

Zeitschrift: Matières
Herausgeber: École polytechnique fédérale de Lausanne, Institut d'architecture et de la ville
Band: 13 (2016)
Rubrik: Thèse

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Thèse

Béton allemand, 1819-1877

La science du ciment, du trass au Portland

Salvatore Aprea

Cette thèse de doctorat a été soutenue à la faculté ENAC de l'École polytechnique fédérale de Lausanne en 2015.

Directeur de thèse: R. Gargiani

Rapporteur: S. Holzer

Rapporteur: A. Picon

Rapporteur: A. Muttoni

Président du jury: L. Ortelli

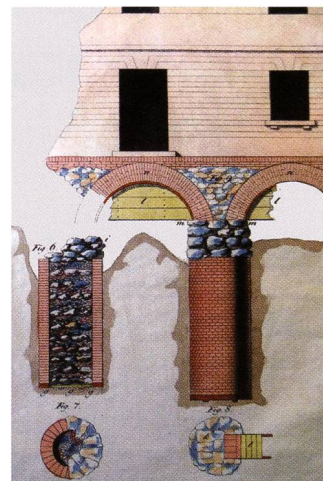
Le béton est un matériau d'une importance incontournable dans l'histoire de la construction ancienne et moderne. Cette importance est aujourd'hui davantage renforcée par l'intérêt croissant pour les matériaux et les techniques de construction du passé, notamment les ciments naturels d'origine calcaire ou volcanique, les mortiers et les bétons composés de matériaux d'origine locale et utilisés avec parcimonie pour des raisons économiques, environnementales, ou simplement culturelles.

Issue de recherches historiques fondées sur l'étude de sources originales et de documents d'archives, cette thèse reconstruit le développement de l'expertise allemande moderne dans la fabrication et dans l'utilisation du béton, au fil des trois premiers quarts du XIX^e siècle, sur les territoires qui s'étendent du royaume de Hanovre à la Prusse, et, vers le sud-ouest, jusqu'à la Bavière et au Bade; en d'autres mots, les territoires qui feront partie de l'Etat-nation allemand de 1871. Le béton, mais aussi les matériaux, les techniques de construction, les applications, les recherches théoriques et les expériences proches du béton sont pris en considération, notamment l'évolution de la théorie et de la pratique de la fabrication du ciment, dont l'histoire ne peut pas être séparée de celle du béton. La thèse analyse l'intérêt des maîtres constructeurs allemands pour la culture classique de la construction d'origine vitruvienne, ainsi que leurs observations relatives à des ouvrages plus avancés réalisés dans

des pays voisins. Elle met aussi en évidence la relation étroite entre le développement du béton et les démarches de modernisation et d'industrialisation qui sont entamées dès la fin du XVIII^e siècle par les états allemands les plus étendus, et engendrent une demande croissante de nouvelles constructions solides et durables, surtout dans le domaine de l'ingénierie hydraulique.

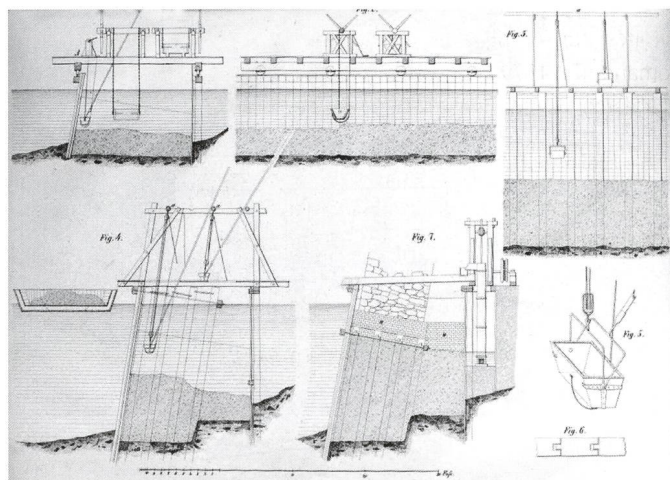
Des premiers usages de béton rudimentaire sont identifiés dans les mélanges de cailloux et mortier utilisés comme matériaux de remplissage dans des fondations bâties en terrain marécageux ou sous l'eau, entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. Les puits de fondation en profondeur, bâtis à Berlin près de la rivière Spree, sont des exemples pertinents. Chacun est constitué d'un mur circulaire en maçonnerie de brique rempli d'un mélange de cailloux et mortier. L'ingénieur Carl Friedrich von Wiebeking utilise à plusieurs reprises également le même genre de mélange pour combler les espaces entre les têtes des pieux des fondations de nombreux ponts et d'un barrage qu'il bâtit en Bavière au cours des années 1810, ainsi que dans les fondations des jetées du port de Lindau sur le lac de Constance, datant de 1812. La construction de murs faits de parois extérieures en maçonnerie et d'un remplissage de cailloux et mortier est aussi bien connue, grâce à la littérature ancienne et à l'intérêt pour l'archéologie. Wiebeking construit les culées de plusieurs ponts bavaurois en maçonnerie creuse et remplie de cailloux et mortier. Toutefois, mis à part quelques cas, ce type de construction est très peu pratiqué, car les murs remplis de cailloux et mortier sont considérés ne pas être très résistants.

Le mortier, utilisé pour fabriquer le béton rudimentaire de cette époque-là, est composé de chaux aérienne mélangée à

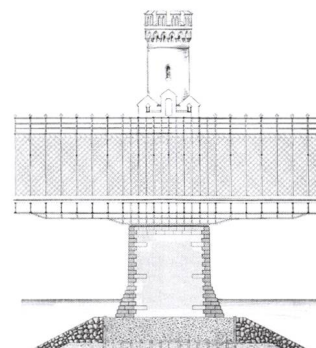
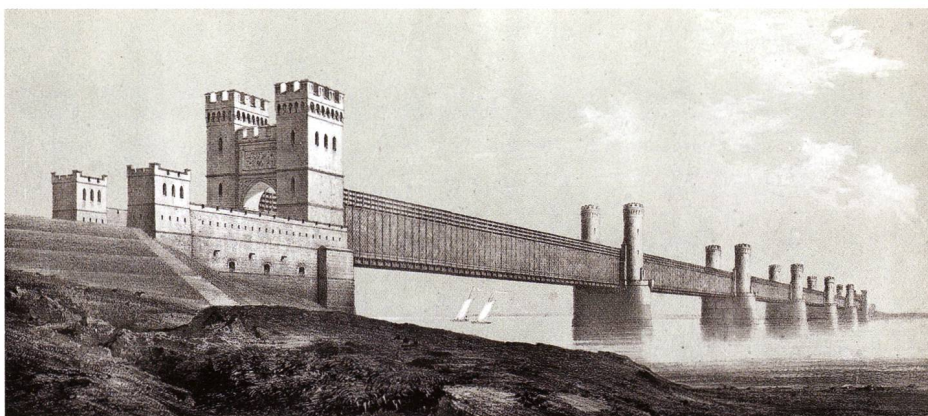


des matériaux qui lui confèrent la propriété de durcir sous l'eau, puis de devenir résistant à l'eau même. Les plus courants de ces matériaux sont la poudre de brique écrasée et le trass, un tuf volcanique moulu que l'on trouve dans la région volcanique de l'Eifel, le long du Rhin, et similaire à la pouzzolane italienne. La plupart des maîtres constructeurs allemands appellent le mortier composé de chaux et poudre de brique ou trass, ciment ou *Wassermörtel* (mortier hydraulique), et en limitent l'utilisation aux constructions à réaliser au contact direct de l'eau. Dans tous les autres cas, ils préfèrent se fier au mortier simple composé uniquement de chaux aérienne produite à base de pierres calcaires pures et blanches, qu'ils considèrent être le meilleur liant pour construire, selon les enseignements de Vitruve. La chaux hydraulique naturelle, qui est produite à partir de pierres calcaires contenant de l'argile et qui peut, à juste raison, être considérée comme le précurseur du ciment moderne d'origine calcaire, n'est pas utilisée par les maîtres constructeurs allemands au début du siècle. Pour eux, il s'agit d'un produit de mauvaise qualité, contrairement à la chaux aérienne.

C'est seulement à partir des années 1820 que la chaux et le mortier hydraulique gagnent en importance, suite à la diffusion des premières études scientifiques qui en démontrent l'efficacité générale dans la construction et formulent les premières théories sur les réactions chimiques qui interviennent entre les composants de l'argile et le calcaire. Deux de ces études sont élaborées par deux éminents chimistes allemands, Johann Friedrich John et Johann Nepomuk Fuchs. Les convictions sur l'efficacité de la chaux aérienne sont ainsi bouleversées, et l'utilisation du mortier hydraulique augmente et facilite la future diffusion du béton. En même temps, suite à l'amélioration des échanges commerciaux, le ciment naturel d'origine calcaire connu sous le nom de ciment romain, qui avait été breveté au Royaume-Uni à la fin du XVIII^e siècle, commence à être importé et suscite un intérêt considérable de la part de constructeurs mais aussi de celle des institutions et des entrepreneurs qui sont engagés dans la promotion du développement industriel et souhaitent lancer la production d'un ciment similaire en exploitant des matières premières allemandes.



F. Neuhaus, L. Schwan, quai le long du fleuve Oder, Stettin, 1842-1844. Processus de coulage du béton. Page de gauche: D. Gilly, puits de fondation. Dessins de construction.

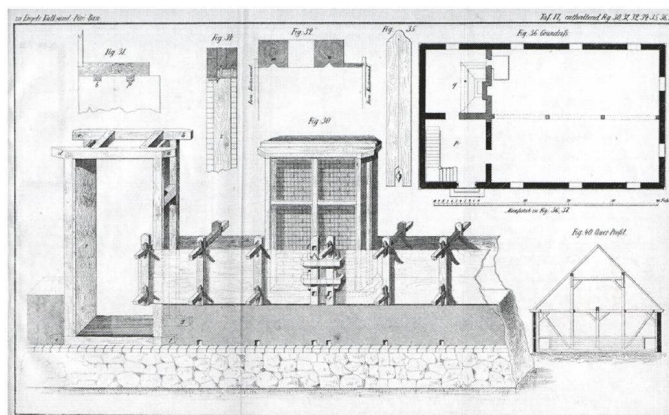


Ainsi, à partir de la fin des années 1820, dans les régions centrales et nord-occidentales, où l'influence de la culture anglaise est plus marquée, plusieurs usines lancent la production de ciment naturel imitant celui d'origine anglaise. Dans le sud, cependant, c'est la production de chaux hydraulique qui est lancée sur la base des théories établies par les études scientifiques.

Parallèlement au développement de la production de la chaux hydraulique et du ciment de la fin des années 1820, les premiers exemples marquant de constructions en béton apparaissent dans l'architecture hydraulique. Il s'agit des fondations de plusieurs écluses, jetées et piles de pont. Dans ces fondations, le béton n'est plus seulement utilisé comme un matériau de remplissage des structures en maçonnerie, mais il commence à avoir un rôle structurel autonome. L'écluse, construite par le maître constructeur Zimmermann sur une aire de béton en 1828, sur la rivière Lippe en Rhénanie, est une des premières constructions bénéficiant d'une meilleure maîtrise dans l'emploi du béton. Elle est suivie par la construction de nombreuses autres fondations pour des écluses sur le fleuve Ruhr, toujours en Rhénanie, et sur le canal Ludwig en Bavière, ainsi que de la construc-

tion des fondations des piles du pont de Sonnborn, réalisé entre 1838 et 1841, du pont de Mannheim réalisé entre 1842 et 1845, et de celles pour le remarquable quai de 1'309 pieds, bâti entre 1842 et 1845 à Stettin, le long du fleuve Oder.

La composition du béton utilisé dans ces différents ouvrages est déterminée par la disponibilité locale du trass ou de la chaux hydraulique. Dans les régions près du Rhin, le béton est fabriqué avec de la chaux et du trass, tandis qu'en Bavière et à Stettin, il est fabriqué avec de la chaux hydraulique naturelle produite à partir de rocher local de nature argileuse-calcaire. C'est exactement suite à l'augmentation de l'utilisation du béton et à la nécessité de le produire avec des matières premières d'origine locale pour des raisons d'économie que la fabrication à grande échelle de ciment artificiel, c'est-à-dire produit à partir de mélanges artificiels de calcaire et argile, est lancée en Poméranie. L'ingénieur Johann Carl Wilhelm Lentze en est l'auteur. Il s'est très probablement inspiré d'exemples anglais dont il a pu apprendre les principes à l'occasion de deux voyages au Royaume-Uni entrepris pour étudier la construction des ponts les plus récents et audacieux.



Si l'emploi du béton dans les fondations bâties sous l'eau et en terrain marécageux assume des proportions importantes déjà durant les années 1830 et 1840, la construction de bâtiments en béton apparaît plus tard, bien que certains exemples de bâtiments soient déjà observés en France. La tendance persistante à l'utilisation de la chaux hydraulique et du ciment exclusivement dans l'eau explique ce retard. Toutefois, c'est grâce à quelques exemples français et suédois que le fermier Johann Gottlieb Prochnow, inspiré par la construction en pisé et animé par le souci de bâtir de manière économique, conçoit la construction de murs bâtis en coulant et pilonnant, dans des coffrages rudimentaires et provisoires en bois, un conglomérat très maigre, fait de sable, de gravier et de très peu de chaux aérienne. Entre 1845 et 1850, le conglomérat développé par Prochnow connaît un certain succès dans plusieurs régions allemandes. Il est appelé *Kalksand*, et plusieurs articles et livres lui sont consacrés. Certains auteurs arrivent même à affirmer qu'il représente une alternative allemande et économique au béton français. Toutefois, avec le temps, la nécessité de disposer de mélanges capables d'assurer une meilleure résistance que celle du *Kalksand* de Prochnow pousse à augmenter la quantité de chaux et à utiliser, parfois, de la poudre de

brique, du trass ou de la chaux hydraulique, ce qui transforme le *Kalksand* en un véritable béton. Enfin, dès la moitié des années 1860, le *Kalksand* est définitivement remplacé par le béton et, au cours des années 1870, de nombreuses maisons sont entièrement bâties en béton coulé, des fondations au toit.

Parallèlement, les fondations hydrauliques en béton deviennent plus audacieuses grâce à l'introduction et à la diffusion du ciment Portland qui, dès les années 1850, est produit industriellement, d'abord en Prusse, puis dans d'autres états. C'est exactement dans ce contexte que les études scientifiques sur la nature chimique et sur les propriétés du ciment se renforcent davantage et que de nouvelles et plus complètes explications, scientifiquement fiables pour l'époque, sont développées dans les années 1860. Sur la base de ces études et suite à la diffusion croissante du ciment Portland, le *Deutscher Verein für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaren, Kalk und Cement* [Société pour la fabrication de brique, de terre cuite, de la chaux et du ciment] promeut, en 1877, la rédaction des premiers standards pour la fabrication et la livraison du ciment Portland, standards qui seront adoptés, en tant que normes officielles, par l'état allemand qui vient de se former.

J. D. F. Engel, dessins de constructions en Kalksand.
Page de gauche: J. C. W. Lentze, pont sur le fleuve Vistule, Dirschau, 1846-1855. Vue en perspective et coupe transversale d'une pile.