

Du conglomerat maigre au béton de laitier : expériences allemandes sur la composition du béton, 1840-1876

Autor(en): **Aprea, Salvatore**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Matières**

Band (Jahr): **11 (2014)**

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-984499>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Du conglomérat maigre au béton de laitier : expériences allemandes sur la composition du béton, 1840-1876

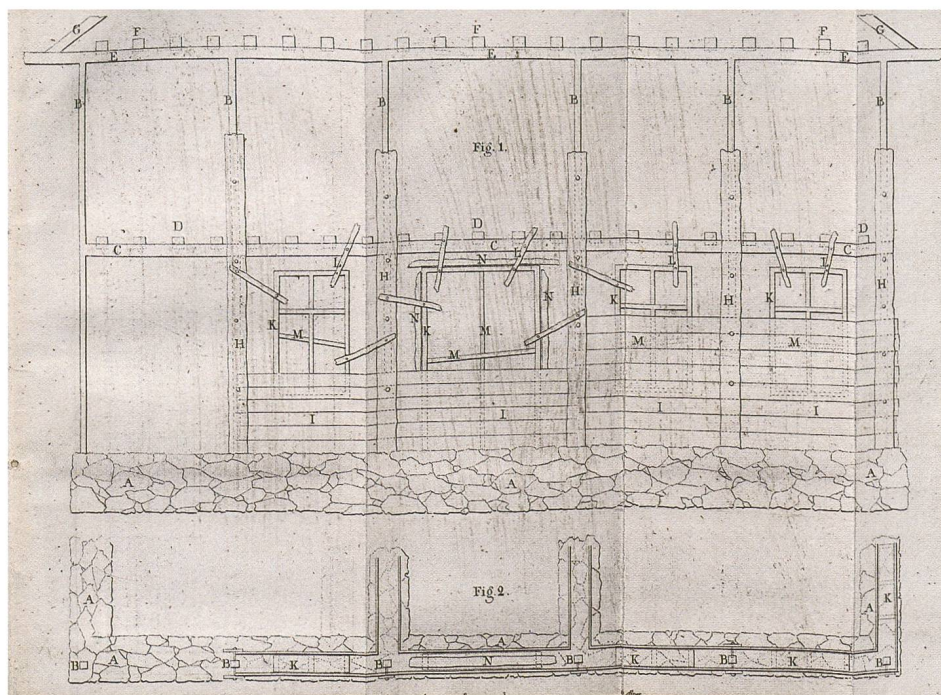
Salvatore Aprea

Jusqu'au début du 19^e siècle, l'art de bâtir allemand se caractérise par un important usage de matériaux périssables comme le bois et l'argile. Même des ouvrages hydrauliques importants tels que les fondations des piles de ponts, les berges et les écluses sont souvent réalisés en bois. Dans la construction des maçonneries, c'est l'usage de mortier aérien à base de chaux grasse qui prévaut, tandis que les liants hydrauliques ne sont pas très appréciés par les maîtres constructeurs et que le béton semble absent de l'art de bâtir.

Vers la fin du 18^e siècle, certaines politiques mises en place par la Prusse pour limiter l'exploitation des forêts ainsi que les efforts entrepris par la majorité des Etats allemands afin d'améliorer les conditions générales des constructions poussent à utiliser davantage de matériaux impérissables¹. C'est dans ce contexte qu'un certain intérêt pour le béton commence à se manifester.

Les premiers exemples marquants de constructions en béton apparaissent dans l'architecture hydraulique et remontent à la fin des années 1820. Etant donné que le béton est déjà bien connu en France, les maîtres constructeurs allemands s'inspirent de certaines réalisations françaises d'avant-garde lorsqu'il s'agit de bâtir en béton. C'est ainsi que le maître constructeur Zimmermann de Lippstadt se réfère aux fondations en béton des écluses du Grand Canal du Nord conçues en 1806 par Aimable Hageau, lorsqu'il construit celles d'une écluse située sur le fleuve Lippe en 1828². De même, dans les années 1830, Joseph Alois von Pechmann prend pour modèle l'écluse de Huningue réalisée par Louis Alexis Beaudemoulin lorsqu'il conçoit vers 1835 les fondations de celles assurant la liaison entre le Canal Ludwig et les fleuves Danube et Reignitz³. Ces exemples sont représentatifs des deux manières de composer le béton à cette époque : la première se caractérise par l'utilisation d'un liant hydraulique constitué de chaux grasse et de briques concassées ou *Traß* ; la seconde préconise l'emploi de la chaux hydraulique.

Etant considéré comme un matériau purement hydraulique, le béton apparaît dans la construction des bâtiments bien plus tard que dans l'architecture hydraulique. L'art



Carl Gustaf Rydin, maison en mortier coulé.

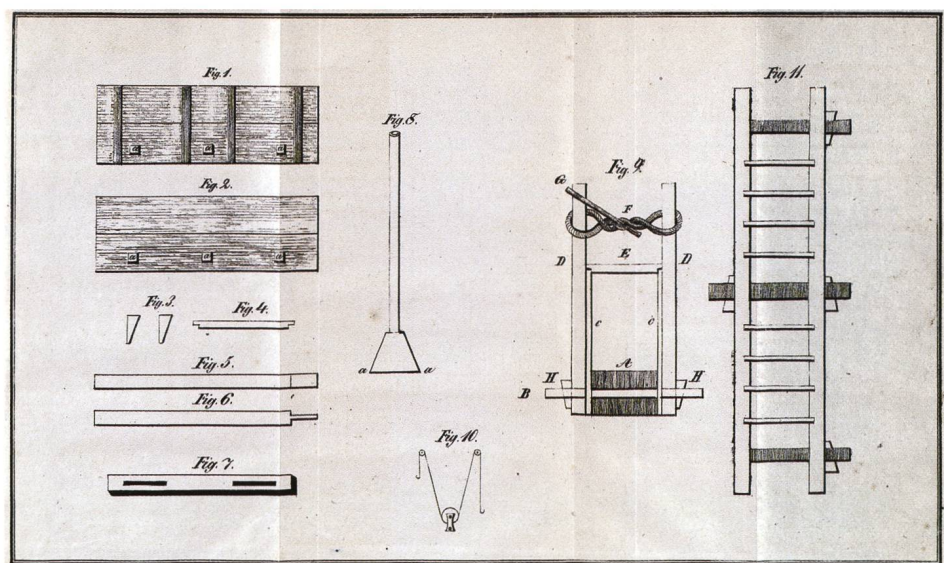
de bâtir allemand favorise très nettement la chaux grasse et l'usage du béton dans les constructions exposées à l'air reste longtemps exclu. Cependant, durant les années 1830, plusieurs publications abordent la construction de bâtiments en béton à l'étranger. Par la suite, un conglomérat maigre à base de chaux grasse commence à être utilisé pour construire des bâtiments ruraux. Bien que non hydraulique, ce conglomérat est, à certains égards, similaire au béton dont il peut être considéré comme un ancêtre.

Le conglomérat maigre ou le béton involontaire

Dès 1832, le *Polytechnisches Journal* de Stuttgart traite à plusieurs reprises des constructions en béton que l'architecte François-Martin Lebrun réalise à partir de 1828 en France. Le béton de Lebrun est composé de chaux hydraulique, de sable, de gravier et de cailloux ; la proportion entre les composants est variable, mais l'architecte assure en général une teneur en chaux égale à 20-25% du total. En 1835, il publie à Paris un livre entièrement consacré à la construction en béton ; cet ouvrage est ensuite traduit en allemand et édité à Ulm en 1837⁴. La même année, Heinrich Friedrich Franz Körte, professeur de sciences naturelles à la *Landwirtschaftliche Akademie* de Möglin en Poméranie, traduit et publie dans le périodique *Möglichin'sche Jahrbücher der Landwirtschaft* un petit livre suédois paru à Stockholm en 1834 sous le titre *Gjutna Kalkbruckshus*⁵ (maison en mortier de chaux coulé). Carl Gustaf Rydin, un entrepreneur ayant conçu des constructions en bois, en pierres dégrossies et en conglomérat, est l'auteur de ce livre. Dans les constructions de Rydin, les pierres dégrossies sont utilisées pour les fondations, le bois pour la charpente posée sur ces dernières et le conglomérat pour les murs qui remplissent les vides entre les éléments de la charpente et enveloppent en même temps la charpente elle-même pour la protéger en cas

d'incendie. Le conglomérat de Rydin est fait de cailloux et d'un mortier composé de quatre parts de sable pour une part de chaux. Sa mise en œuvre prévoit de couler d'abord le mortier en couche dans des coffrages rudimentaires en bois fixés à la charpente, de disposer ensuite les cailloux dans chaque couche de mortier et enfin de pilonner le tout.

Les publications susmentionnées sont les plus importantes concernant l'emploi du béton – ou de certains conglomérats similaires – dans les constructions hors d'eau. Johann Gottlieb Prochnow, un fermier de Bahn en Poméranie, est au courant de ces publications. Il connaît également le *Traité sur l'art de faire des bons mortiers* d'Antoine Raucourt de Charleville et les cahiers de François Cointeraux sur la construction en pisé⁶. A la recherche d'un système pour construire des bâtiments économiques et résistants au feu et aux intempéries, Prochnow adapte les connaissances tirées de la littérature aux conditions locales et parvient ainsi à bâtir une étable et une grange dont les murs sont formés de conglomérat très maigre à base de chaux grasse. Cette expérience a lieu vers 1840. Suite à cela, Carl Freiherr von Steinaecker, régent du département de Gryfino, demande à Prochnow de rédiger des instructions sur la technique qu'il vient de concevoir. Une fois rédigées, ces instructions sont publiées en 1842 et constituent la principale source de connaissances sur les bâtiments de Prochnow⁷. Ceux-ci possèdent des fondations en pierres dégrossies, une toiture en bois et des murs constitués exclusivement de conglomérat pilonné dans des coffrages. Le système de coffrage, qui s'inspire de celui illustré par Cointeraux, se compose de deux parois en bois tenues à une distance égale à l'épaisseur du mur à bâtir par une traverse placée en bas et par six poteaux greffés dans la traverse et attachés en haut par des cordes. Le conglomérat à verser dans le coffrage contient dix parts de gravier et deux parts et demie de sable pour une part de chaux. Prochnow rejette l'utilisation de la chaux hydraulique proposée par Lebrun car elle n'est pas disponible dans sa région. Cependant, il suggère d'utiliser du conglomérat enrichi de cailloux et de briques concassées – qui confèreraient au mortier « la propriété de durcir plus promptement en présence d'humidité » – pour réaliser les fondations là où les pierres



Johann Gottlieb Prochnow, système de coffrage pour la construction de murs et moule pour la production de briques.

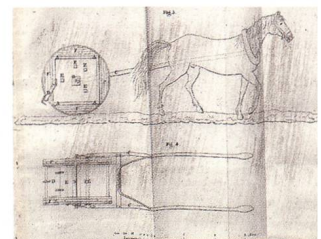
naturelles ne sont pas disponibles⁸. Le conglomérat de Prochnow est une sorte de béton maigre non hydraulique à grain plutôt fin capable de devenir un véritable béton hydraulique dans le cas de fondations. Malgré cela, Prochnow n'utilise ni le terme «béton», ni le terme «Steinmörtel» – qui sont utilisés à l'époque en Allemagne pour désigner le béton –, mais plutôt celui de «Formmasse».

Une nouvelle fois inspiré par Cointereaux, Prochnow envisage aussi la possibilité de couler du conglomérat dans des moules pour en faire des pierres artificielles et des briques. Cette proposition n'est pas négligeable car la fabrication de ce genre de matériaux s'imposera presque quinze ans plus tard et survivra même à la construction en conglomérat maigre coulé sur le chantier, lorsque celle-ci sera remplacée par la construction en béton⁹.

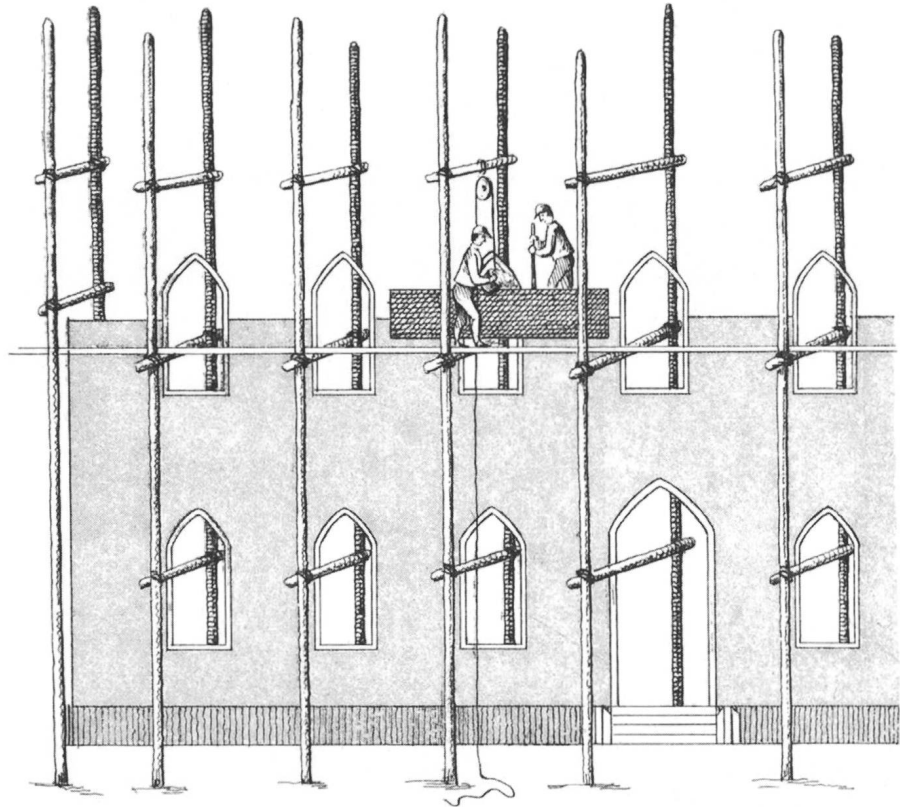
Dès 1845, l'usage du conglomérat maigre commence à se diffuser dans d'autres villages de la Poméranie, au Brandebourg, en Silésie et en Bavière¹⁰. La composition, la technique de préparation et la mise en œuvre du mélange font alors l'objet d'expérimentations qui produisent, entre autres, des améliorations de coffrages et l'adoption de mélangeurs mécaniques. La construction de plusieurs bâtiments en conglomérat maigre à «*weißen Au, près de Nuremberg [sic]*», par l'entrepreneur Johann Carl Leuchs, de 1847 à 1850, constitue une expérience significative, particulièrement dans le cadre du bâtiment principal qui présente certaines caractéristiques novatrices¹¹. Leuchs introduit de la chaux hydraulique dans la composition du conglomérat des fondations ; ce conglomérat devient ainsi un véritable béton. L'abondance de chaux hydraulique disponible dans la région de Nuremberg est très probablement à l'origine de ce choix¹². Cependant, pour les murs situés hors terre, Leuchs se contente encore d'un mélange ordinaire constitué de chaux grasse, de sable et de cailloux, mais, grâce à une mise en œuvre soignée, il parvient à réaliser des fenêtres centrées à ogive au lieu des fenêtres habituellement carrées et soutenues par des cadres permanents en bois. La fonction de ce bâtiment abritant une usine et des habitations – plutôt que des activités rurales courantes – est aussi l'une de ses caractéristiques innovantes, de même que ses dimensions impressionnantes qui comptent 350 pieds de longueur et 36 pieds de profondeur. Leuchs qualifie son bâtiment de «construction en pierres artificielles» et n'utilise pas non plus le terme «béton» – bien que son conglomérat puisse être considéré comme du béton.

L'expérience de l'entrepreneur Emil Berndt est elle aussi significative. Vers 1845, Berndt bâtit deux fabriques et quatorze maisons à «*Deuben près de Dresde [sic]*», en utilisant du conglomérat maigre fait de chaux, de scories de houille et de boue¹³. L'emploi des résidus de la combustion dans le mortier est connu depuis longtemps en Allemagne, où la cendre de Dornick est réputée pour sa capacité à rendre hydraulique le mortier composé de chaux grasse¹⁴. Cet usage réapparaîtra près de vingt-cinq ans plus tard, lorsque la demande croissante de béton nécessitera le recyclage de certains résidus industriels. Même si elles annoncent certains aspects des futures constructions en béton, les expériences de Leuchs et de Berndt demeurent des cas relativement isolés à une époque où la chaux grasse reste toujours le liant privilégié et où le conglomérat maigre continue à être utilisé principalement dans les campagnes par des villageois dont la construction n'est souvent pas le métier¹⁵.

L'adoption des mélangeurs mécaniques pour fabriquer le conglomérat maigre est préconisée par Prochnow, déjà en 1845, dans un supplément aux *Instructions* de 1842¹⁶. Pour les constructions de grandes dimensions, Prochnow suggère d'utiliser un mélangeur

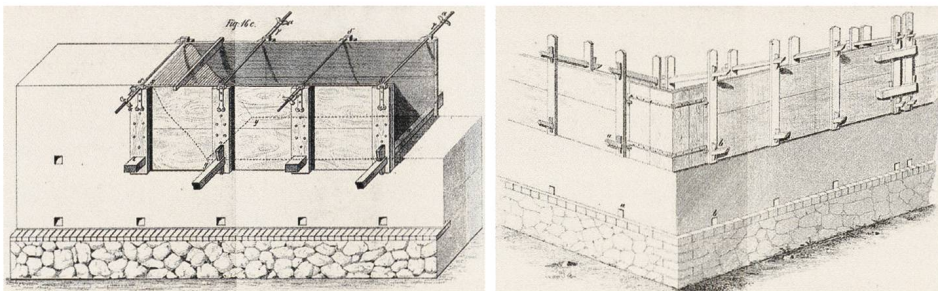
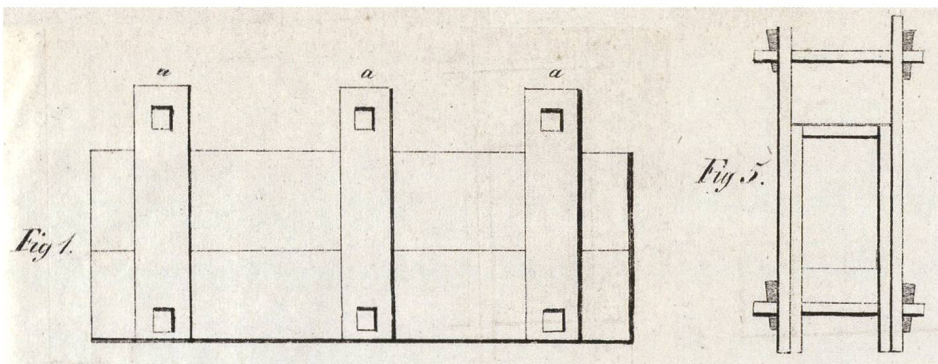
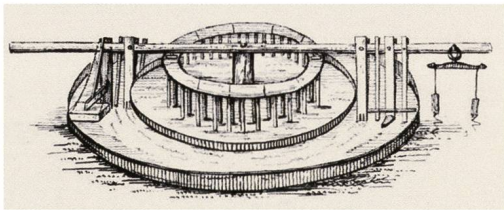
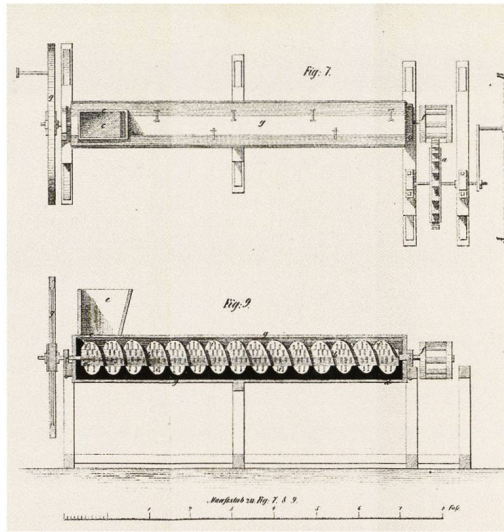
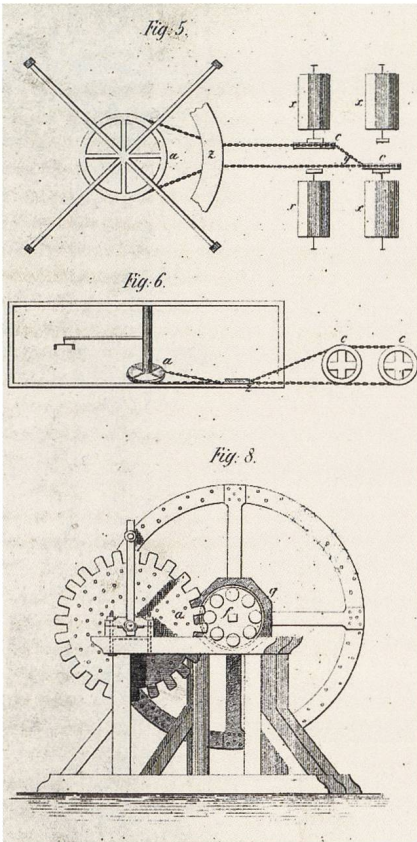


Kalkbrukskárren, chariot mélangeur.



Construction d'un bâtiment en
conglomérat maigre.

appelé *Kalkbrukskårran* similaire à celui adopté par Rydin. Ce mélangeur consiste en une caisse creuse fixée aux deux roues d'un chariot; lorsque ce dernier est tiré par un cheval, les composants du mortier situés à l'intérieur de cette caisse se mélangent. C'est probablement de cette idée de caisse tournante que dérive la machine développée dans le village de Cöslitz, laquelle est constituée de quatre caisses tournantes liées à un système de transmission actionné par le mouvement d'un cheval. Un mélangeur différent, dont l'invention est attribuée au maître boulanger Badike, apparaît dans le village de Fiddichow. Il s'agit d'une sorte de vis d'Archimède placée à l'horizontal qui, en tournant, mélange les composants du mortier. Une autre solution mise au point par Leuchs utilise un mélangeur de mortier probablement dérivé des machines employées par les ingénieurs militaires de Posnanie dans la construction des forteresses¹⁷. Il s'agit d'une machine à traction animale composée d'un plateau et d'un canal circulaire à l'intérieur duquel les composants du mortier sont brassés par plusieurs perches suspendues à une barre horizontale articulée autour d'un pivot central, de manière à permettre la rotation. Les améliorations apportées aux coffrages visent à faire progresser la stabilité des parois latérales qui sont très sollicitées pendant l'opération de pilonnage. A cet effet, Prochnow propose en 1845 un coffrage dont chaque paroi latérale fait corps avec les poteaux et est connectée à la paroi d'en face par six traverses – trois en bas et trois en haut – qui remplacent les cordes utilisées auparavant. D'autres améliorations sont apportées quelques années plus tard, notamment le remplacement des traverses hautes par des vis de fer ou le développement de plusieurs solutions pour les coffrages d'angle.



Le *Kalksand*, version allemande du béton français

Dès 1850, les sujets liés au conglomérat maigre font leurs apparitions dans diverses publications, notamment dans des manuels monographiques. Deux d'entre eux sont rédigés par les maîtres constructeurs Johann Daniel Friedrich Engel et Friedrich Conrad Theodor Krause qui désignent le conglomérat maigre par le terme *Kalksand* – nom sous lequel ce matériau entre dans l'histoire¹⁸. L'attribution d'un nom propre et la naissance d'une littérature spécifique démontrent que le conglomérat maigre est désormais considéré comme un matériau de construction avec des règles spécifiques de préparation et de mise en œuvre. Il est réputé comme l'alternative allemande au béton français, car l'utilisation du béton hydraulique pour la construction de bâtiments est encore jugée inutile et coûteuse ; on préfère donc remplacer le béton par le *Kalksand*. A ce propos, Johann Christian Wedeke affirme que «*le bruit venu du sud de la France, il y a sept ou huit ans, selon lequel la brique et la pierre, matériaux utilisés communément pour bâtir les murs, auraient dû être remplacées par le béton, semble avoir disparu*», tandis que la construction en «mortier pilonné» se répand¹⁹. De même, Engel affirme que «*la construction des bâtiments de chaux et sable pilonnés [...] a presque complètement réduit à néant l'utilisation du béton*»²⁰. De plus, vers 1855, lorsque les premiers articles sur les constructions en «mortier pressé en forme» réalisées en France par François Coignet paraissent dans la presse allemande, ils font immédiatement allusion aux constructions en *Kalksand*, ce qui incite Leuchs en personne à y réagir en revendiquant la primauté allemande de la conception de cette technique. «*En Allemagne, on construit depuis longtemps déjà des bâtiments en pierres artificielles avec un mélange beaucoup plus simple [que celui de Coignet] fait de douze parts de sable pour une part de chaux*»²¹, affirme-t-il.

C'est précisément en raison de sa composition simple, voire pauvre, que le *Kalksand* sera abandonné plus tard alors que le béton se propagera. Mais à cette époque, on préconise l'utilisation du béton en tant que matériau hydraulique pour les fondations hydrauliques, tandis que le *Kalksand* est conseillé pour la construction de bâtiments ruraux. Les ouvrages *Baumaterialienlehre* de Wedeke, *l'Encyclopädie der gesammten Landwirthschafte* de William Löbe et le *Baulexicon* de Leo Bergmann, publiés entre 1850 et 1855, confirment cette hypothèse²².

Mélanges de *Kalksand* et de ciment Portland, la construction des voûtes

Même si l'on est convaincu de l'efficacité du *Kalksand*, des expériences sont néanmoins menées au cours des années 1850 en ajoutant au mélange des petites quantités de ciment Portland. Le maître constructeur berlinois Becker est l'un des premiers à expérimenter ce ciment à partir de 1849 et, vers 1852, il essaie de le mélanger à du *Kalksand* pour en améliorer les propriétés²³. Les résultats sont favorables et convainquent aussi Engel de l'efficacité de cette nouvelle combinaison. Le ciment Portland se lie aisément avec la chaux grasse en lui conférant une certaine qualité hydraulique. Pourtant, Engel conçoit un nouveau mélange approprié à la construction des fondations, lequel est composé de chaux, de ciment Portland et de sable. Dans ce mélange, il soutient que le ciment pourrait être remplacé par de la cendre de houille ou de tourbe, solution qui serait également adoptée par Coignet en France²⁴. Quant à l'usage des scories de la combustion, il produira plus tard des conséquences importantes.

De haut en bas :

Mélangeur Pl.1. (gauche)

Mélangeur Pl.11. (droite haut)

Mélangeur. (droite bas)

Johann Gottlieb Prochnow,
système de coffrage.

Daniel Friedrich Engel,
système de coffrage avec entretoise
en fer et système de coffrage, solu-
tions d'angle.

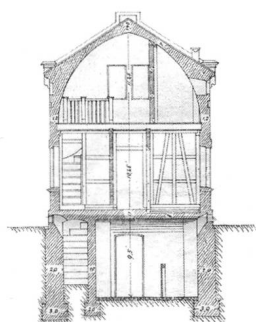
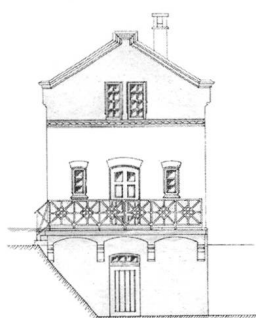
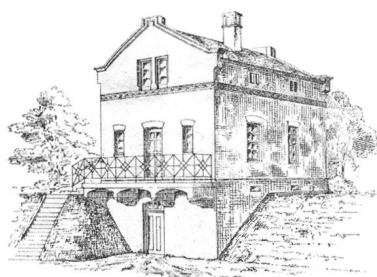
Dès 1855, le *Kalksand* est mis à rude épreuve dans la construction des voûtes. Il s'agit d'un véritable défi qui ne semble pas encore avoir été relevé à cette époque-là en Allemagne. Selon Gustav Adolf Breyman, alors professeur à l'école polytechnique de Stuttgart, des voûtes en conglomérat «*n'ont probablement pas du tout été construites dans les temps récents*»²⁵. Breyman se méfie de l'efficacité du conglomérat qu'il considère comme «une maçonnerie mal liée» et il suggère donc de l'éviter dans la construction de voûtes. De même, Wilhelm Salzenberg soutient qu'il faudrait éviter de construire des voûtes en mortier en raison de la mauvaise qualité de celui qui est disponible à l'époque²⁶. Krause et Engel se montrent par contre plus optimistes. La possibilité de construire «des voûtes en *Kalksand*, durables et économiques, pourrait représenter un pas en avant important dans l'architecture rurale», affirme Engel, tout en assurant que Badicke aurait bâti des voûtelettes entre des arcs-doubleaux pour couvrir un espace de onze pieds de portée dans son village²⁷. Bien que «la construction des voûtes en *Kalksand* n'ait été que peu tentée», elle est «tout à fait faisable», estime Krause, en mentionnant que les expériences et les principes acquis dans la construction des voûtes en pierres et en briques sont également valables pour la construction des voûtes en *Kalksand*²⁸.

En 1853, le maître constructeur E. H. Hoffmann, l'un des spécialistes de la construction de voûtes à l'époque, publie un livre à ce sujet²⁹. Deux ans plus tard, lorsqu'il construit sa propre maison, Hoffmann choisit de couvrir seize pièces avec des voûtes sphériques en *Kalksand*³⁰. Pour quatre d'entre elles, il expérimente un conglomérat très maigre avec moins de 10% de ciment Portland et de chaux, tandis que pour les autres, il décide de renoncer au ciment³¹. Les voûtes sont décoffrées au printemps 1856. Celles qui sont bâties en conglomérat contenant du ciment tiennent, tandis que les autres présentent tant de défauts qu'elles finissent par être démolies. Hoffmann n'attribue pas la responsabilité de l'échec à la composition du conglomérat mais à une erreur de géométrie – les points d'appui n'auraient pas tous été à la même hauteur –, ainsi qu'à une mise en œuvre imprudente du *Kalksand*. Après cette expérience, en 1857, Hoffmann réutilise le *Kalksand*, enrichi cette fois de ciment, pour bâtir la voûte d'un petit pont. Cependant, une année plus tard, l'analyse visuelle d'un morceau de conglomérat durci révèle une porosité jugée inquiétante. Par conséquent, lorsqu'il s'agit de bâtir trois autres ponts en 1858, Hoffmann adopte un compromis entre la construction en pierres et celle en *Kalksand*. Il pilonne une couche de *Kalksand* sur des cintres, puis dispose des pierres de forme prismatique dans le conglomérat à une distance de deux pouces l'une de l'autre et complète enfin la construction en remplissant les joints et en couvrant l'extrados avec du *Kalksand*.

L'emploi du ciment Portland ne semble pas être considéré comme un facteur clé dans la construction des voûtes qui, au cours des années 1850, oscille entre audace confiante et prudente hésitation.

Béton de ciment : de la littérature à la construction

Il faut attendre les années 1860 pour que le béton hydraulique s'impose progressivement dans la construction des bâtiments au détriment du *Kalksand*. Les principaux inconvénients de ce dernier semblent finalement être reconnus : d'une part, sa résistance est trop faible et, d'autre part, son temps de durcissement est trop long³². Au même



J. Schlierholz, maison en béton.

moment, des bâtiments en béton réalisés au Royaume-Uni attirent l'attention, notamment les logements édifiés sur l'île de Wight par le ministre britannique de la guerre, largement commentés dans la littérature technique qui, une nouvelle fois, joue le rôle de précurseur³³. En 1860, la seconde édition d'un manuel relatif à la construction en béton écrit par Johann von Mihálik, un ingénieur hydraulique d'origine hongroise, est publiée à Berlin³⁴. Le livre débute par une déclaration claire sur l'efficacité de ce matériau aussi bien dans l'eau que hors sol : «[...] avec le béton, il est possible de bâtir avantageusement toutes sortes de maçonnerie, sous l'eau comme hors de l'eau.»³⁵ Le béton conçu par Von Mihálik est analogue à celui qui a été expérimenté dans l'architecture hydraulique allemande dès la fin des années 1820³⁶.

Le maître constructeur Becker écrit également au sujet de la construction en béton : tout d'abord en 1857, dans un premier ouvrage traitant des escaliers massifs, puis en 1860 dans un deuxième ouvrage relatif à l'emploi des ciments³⁷. A la différence de Von Mihálik, Becker s'intéresse presque exclusivement au béton composé de ciment Portland et retrace une évolution unique de la construction en béton de l'Antiquité jusqu'à son époque, en englobant également l'expérience du *Kalksand* qui est traitée comme l'un des moments de cette évolution³⁸.

Ces ouvrages littéraires font partie de l'héritage culturel de l'ingénieur J. Schlierholz qui a également eu connaissance des études menées par le chimiste Max Joseph Von Pettenkofer sur la nature et les propriétés du ciment Portland comparées à celles du ciment Romain – un prédécesseur du Portland. Parallèlement à la réalisation des chemins de fer souabes entre Aulendorf et Sigmaringen, Schlierholz bâtit trois maisons cantonnières avec fondations, murs et voûtes en béton, entre 1867 et 1868³⁹. Il s'agit de constructions expérimentales qui font appel à différents mélanges de béton, dont les quantités de ciment Romain et de ciment Portland sont variables. Le béton n'est jamais trop maigre et la teneur moyenne en ciment est égale à 20%⁴⁰. Le choix du système de coffrage montre aussi une volonté d'expérimentation remarquable. Deux maisons sont bâties avec des coffrages ordinaires en bois, tandis que la troisième est construite avec des coffrages composés de parois en tôle assemblées à l'aide de barres et de traverses métalliques. Ce système de coffrage est très probablement similaire à celui breveté au Royaume-Uni par Charles Drake. Compte tenu du succès de ces constructions, l'administration des chemins de fer souabes envisage de faire construire d'autres bâtiments en béton ; en 1870, Schlierholz en réalise une dizaine⁴¹.

Béton et recyclage de résidus industriels

Dès 1870, le béton fait définitivement partie de l'art de construire en Allemagne, au point que certains quartiers sont entièrement constitués de maisons en béton. C'est par exemple le cas de la colonie ouvrière Victoriastadt réalisée par les entrepreneurs Anton et Alfred Lehmann pour faire face à la pénurie de logements dans la nouvelle zone industrielle de Rummelsberg, au-delà de ce qui est à l'époque la frontière orientale de Berlin. En 1870, Anton Lehmann acquiert un terrain de vingt hectares et l'ingénieur Alexis Riese, employé des Lehmann, fait un voyage en Angleterre. Le béton anglais est alors souvent très maigre, composé d'une faible quantité de ciment Portland et de matériaux «les plus divers que l'on peut trouver aisément et à faible coût près des chantiers, comme par exemple le sable marin, la cendre de houille, les scories métallurgiques»⁴². A son retour,

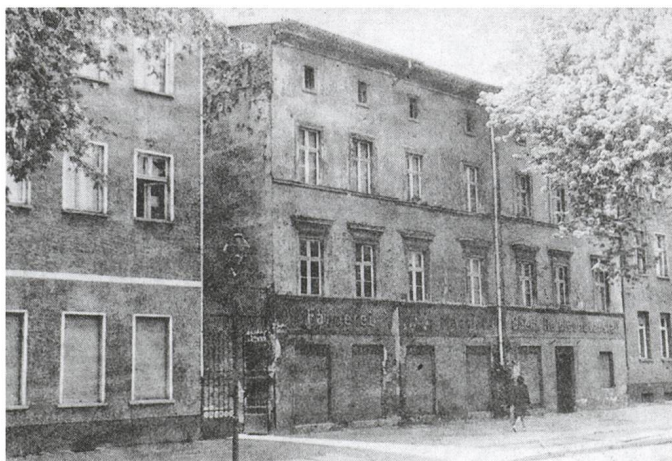
Riese réalise un bâtiment expérimental comprenant un sous-sol et deux étages en utilisant du béton composé de ciment Portland, de sable, de gravier, de débris récupérés lors de la démolition d'autres bâtiments et de scories de houille tirées d'une usine à gaz, le tout mis en œuvre avec des coffrages en métal du type Drake⁴³. Suite à la réussite de ce premier essai, les frères Lehmann fondent l'entreprise Cement-Bau et la construction du quartier commence. Dans les premières maisons, seuls les murs sont en béton. Par la suite, les escaliers et les voûtes de couverture de chaque pièce le seront également. Le mélange utilisé pour les murs est très maigre : composé de 75% de scories de houille, 15% de sable et seulement 10% de ciment, il rappelle les proportions entre sable et chaux typiques du *Kalksand*. Par souci de résistance, le béton utilisé pour construire les voûtes contient plus de ciment (une teneur d'environ 14%)⁴⁴. Soumises à des tests de charge à la fin de 1871, les voûtes montrent une résistance de 3750 kilogrammes par mètres carrés, contre une sollicitation moyenne prévue de 750 kilogrammes. L'utilisation d'un béton très maigre et riche en scories de houille ne semble donc pas compromettre la résistance des voûtes. Au contraire, la quantité importante de scories est réputée être à l'origine d'une certaine porosité du béton qui permettrait aux murs de rester secs, favorisant ainsi la salubrité des habitations⁴⁵.

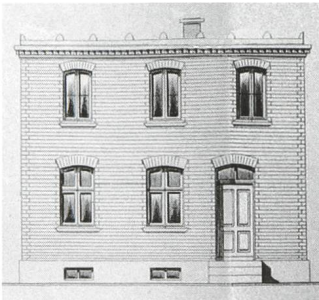
Parallèlement à la construction de Victoriastadt, plusieurs fois mentionnée dans la presse technique, d'autres expériences remarquables de construction en béton sont réalisées dans le duché de Brunswick. En 1872, l'entrepreneur Godhard Friedrich Julius Prüssing et le commerçant Friedrich Planck fondent une usine de production de ciment Portland dans la ville de Vorwohle⁴⁶. Ils prennent ensuite contact avec Bernhard Liebold qui possède un bureau technique dans la ville voisine de Holzminden et enseigne à la locale Baugewerkschule. C'est probablement parce qu'il a accès à la bibliothèque de cette école que Liebold, qui a déjà construit une canalisation en mortier de ciment dans une fabrique à Karlsruhe vers 1870, parfait ses connaissances sur le béton et la construction de Victoriastadt⁴⁷. En 1873, Prüssing et Planck, avec la participation de Liebold, fondent une entreprise de construction. Un an plus tard, ils réalisent un ensemble d'habitation pour ouvriers à Vorwohle⁴⁸. Le bâtiment, constitué de deux étages et d'un sous-sol, possède des murs de briques en *Kalksand* (sur le modèle de celles de Prochnow) et les voûtes de couverture de chaque pièce sont en béton. La production des briques en *Kalksand* est contrôlée par Liebold en personne, ce qui lui permet ainsi d'expérimenter un mélange composé de

Morceaux de béton contenant des scories de houille appartenant à la maison située à Spittastraße 25, Victoriastadt, Berlin.

Maisons en béton à Türschmidtstraße, Victoriastadt, Berlin.

Voûtelette surbaissée en béton.





scories de houille et de chaux⁴⁹. Quant à la conception du béton pour les voûtes, Liebold se montre plus prudent et utilise un mélange composé de ciment, de sable et de pierraille⁵⁰. Au cours de ces mêmes années, Prüssing et Liebold étudient la possibilité d'utiliser des scories métallurgiques dans le béton, solution qu'ils expérimentent dans la construction de l'ancienne auberge de Vorwohle en 1876⁵¹. Lorsque Prüssing s'aperçoit que l'usage de scories métallurgiques est économique et offre des avantages techniques tels que le ralentissement de la prise du béton et la réduction de la chaleur produite, il affine sa technique jusqu'à concevoir un mélange de ciment Portland et de scories moulues ; un ancêtre du futur ciment laitier⁵².

Etant donné qu'elles sont utilisées dans le béton, les scories de houille et les scories métallurgiques ne sont bientôt plus considérées comme des déchets. «*La notion de résidu est en train de disparaître progressivement, puisque nous avons trouvé la manière et les moyens de les rendre à nouveau utiles*»⁵³, affirme Liebold. Le béton, dont l'ancienne vocation était d'être un matériau de recyclage de débris, se confirme encore à l'âge industriel avec la réutilisation des scories.

Notes

L'auteur tient à remercier Franziska Böhmer et Thomas Kilper (Galerie d'art «After the Butcher», Victoriastadt, Berlin), Christina Czymay et Britta Kaden-Pohl (Landesdenkmalamt, Berlin), Matthias Seeliger (Stadtarchiv Holzminden) pour leurs aides précieuses dans la recherche de certaines sources et pour les visites de certains bâtiments en béton de l'époque encore existants.

¹ Voir «Instruktion des Oberbaudepartments vom 17. 4. 1770», Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, GStA II. HA GD, Gen. Dep Tit XII Nr. 1, selon Reinhart Strecke, *Anfänge und Innovation der preußischen Bauverwaltung. Von David Gilly zu Karl Friedrich Schinkel*, Böhlau, Cologne-Weimar-Vienne, 2000, pp. 89-90. La recherche de matériaux impérissables concerne aussi l'intérêt pour la pierre artificielle réalisée à base de mortier et la construction en pisé

qui est connue sous le nom de *Hundt'sche Baumethode*, du nom du maître constructeur Johann Heinrich Hundt, qui écrit une brochure sur cette technique (voir «Versuche sowie Anfertigung künstlicher Steine» GStA PK I.HA Rep. 93B Ministerium für öffentliche Arbeiten, n° 1394 ; «Pisébau oder Aufführung der Wände mit gestampfter Erde», GStA PK, II. HA Generaldirektorium, Abt. 30.I, Oberbaudepartement, n° 149 ; «Einführung des sogenannten Pisé-Baues», GStA PK, II. HA Generaldirektorium, Abt. 6.I, Preuß. Direktorialregistratur, n° 58 ; «Bauangelegenheiten, Gewährung von Zuschüssen, Genehmigung für Baumaßnahmen und Beschwerden gegen baupolizeiliche Anordnungen, Bd. 1», GStA PK, I. HA Rep. 89 Geheimes Zivillkabinett, jüngere Periode, n° 28540 ; Alexander von Lengerke, *Darstellung der Landwirtschaft in den Großherzogthümern Mecklenburg*, vol. I, Gebrüder Bornträger, Kaliningrad, 1831, pp. 122-126).

² Zimmermann, «Einige Bemerkungen über die Festigkeit, Mischungsverhältnisse und Zubereitung des Bétons [sic], oder des Mauerwerkes aus klein geschlagenen, mit Mörtel untergemengten Steinen, dessen man sich zuweilen, um Fangdämme und Wassers schöpfen zu sparen, zur Fundamentirung [sic] von Bauwerken unter Wasser bedient», dans *Journal für die Baukunst*, vol. III, 1830, (pp. 1-32), pp. 6-7. Voir aussi Aimable Hageau, *Description du canal de jonction de la Meuse au Rhin*, Chez l'Auteur, Paris, 1819.

³ Joseph Alois von Pechmann, *Der Ludwig-Canal: eine kurze Beschreibung dieses Canal's und die Ausführung desselben*, Joseph Lindauer, Munich, 1846, p. 44.

⁴ François-Martin Lebrun, *Méthode pratique pour l'emploi du béton en remplacement de toute autre espèce de maçonnerie dans la construction en général*, Chez Carilian-Goeury, Paris, 1835 ;

Maison de la colonie pour ouvriers à Vorwohle (haut).

Ex-auberge de Vorwohle et détail du béton contenant des scories métallurgiques (bas).

Id., *Der Steinmörtel oder praktische Anweisung den Steinmörtel bei Gebäuden im Allgemeinen, besonders aber bei Bauten an und unter dem Wasser, bei Gewölben etc. statt jeder andern Art von Mauerarbeit Vortheil zu benutzen*, Nübling, Ulm, 1837. Le traducteur insiste déjà dans le titre sur l'utilité du béton hydraulique dans les constructions «près de, ou sous l'eau».

⁵ Carl Gustaf Rydin, *Gjutna kalkbrukshus. Ett nytt byggnadssätt*, Georg Scheutz, Stockholm, 1834; Id., «Das gegossene Kalkmörtelhaus. Eine neue Bauart von C. H. Rydin [sic!]», trad. par Heinrich Friedrich Franz Körte, dans *Möglin'sche Jahrbücher der Landwirthschaft*, vol. II, 1837, pp. 151-181.

⁶ Antoine Raucourt de Charleville, *Traité sur l'art de faire de bons mortiers et notions pratiques pour bien en diriger l'emploi: précédé d'expériences recentes faites sur les chaux de France et de Russie, Voies de communication*, St. Pétersbourg, 1822 et Id. *Traité sur l'art de faire de bons mortiers et d'en diriger bien l'emploi, ou Méthode générale pratique pour fabriquer en tous pays la chaux, les ciments et les mortiers les meilleurs et les plus économiques*, 2^e édition, Malher et Cie, Paris, 1828. François Cointeraux, *Ecole d'Architecture Rurale*, Chez l'Auteur, Paris, 1791.

⁷ Johann Gottlieb Prochnow, *Anleitung zur Kunst, Wohnungen und Wirthschafts-Gebäude in sehr kurzer Zeit wohlfeil, Feuer- und Wetterfest zu erbauen aus reinem Sande und sehr wenigem Kalk*, J. C. W. Jantzen, Schwedt, 1842.

⁸ *Ibidem*, p. 16.

⁹ *Ibid.*, pp. 28-30. En 1854 le médecin Anton Bernhardt invente une presse pour la production en série de briques en conglomerat maigre pour disposer d'un matériau économique adapté à la construction de logements

salubres, voir Johann Daniel Friedrich Engel, «Ueber Kalkziegelfabrikation und Kalkziegelbau», *Polytechnisches Journal*, vol. CLIII, 1859, pp. 100-109; Bernhard Liebold, *Zement*, Hendel, Halle, 1874, p. 53.

¹⁰ Voir «Die von dem Ackerbürger Prochnow zu Bahn neu eingeführte Sand-Kalk-Pisee-Baumethode [sic] 1847-1863», *GStA PK, I. HA Rep. 93 D Technische Oberbaudeputation*, n° 45/2; [Friedrich Conrad Theodor] Krause, *Anleitung zur Kalk-Sand-Bau-Kunst*, Flemming, Glogau, 1851, pp. 2-4; Johann Daniel Friedrich Engel, *Der Kalk-Sand-Piseebau*, Roeder, Wriezen, 1851, p. 22.

¹¹ Johann Carl Leuchs, *Verbesserte Darstellung der Kitte, Mörtel, künstliche Steine, künstliche Massen, des Siegellaks, der Oblaten, der Löthe, und Anwendung der ersteren zum wohlfeilsten Bau von Häusern, Mauern, Kellern, Fußboden, Dächern, Rauchfängen, Wasserbecken, Wasserröhren, Brücken und Strassen*, C. Leuchs & Co., Nuremberg, 1848, pp. 114-129. Voir aussi s. a., «Ueber Häuserbau mit Mörtel», in *Kunst- und Gewerbeblatt des Polytechnischen Vereins für das Königreich Bayern*, XLII, 1856, p. 576.

¹² Leuchs utilise la chaux noire de Bamberg qui était déjà connue depuis longtemps dans la région, mais qui a été mise en valeur par l'ingénieur Friedrich Panzer dans les années 1830 (voir Friedrich Panzer, *Ueber das Vorkommen des hydraulischen Kalkes in der Keuperformation, über die Dauerhaftigkeit, absolute und rückwirkende Festigkeit desselben und der Steine, als Beitrag zu dem Bau des Kanales zur Verbindung der Donau mit dem Main*, Lindauer, Munich, 1836, pp. 3-5).

¹³ Voir C. Gebhardt, «Der Aschenstampfbau», in *Zeitschrift für Bauhandwerker*, XVII, 1873,

pp. 159-160 et pp. 174-175.

¹⁴ La cendre de Dornick est similaire à la plus connue cendre de Tournay utilisée en France.

¹⁵ La composition du conglomerat hydraulique utilisé dans la construction de fondations reste, encore pendant une décennie, basée sur l'idée d'un mélange de chaux grasse et de briques concassées; à ce propos voir Engel, *Der Kalk-Sand-Piseebau*, op. cit., p. 46; Krause, *Anleitung zur Kalk-Sand-Bau-Kunst*, op. cit., pp. 64-65.

¹⁶ Johann Gottlieb Prochnow, *Nachtrag zu der Schrift Anleitung zur Kunst, Wohnungen und Wirthschaftsgebäude aus Sand und Kalk zu errichten*, C. R. Winckelmann, Schwedt, 1845, pp. 6-8.

¹⁷ Voir s.a., *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbflusses in Preußen*, XI, 1832, pp. 283-284 et pl. XXX.

¹⁸ Johann Daniel Friedrich Engel, *Der Kalk-Sand-Piseebau. Nachtrag*, op. cit.; Krause, *Anleitung zur Kalk-Sand-Bau-Kunst*, op. cit.

¹⁹ Johann Christian Wedeke, *Der Bau mit gestampftem Mörtel*, Gottfried Basse, Quedlinburg et Leipzig, 1850, p. 3.

²⁰ Johann Daniel Friedrich Engel, *Der Kalk-Sand-Piseebau*, op. cit., p. 2.

²¹ S. a., «Ueber Häuserbau mit Mörtel», op. cit.

²² Johann Christian Wedeke, Johann Andreas Romberg, *Die Baumaterialienlehre*, Romberg, Leipzig, 1850, col. 329; William Löbe, *Encyclopädie der gesammten Landwirthschaft, der Staats-, Haus- und Forstwirthschaft und der in die Landwirthschaft einschlagenden technischen Gewerbe und Hilfswissenschaften*, Otto Wigand, Leipzig, vol. I, 1850, pp. 202-207; Leo Bergmann, *Baulexicon oder Realencyclopädie des gesammten*

Bauwesens, vol. I, Ernst Schäfer, Leipzig, 1855, pp. 224-225.

²³ W. A. Becker, *Practische Anleitung zur Anwendung der Cemente zu baulichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen und Kunst-Gegenständen*, Nicolaische Verlagsbuchhandlung, Berlin, 1860, p. 58.

²⁴ Johann Daniel Friedrich Engel, *Der Kalk-Sand-Pisébau. Nachtrag*, op. cit., pp. 4-7.

²⁵ Gustav Adolf Breymann, *Allgemeine Bau-Constructions-Lehre, mit besonderer Beziehung auf das Hochbauwesen*, vol. I, Hoffmann, Stuttgart, 1849, pp. 82-83.

²⁶ [Wilhelm] Salzenberg, «Einige Bemerkungen über die Gewölbeconstruction des antiken Rom», in *Zeitschrift für Bauwesen*, VII, 1857, (coll. 424-429), col. 425. Il est très probable qu'il s'agisse de Wilhelm Salzenberg, architecte et élève de Karl Friedrich Schinkel qui, en 1854, a publié un livre sur les monuments chrétiens de Constantinople, dans lequel il prête une attention particulière à la construction des voûtes de Agia Sophia (voir Wilhelm Salzenberg, *Alt-christliche Baudenkmale von Constantinopel vom V. bis XII. Jahrhundert*, Ernst & Korn, Berlin, 1854, pp. 19-22).

²⁷ Engel, *Der Kalk-Sand-Pisébau...op. cit.*, pp. 80-81.

²⁸ Krause, *Anleitung zur Kalk-Sand-Bau-Kunst*, op. cit., p. 71.

²⁹ E.H. Hoffmann, *Über Form und Stärke gewölbter Bögen*, Nauck, Berlin, 1853.

³⁰ Voir E. H. Hoffmann, «Mittheilungen über Gewölbe aus Stampfmörtel», in *Zeitschrift für Bauwesen*, VIII, 1858, col. 453-456.

³¹ *Ibidem*, col. 453.

³² Liebold, *Zement*, op. cit., p. 55.

³³ *Ibidem*, Prospekt, pp. IV-VI et p. 2.

³⁴ Johann von Mihálik, *Praktische Anleitung zum Béton-Bau für alle Zweige des Bauwesens*, 2^e éd., Theobald Grieben, Berlin, 1860; le livre est originairement publié à Vienne. Le nom complet de von Mihálik est János Mihálik von Madunycz, né à Arad, actuellement en Roumanie.

³⁵ *Ibidem*, p. 7.

³⁶ Un mélange de sable, de gravier et de chaux hydraulique ou, en alternative à la chaux hydraulique, Von Mihálik indique le mélange traditionnel fait de chaux grasse et de ciment, c'est-à-dire «la poudre de briques, la ponce, la pouzzolane, le Trass, la cendre de Tournay, la terre de Santorin, le tuf et le grauwacke volcanique». *Ibid.*, pages 16 et 108.

³⁷ W. A. Becker, *Der Feuerfeste Treppenbau von natürlichen und künstlichen Steinen*, Ferdinand Riegel, Berlin, 1857, pp. 52-61; Idem, *Practische Anleitung zur Anwendung der Cemente*, op. cit.

³⁸ Becker, *Der Feuerfeste Treppenbau*, op. cit., pp. 52-59.

³⁹ J. Schlierholz, «Ueber Beton-Verwendung zu Hochbauzwecke, hauptsächlich zu ganzen Gebäuden», in *Allgemeine Bauzeitung*, XXXV, 1870, pp. 260-265.

⁴⁰ Pour les proportions exactes voir Liebold, *Zement*, op. cit., p. 77.

⁴¹ Schlierholz, op. cit., p. 263.

⁴² S.a., «Ueber die Anwendung des Beton zur Herstellung von Wohnhäusern», in *Zeitschrift für Bauhandwerker*, XVII, 1873, pp. 15; voir aussi Liebold, *Zement*, op. cit., pp. 41-42. Le rapport entre la quantité de ciment et celle des autres matériaux varie entre 1/7 et 1/13.

⁴³ Voir Heike Hinz, «Berlin-Lichtenberg, Türschmidtstrasse 17. Frühe Betonhäuser in der Victoriastadt ab 1871. Zur Entstehung und Sanierung des Wohnhauses in der Türschmidtstrasse 17», rendu final dans le cadre du cours d'étude «Aufbaustudiengang Denkmalpflege», Technische Universität Berlin, 2002.

⁴⁴ Liebold, *Zement*, op. cit., p. 76 et p. 106.

⁴⁵ *Ibidem*, pp. X-XI.

⁴⁶ Il s'agit de la Vorwohle Portland-Cement-Fabrik.

⁴⁷ Voir Matthias Seeliger, «Betonbau in der Provinz – Die Vorwohler Zementbaugesellschaft», in Uta Hassler, Hartwig Schmidt, éd., *Häuser aus Beton. Vom Stampfbeton zum Grosstafelbau*, Ernst Wasmuth, Tübingen, 2004, (pp. 47-57), p. 48; Liebold, *Zement*, op. cit., p. 85.

⁴⁸ Il s'agit de la Vorwohler Cement-Baugesellschaft Prüssing, Planck & Co.

⁴⁹ La proportion est: sept parts de scories de houille pour une part de chaux (Liebold, *Zement*, op. cit., p. 54).

⁵⁰ La proportion est: une part de ciment, deux de sable et quatre de pierraille. *Ibidem*, p. 106.

⁵¹ Une analyse visuelle du béton de ce bâtiment toujours existant montre la présence remarquable des scories métallurgiques.

⁵² Voir Eberhard Rauschenfels, «Der erstmalige Einsatz von Hochofenschlacke bei der Zementfabrikation durch die Portlandzementfabrik in Vorwohle», in *Jahrbuch für den Landkreis Holzminden*, vol. XXIII, 2005, pp. 147-153.

⁵³ Liebold, *Zement*, op. cit., p. 54.