentes permettent de fonder les maçonneries dans les eaux de surface ou la nappe phréatique

En premier lieu, les batardeaux permettent de retenir l'eau de la rivière et de travailler au sec. Il s'agit d'une sorte de digue de forme polygonale pour les piles de pont et longitudinale pour les quais. Etabli à une certaine distance, jamais chiffrée, de l'ouvrage à construire, leur niveau supérieur est à pieds (1,15 m) au-dessus des eaux ordinaires. Leur nature n'est pas toujours précisée : on peut supposer qu'il en existe de fort simples formés d'une seule file de pieux et de palplanches qui ne nécessitent aucun commentaire. Certains toutefois sont plus élaborés. Deux files de pieux, espacées de 2 m environ et maintenues par des tenailles en bois sont revêtues, à l'intérieur, d'un rideau de palplanches. L'espace entre les deux files est rempli de terre glaise bien battue et damée pour qu'aucune eau ne puisse suinter. Ces pieux sont généralement très longs : 6 m pour le quai Saint-Thomas en 1810. Ils sont en sapin, de même que les palplanches. Pour le même quai Saint-Thomas, la ville a loué deux bateaux pendant 84 jours pour les échafaudages nécessaires à l'enfoncement de 434 pilots. Les devis et avant-métrages précisent souvent que ces batardeaux doivent être démontés après les travaux.

L'eau est ensuite épuisée (pompée) à l'abri de cette digue, le plus souvent avec une vis d'Archimède, parfois avec un chapelet (une chaîne avec des godets ?) On n'épuise pas seulement l'eau de la rivière mais aussi la nappe phréatique, appelée les sources par les textes, tout le temps que durent les travaux de fondation. Ceci explique la longueur et les difficultés de cette opération. Pour le quai Saint-Thomas en 1810, on utilise 6 vis qui exigent un relais de 8 hommes par vis, soit 32 jour et nuit. L'avant-métrage des travaux estime qu'il faudra épuiser de juillet à octobre 1810 et de juin à septembre 1811 soit 46.080 journées à payer. Les difficultés sont évoquées dans une demande d'une nouvelle vis adressée à la ville lors de la reconstruction du

Fig. 6 Caserne Barbade, 1788.



Pont-Neuf, actuel pont Sainte-Madeleine. L'épuisement du batardeau de la pile se fait au moyen des deux grandes vis d'Archimède appartenant au Génie militaire. Elles ne permettent qu'une diminution de l'ordre de un mètre à cause des nombreuses "sources" mais aussi du mauvais état de l'une des vis. On l'a certes remplacée par une troisième vis qui appartient à la ville et qui avait déjà servi lors de la construction de la cuée. Mais ces trois vis ne suffisent toujours pas pour descendre à la profondeur exigée. La quatrième vis, enfin, qui avait servi au revêtement du quai est depuis longtemps hors service.

La première véritable opération de construction est l'enfoncement des pieux. Dans certains cas, elle est précédée de travaux de terrassement pour abaisser le niveau de fondation. Au quai Saint-Thomas en 1810, on "excave les terres dans l'eau" sur une largeur de 4 m et une profondeur de 2 m.

Les pieux sont enfoncés ou battus avec un mouton dont le poids est variable, en raison sans doute de l'importance de la difficulté, longueur du pieu, nature du sol ; il pèse 500 à 600 livres, parfois jusqu'à 400 kg. Les textes distinguent entre les sonnettes à bras et les moyennes sonnettes, ces charpentes qui permettent de guider le mouton, sans qu'il soit possible de définir leur puissance respective. Ils sont toujours battus à refus de mouton c'est à dire lorsqu'ils ont éprouvé 30 à 36 coups sans enfoncer. La tête du pieu doit être coupée d'équerre de manière à recevoir le coup de mouton bien aplomb. Parfois, le pieu est recépé, recoupé et remis à niveau, après le battage, pour éviter d'avoir des plates-formes bombées. Généralement enfoncés droits, certains doivent être inclinés du côté des terres pour mieux résister à leur poussée. Le rythme d'enfoncement est variable selon leur longueur et la nature du sous-sol. D'après le Mémoire des ponts de 1769, il faut entre 2 et 4 jours à 26 hommes pour une palée de 7 pieux longs de 7,80 m. Pour les pieux des quais, plus courts, le rythme est sans doute plus rapide.

Sur ces pieux, on cloue généralement une plate-forme ou, plus précisément, un grillage en chêne. Ses poutres, longrines et traversines, ont 20 cm de section et sont assemblées à mi-bois et queue d'aronde à la rencontre de chaque pieu. Leur bois doit être de même qualité que les pieux. Dans certains cas, on pose encore sur ce grillage une plate-forme supplémentaire faite de madriers assemblés à joints plats et fixés sur les longrines par de fortes broches.

Le cas tout à fait exceptionnel de l'écluse du Rhin au XVIIIe siècle doit être cité en entier parce qu'il montre quel soin on pouvait apporter aux fondations sous l'eau. Le devis concerne la construction du fond, les techniciens actuels parleraient de plafond, de l'écluse qui doit vraisemblablement être étanche aux entrées d'eau autres que celles des vannes pour une meilleure efficacité : "Au-dessus du grillage, on posera un plancher de sapin de 3 pouces (8 cm) d'épaisseur. Elles seront mises dans un lit de mortier fin de quelques lignes (1 cm) au-dessus du grillage pour que, quand elles seront arrêtées, le mortier sorte et gonfle par les joints afin qu'il ne reste aucun vide sous le plancher.

Les planches seront bien jointes les unes aux autres et chevillées par des clous ébardés (sans bavures) de 7 à 8 pouces (21 cm) de long et de 6 lignes (1,3 cm) d'épaisseur, entortillés dans le milieu d'un peu d'étope pour ne laisser aucun passage à l'eau. Les trous seront percés avec une tarière de 5 lignes (1,1 cm) de diamètre seulement afin de les enfoncer à force.

Après avoir calfaté les joints du premier plancher, on y brûlera de la paille pour la faire sécher et on goudronnera toute sa superficie sur laquelle on étendra un lit de 3 lignes (0,6 cm) d'épaisseur de la plus fine mousse de marais. On y posera ensuite le second plancher de bois de chêne de 3 pouces d'épaisseur qui sera bien goudronné par-dessous et attaché avec la même précaution que le premier".

Les palplanches constituent le dernier des trois éléments en bois de la fondation et assurent, non plus le support des maçonneries, mais la protection contre les affouillements : sans ce rideau continu de planches, l'eau de la rivière viendrait enlever les terres et le gravier sous le grillage et donc déstabiliser à terme l'ouvrage. Ces planches doivent être de même qualité que les pieux. Épaisses de 10 cm et larges de 30 cm, elles sont longues de 1,50 à 3 m. Enfoncées au mouton comme les pieux, elles ont souvent un sabot en fer. La plupart du temps, elles sont disposées sur deux rangs jointifs, clouées aux longrines du grillage. La première rangée a 5 pouces (13 cm) d'épaisseur et le recouvrement 3 pouces (8 cm). Elles sont évidées sur le côté par une rainure et appointées vers le bas en sorte qu'en les enfonçant, elles cherchent à se joindre les unes aux autres.

### Les apports de la chronologie absolue

L'intérêt porté aux fondations en bois ne prend son véritable sens qu'avec les possibilités actuelles de datation absolue, le carbone 14 et la dendrochronologie.

Les analyses C14 qui permettent de dater à un ou deux siècles près sont, pour ce qui nous concerne, très ponctuelles. L'on y a recours pour les piquets de berge, ces bois de petite section ne permettant pas l'analyse dendrochronologique et appartenant à des structures dont le contexte, comblement par des sédiments naturels, n'autorise aucune fourchette chronologique, même de l'ordre du millénaire.

Mais c'est bien sûr l'appel au dendrochronologue qui est devenu le passage obligé de l'archéologue des périodes historiques : lorsque les conditions sont favorables, c'est à dire lorsque des bois de section conséquente comportent 50 à 70 cernes au moins ainsi que le dernier cerne de l'aubier, la date d'abattage peut être donnée à l'année, voire à la saison près. Les bois de fondation strasbourgeois, dont les pieux en premier lieu, fournissent généralement ces conditions. Mais pas toujours : il faut compter aussi avec la nature du prélèvement du bois : un prélèvement unique est moins fiable voire impossible à dater qu'un ensemble de 7 ou 8 échantillons ; les bois à larges cernes comme nos sabots de puits en résineux ou nos pieux en chêne à croissance rapide ne présentent pas toujours le

nombre de cernes requis. C'est ainsi qu'un cinquième environ des échantillons livré par les archéologues strasbourgeois au cours de ces 10 dernières années reste non daté<sup>9</sup>.

Dans l'absolu, l'abattage du bois peut ne pas être suivi immédiatement de son emploi dans une construction : l'idée générale a même longtemps prévalu d'un temps de séchage nécessaire entre les deux phases pour éviter des désordres dans les murs et charpentes dû aux rétrécissements et déformations du bois. Il est cependant assuré aujourd'hui que ce bois d'oeuvre était utilisé vert<sup>10</sup> ne serait-ce que parce qu'il facilitait le travail du charpentier. Il en est de même des bois de fondation<sup>11</sup>. Trois exemples tirés des fouilles de la caserne Barbade suffiront<sup>12</sup>. La fausse-braye construite d'après les archives en 1475 était fondée sur des pieux coupés en 1474. Les pieux du bastion édifié entre le 15 avril 1656 et le 15 août 1657 selon les comptes rendus du contremaître, ont été abattus au cours de l'hiver 1656/1657. Pour la caserne Barbade, enfin, l'adjudication des travaux a eu lieu le 11 septembre 1787, les travaux de fondation, pilotis et maçonnerie, ayant été menés entre début mai et début août 1788 : l'analyse dendrochronologique a fourni une date d'abattage en hiver 1787/1788. Le réemploi n'est bien sûr pas impossible mais il n'a été observé que de façon exceptionnelle pour le moment : ainsi, l'une des planches de culée du pont du Hibou, sur le fossé des Tanneurs, est datée de 1233 alors que les pieux sont de 1375. C'est dans des cas comme celui-ci que l'échantillonnage révèle tout son intérêt.

Cette possibilité de dater précisément un aménagement fait des fondations en bois un objet de recherches qui dépasse largement le cadre des données techniques pour déboucher sur des questions d'ordre historique ayant même trait au développement global de la ville. Plusieurs niveaux d'analyse doivent être envisagés.

A l'échelle d'une structure, tout d'abord, la présence de bois datés par dendrochronologie apporte à l'archéologue une certitude événementielle que ses moyens traditionnels, la céramique, le verre, le métal, ne lui permettent quasiment jamais : le degré d'incertitude, minimal, qu'il s'autorise pour dater une construction ou une démolition est en moyenne de 20 ans pour l'Antiquité et de 50 ans pour le Moyen Âge. De ce fait, il appréhende aussi mieux la durée de vie de structures qui sinon ne pourraient être datées pour les unes (puits, latrines...) que par le mobilier du comblement et pour les autres (enceintes, quais, murs de cave...) que par leur matériau (briques, grès). Le cas du fossé des Tanneurs construit et reconstruit entre 1375 et 1567 sur les 60 m observés puis comblé en 1830 a déjà été évoqué. C'est aussi le cas pour les structures en creux. Les deux puits-tonneaux de la place de l'Homme de Fer datés de + 15 et + 100 ont été remblayés respectivement vers 50-70 et 150-160<sup>13</sup>. Le puits de la caserne Barbade, construit en 1496, est abandonné au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. La "glacière" d'Istra, de 1410, est transformée en latrines après 1500, puis comblée lentement.

A l'échelle d'un site, la somme des informations peut

déboucher sur l'histoire de tout un quartier. Pour le tronçon de la rue de la 1<sup>ère</sup> Armée en bordure de l'III (fouilles du Tramway), par exemple, il est apparu une sorte de terrasse occupée dès l'Antiquité en bordure d'un ried plus ou moins marécageux. Le manteau de sédiments fins a commencé à s'y stabiliser vers + 430/640 (bois flottés sur le toit des graviers). Un petit cours d'eau est aménagé avec des piquets entre 895 et 1160, entraînant son ensablement progressif. Deux maisons fondées sur pieux, l'une vers 1149, l'autre d'ailleurs directement installée sur le cours d'eau en 1190, sont les témoins de la première urbanisation de ce quartier dont l'élément central sera l'église paroissiale Saint-Nicolas fondée en 1187<sup>14</sup>.

A l'échelle de la ville, c'est d'abord la chronologie des enceintes qui a été établie de façon rigoureuse au cours de ces dernières années : nous disposons d'une analyse pour le noyau urbain de 1235<sup>15</sup>, d'une autre pour l'extension du faubourg ouest en 1372, d'une autre encore pour le faubourg de la Krutenau en 1406 et même pour les deux étapes du déroulement du front sud en 1347 et 1474<sup>16</sup>. En fait, cette chronologie était déjà connue grâce aux principaux chroniqueurs médiévaux, Closener (+ en 1384) et Koenigshoven (+ en 1420) et, pour la dernière, par une décision du Conseil : à part quelques problèmes de calage dans le détail, la dendrochronologie a surtout confirmé le sérieux des informations que l'on reconnaissait depuis longtemps à ces deux auteurs<sup>17</sup>.

Mais à l'échelle de la ville, ce sont surtout les grandes phases de l'urbanisation qui peuvent être analysées. Le Strasbourg antique n'a guère fait appel aux bois en fondation à quelques exceptions près (ponts, puits, berges...) : ce n'est assurément pas en raison de la méconnaissance du pilotis déjà cité par Vitruve et retrouvé çà et là en fouilles, par exemple au cirque d'Aries. Cette situation, en particulier l'absence de tout aménagement de berge hors la rive gauche de l'III, est bien singulière : bien que l'agglomération se soit en partie développée sur la terrasse de loess, l'essentiel était pourtant installé dans un milieu saturé en eau. On ne peut pour le moment que la mettre au compte du caractère extrêmement modeste de la plupart des structures.

Au cours du Moyen Âge, par contre, le réseau hydrographique est progressivement aménagé. A partir de l'époque carolingienne, les berges sont fréquemment consolidées avec des piquets. Alors que les petits cours d'eau disparaissent avant 1500, par ensablement "naturel" ou comblement, les plus importants sont canalisés au moyen de quais maçonnés, à partir du XIV<sup>e</sup> siècle au plus tard. Dans ce phénomène, la construction des enceintes a dû jouer un rôle primordial, sinon moteur, soit en rectifiant des cours d'eau existants soit en formant une barrière contre les eaux de crue : ce sont les ingénieurs militaires en effet qui colonisent définitivement la rive droite de l'III avec trois enceintes successives, vers 1200, 1400 et 1680. Cette dernière étape, la citadelle, est aussi la première qui pose un pied au bord du Rhin.

Les autres fondations en bois, pilotis de maisons et autres bâtiments, rouets de puits, découlent d'une cer-

taine manière directement de ce choix de s'installer durablement dans la plaine alluviale puisque les unes permettent de construire des édifices aux fondations profondes en terrain anciennement marécageux ou en bordure d'eau (moulins) et que les autres exploitent de façon systématique une matière première, la nappe, qui, dans l'Antiquité, ne l'était que très localement **18**.

L'étude des bois de fondation considérés sur la longue durée oppose radicalement la ville antique à la ville médiévale et moderne dans leur façon d'aborder le même milieu alluvial : la première ne semble guère lui imprimer sa marque alors que la seconde l'aménage, au point, à partir du XVIIIe-XIXe siècle, de l'assujettir complètement.

Strasbourg, malheureusement, semble être à l'heure actuelle la seule ville de l'espace rhénan à disposer d'une somme d'informations importante et à l'échelle de l'agglomération sur la typologie et la chronologie de ces fondations en milieu humide : des conclusions générales sont de ce fait impossibles. Il s'avère néanmoins qu'il s'agit là d'un domaine de recherches à la croisée de l'histoire des techniques, de la vie quotidienne, de l'économie et même de l'urbanisme.

#### Notes

**1.** Développement plus important avec bibliographie dans **Schwien**, 1992.

**2.** Il est impossible de citer toutes les références dans cette synthèse. Le lecteur trouvera les informations relatives aux sites archéologiques dans **Schwien**, 1992, et *Vivre au Moyen Âge* ainsi que, pour les chantiers postérieurs à 1990, dans *Strasbourg. 10 ans de fouilles*. Les références des documents d'archives cités ici sont données dans **Schwien**, 1990 (enceintes, ponts, quais, bâtiments) et **Schwien et alii**, 1988 (puits).

**3.** **Kern**, 1990.

**4.** Information inédite de **M.D. Waton** que je remercie de m'avoir permis d'en faire état.

**5.** **Goehner**, 1917.

**6.** Une typologie sommaire avec documents graphiques à l'appui est proposée dans **Legendre-Maire**, 1990.

**7.** Il faut préciser que les archives comptables qui seraient ici une source de premier ordre ont disparu dans l'incendie de la chancellerie en 1686.

**8.** Cette analyse est une hypothèse (orale) de **Christian Dormoy** (Archéolabs). Elle prend appui sur la différence en nombre moyen de cernes pour une section identique de 15 cm entre les bois médiévaux de Strasbourg (60 cernes) et ceux de Haguenau (150 cernes).

**9.** Toutes les analyses dendrochronologiques de même que les C14 citées dans cet article sont, sauf mention contraire, de **Christian Orcel** et **Christian Dormoy** du laboratoire Archéolabs.



10. Cf. "Le règlement des bois et forêts de la Haute-Alsace" de 1744, publié et analysé par **Marc Grodwohl** dans *Publications de l'Association Maisons Paysannes d'Alsace*, n°11, 1978 ; Cf. aussi la présentation d'un contrat de charpentier pour une maison paysanne à Stutzheim en 1498, par **Francis Rapp** et **Jean-Jacques Schwien**, à paraître dans *La maison médiévale en France* (sous la direction de JM Pesez).

11. Il est clair qu'ici la question du séchage éventuel de bois à utiliser dans la nappe ou les cours d'eau ne se pose pas.

12. Références précises dans **Schwien**, 1990.

13. La durée réelle de l'utilisation ne peut cependant pas être donnée avec certitude, ces tonneaux étant réemployés à une date inconnue.

14. Les fourchettes chronologiques proposées ici sont des datations C14, les autres dates provenant d'analyses dendrochronologiques ou, pour l'église, du texte de fondation.

15. Rue des Jardins, fouilles **Hans Zumstein**. Une première analyse réalisée en 1973 par le **Dr Becker** de Stuttgart avait donné la date de 1214 avec beaucoup de réserves (Zumstein, 1987). L'étude complémentaire de

**G. Lambert** du laboratoire de Chrono-Écologie du Quaternaire à Besançon en 1990 - inédite - affirme un abattage en 1235. Merci à **H. Zumstein** de m'avoir permis de faire état de cette précision.

16. Ces sites sont respectivement ceux de l'ENA/Musée d'Art Moderne (**M.D. Waton**), de la Drira, rue Zimmer (**Y. Henigfeld**), de la tour Sainte-Catherine (**H. Zumstein**) et de la caserne Barbade (**J.J. Schwien**). Merci à **Marie-Dominique Waton** de m'avoir autorisé à citer cette analyse inédite.

17. Pour la comparaison entre les fourchettes chronologiques des chroniqueurs et les datations dendrochronologiques, voir le paragraphe sur l'historique des enceintes.

18. Il est singulier de constater que les sources historiques et archéologiques convergent pour faire de la seconde moitié du XVe siècle, la période à laquelle les puits deviennent un élément réel du paysage urbain : les textes en citent rarement avant cette date et les fouilles n'en ont pas encore observées. Il s'agit partiellement au moins d'un hasard des découvertes mais une multiplication des puits en raison de la pollution des eaux de surface n'est pas à exclure. Cf. au sujet de ces rapports entre l'urbanisation et les questions d'hygiène, **A. Guillerme**, *Les temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques*, Champ Vallon, 1983

## Bibliographie

**R. Bresch**, *Histoire de l'alimentation en eau de la ville de Strasbourg*, Strasbourg, 1931.

**P. Chabat**, *Dictionnaire des termes employés dans la construction*, Paris, Morel, 1881, 2e édition, 5 vol.

**D. Diderot, J. D'Alembert**, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, (Reprint par le Cercle du Livre Précieux, 1964).

**C. Goehner**, *Römische und mittelalterliche Uebergänge über den Krümmen Rhein beim Neudorfer Wighäusel*, 1917, AEAK, II, pp. 855-862.

**C. Goehner**, *Mittelalterliche Brückenreste beim Brückhoff*, 1934, CAHA, VI, pp. 88-90.

**Y. Henigfeld**, "Enceinte du quatrième agrandissement (1387-1441). Strasbourg, rue Zimmer", in *Vivre au Moyen Age*, 1990, p. 114.

**E. Kern**, "La permanence du front est de l'enceinte de l'Antiquité à nos jours. Strasbourg, quai Lezay Marnésia", in *Vivre au Moyen Age*, 1990, p. 109.

**J.P. Klein, J.J. Schwien**, "Strasbourg et ses fortifications au Moyen Age et à l'époque moderne. Mise au point et essai de synthèse", in *Vivre au Moyen Age*, 1990, pp. 21-31.

**J.P. Legendre, J. Maire.** "Un exemple d'évolution de la trame urbaine : le site de la cour des boeufs à Strasbourg", in *Vivre au Moyen Age*, 1990, pp.51-55.

**J. Maire, J.P. Rieb.** *Un puits du XVIe siècle dans le Marais Vert à Strasbourg*, 1972, CAAAH, XVI, pp.165-180.

**J.J. Schwien, N. Schneider, J. Maire, P. Ursat.** *De sources en nappe. Une histoire des eaux souterraines de Strasbourg*, 1988, SA, 101, pp. 21-33.

**J.J. Schwien.** *Strasbourg, cité lacustre ? Introduction aux fondations sur pieux du Moyen Age au XIXe siècle*, CAAAH, XXXIII, 1990, pp. 165-168.

**J.J. Schwien.** *Strasbourg. Document d'évaluation du patrimoine archéologique urbain*, ministère de la Culture/Centre National d'Archéologie Urbaine, 1992, 285 p.

*Strasbourg. 10 ans de fouilles urbaines. De la caserne Barbade aux fouilles du Tramway*, Catalogue de l'exposition présentée à Strasbourg du 15 octobre 1994 au 27 janvier 1995, Editions Les Musées de la Ville de Strasbourg (à paraître).

*Vivre au Moyen Age. 30 ans d'archéologie médiévale en Alsace*, Catalogue de l'exposition présentée à Strasbourg du 17 mai au 30 septembre 1990, Editions Les Musées de la Ville de Strasbourg, 1990.

**M.D. Waton.** "Strasbourg, Istra", in *Vivre au Moyen Age*, 1990, pp. 61-66.

**R. Will.** *Enquête historique et archéologique sur les fondations de la cathédrale de Strasbourg*, 1988, BSACS, XVIII, pp. 43-62.

**H. Zumstein.** *Fouille des fondations de la tour Sainte-Catherine à Strasbourg*, 1970, CAAAH, XIV, pp. 105-115.

**H. Zumstein.** *Observations archéologiques faites en 1973 sur un tronçon de l'enceinte sud de Strasbourg datant du XIIIe siècle*, 1987, CAAAH, XXX, pp. 139-141.

### Abréviations

AEAK : *Anzeiger für Elsässsische Altertumskunde*.

AMS : Archives Municipales de Strasbourg.

BSACS : *Bulletin de la Société des Amis de la Cathédrale de Strasbourg*.

BSCMHA : *Bulletin de la Société pour la Conservation des Monuments Historiques d'Alsace*.

CAAAH : *Cahiers Alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire (remplace CAHA en 1957)*.

CAHA : *Cahiers Alsaciens d'Histoire et d'Archéologie (remplace AEAK en 1921)*.

SA : *Saisons d'Alsace*.