

PAR ANNE BERNARD-GÉLY (74)

déléguée générale du Syndicat français de l'industrie cimentière



ET LAURENT IZORET

directeur de l'École française du béton



Louis Vicat (1786-1861) Le père d'un nouvel art de construire

Le nom de Louis Vicat a été inscrit une nouvelle fois, en 2011, dans la liste des personnalités honorées, dans le cadre des commémorations nationales à l'occasion du 150^e anniversaire de sa mort. Cet article rappelle l'importance de sa découverte scientifique et technique.

■ Louis Vicat se présente à l'École polytechnique en 1804, à l'âge de dix-huit ans, sur les conseils du mathématicien Joseph Fourier, alors préfet de l'Isère, et réussit le concours d'entrée.

En 1806, son rang de classement lui permet d'intégrer l'École des ponts et chaussées.

À la recherche de nouvelles techniques

Nommé en 1809 ingénieur ordinaire de deuxième classe à Périgueux, il participe aux travaux d'aménagement du département et se voit confier la construction du pont de Souillac.

Celle-ci avait été suspendue, l'Empire napoléonien étant financièrement exsangue. Ce concours de cir-

constances va inciter Louis Vicat à rechercher de nouvelles techniques pour assurer le plus économiquement, et le plus solidement possible, les fondations du pont.

En 1817, il isole un liant artificiel, le « ciment », et élabore la théorie de l'hydraulicité des chaux

Ce n'est qu'en 1817 qu'il redécouvre, grâce à sa curiosité scientifique et sa culture technologique, les propriétés hydrauliques des liants : en cherchant un mortier de pouzzolane capable d'améliorer la construction du pont de Souillac dont il a la



D.R.

charge, il isole un liant artificiel, le « ciment », et élabore la théorie de l'hydraulicité des chaux.

On pense bien sûr au Panthéon de Rome, au Colisée ou au Pont du Gard qui témoignent, aujourd'hui encore, de la durabilité de ce premier matériau composite. Mais ce principe resta inexploité et la technologie du béton se perdit complètement.

Une révolution dans l'art de construire

Cette découverte est à la base de la production industrielle du ciment qui a marqué une ère nouvelle révolutionnant complètement l'art de construire.

Près de deux cents ans plus tard, ces découvertes demeurent le socle à partir duquel se développent les plus récents progrès en matière de liant hydraulique et de béton.

Une technique perdue

Les Chinois, les Grecs, les Égyptiens, les Mayas élevaient des constructions avec des mortiers à base d'une chaux obtenue par cuisson de roches calcaires, suivie d'une extinction à l'eau. Les Romains fabriquaient des liants hydrauliques, comme en témoigne Vitruve dans ses dix livres d'architecture. Ils mélangeaient de la chaux à des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles qui, en présence d'eau, fixaient la chaux pour constituer un liant susceptible avec le sable de former un mortier, et inventèrent ainsi le « béton romain » qu'ils coulaient dans des coffrages en bois.

Le bon dosage

En suivant de près la construction du pont de Souillac et en contrôlant avec minutie les gâchées des ouvriers maçons, Vicat a pu montrer que le bon dosage en eau conditionnait la qualité du mortier. Il a même inventé un instrument de mesure pour tester la résistance du produit qui devint « l'aiguille Vicat ». En 1822, le pont de Souillac est achevé et entre dans l'histoire : première construction au monde réalisée avec du ciment artificiel, il mesure 180 mètres de long sur 9 mètres de large et compte 7 arches surbaissées reposant sur 6 piles.



Le pont de Souillac, première construction au monde réalisée avec du ciment artificiel.

Jusqu'à là, les fondations des piles de ponts étaient réalisées empiriquement selon un procédé coûteux à partir de poudre de tuileaux ou de pouzzolane et de chaux pour former un mortier propre à durcir sous l'eau. Face à ces questions à la fois économiques et techniques, Louis Vicat entreprend une série d'études sur les mortiers, au cours desquelles il fait de manière systématique l'analyse chimique des roches susceptibles de donner par cuisson un bon liant.

Un principe encore appliqué

De cette approche, il tire un indice hydraulique (dit de Vicat), rapport des éléments acides aux éléments basiques : il permet de composer des mélanges de roches qui donneront par cuisson un produit qui, finement broyé, durcira sous l'eau. Ce principe de composition quantitative des matières premières de cimenterie est encore appliqué aujourd'hui.

Portland et la suite

En 1824, à la suite de la découverte de Louis Vicat, l'Écossais Joseph Aspdin dépose un brevet de ciment artificiel, appelé Portland (comme la roche grise extraite de la presqu'île de Portland).

Puis, en 1833, un polytechnicien, Léon Pavin de Lafarge, installe des fours à chaux au Teil en Ardèche, et en 1848, la première usine de ciment, créée par Dupont et Demarle, s'installe à Boulogne-sur-Mer.

Louis Vicat applique ensuite ces principes en vraie grandeur ; il montre alors sa qualité d'entrepreneur en contrôlant en permanence les coûts de fabrication et poursuit la mise au point de la fabrication avec le souci constant d'en minimiser le coût.

Il préféra la gloire d'être utile à celle d'être riche

Les ciments artificiels

Le résultat de ces études lui permet de découvrir en 1817 de nouvelles chaux, les chaux hydrauliques artificielles, qui peuvent à volonté surpasser en qualité les meilleures chaux naturelles, et d'établir la loi de la fabrication du ciment artificiel : l'hydraulicité des chaux, c'est-à-dire le durcissement des liants sous l'eau, est due aux proportions d'argiles contenues dans les calcaires et à la température de cuisson, ce que vingt siècles d'usage n'étaient pas parvenus à élucider.

Pas de brevets

Durant plus de quarante ans de carrière, Louis Vicat, précurseur de la recherche expérimentale, poursuivit son œuvre scientifique. Chez lui, le savant rejoint réellement l'ingénieur, l'observation et l'interprétation se renforcent d'indications pratiques rigoureuses.

Louis Vicat ne déposa pas de brevet, considérant qu'il était redevable à la collectivité de sa formation d'ingénieur, donc de son invention.

La reconnaissance du monde littéraire

Tous les rapports ont mis en exergue le caractère durable et économique des inventions de Vicat et les possibilités offertes aux concepteurs, architectes et ingénieurs par le matériau naissant, le béton. Même le monde littéraire s'intéressa à ces découvertes, puisqu'en 1839 Honoré de Balzac écrivit dans *Le Curé de village* : « Quelle sera la récompense de Vicat, celui d'entre nous qui a fait faire le seul progrès réel à la science pratique des constructions ? »

Une reconnaissance scientifique et historique

La publication du travail de Vicat eut un très grand retentissement. Aussi, le Conseil général des ponts et chaussées et l'Académie royale des sciences, après avoir chargé de son examen certains de leurs membres qui, par leurs travaux antérieurs, semblaient les plus aptes à apprécier le mérite des découvertes annoncées par Louis Vicat, permirent une reconnaissance scientifique et honorifique de son œuvre.

Le béton armé

En 1853, son fils, Joseph Vicat, également polytechnicien (1841), crée la société Vicat et se lance dans la production industrielle du ciment artificiel inventé par son père. Parallèlement, la production industrielle

Hennebique et le bureau d'études

En matière de ponts, le démarrage fut plus tardif et les premiers ouvrages d'art en béton armé datent de l'extrême fin du XIX^e siècle ; c'est à François Hennebique que l'on doit la construction d'un premier grand pont, celui de Châtelleraut sur la Vienne avec ses 144 mètres de long.

Après des années de conception empirique, Hennebique met au point des règles de dimensionnement du béton armé et ouvre la voie du calcul et de la conception modernes. En se concentrant sur les études et la rationalisation du béton armé, il professionnalise la conception des structures et crée le bureau d'études, figure dominante de la maîtrise d'œuvre française.

➤ d'acier débute avec l'invention du four Bessemer, permettant ainsi le mariage des qualités de traction de l'acier et de compression du béton. Le béton armé naît d'abord avec la barque expérimentale de Joseph Lambot en 1848 et les caisses horticoles du jardinier paysagiste Joseph Monier en 1849, puis avec François Coignet en 1852 qui réalise les premières applications en bâtiment à Saint-Denis.

L'Exposition universelle de 1900 consacre le « béton armé »

Le symbole de la modernité

Alors que l'Exposition universelle de 1889 était celle du métal, celle de 1900 consacre le béton armé et son application généralisée dans le monde de la construction. Le béton devient alors le symbole de la modernité.



Le viaduc des Usses (A41) avec ses piles majestueuses.

Comprimer le béton de façon artificielle et permanente

L'administration française accompagne cette tendance et publie en 1906 le premier règlement de calcul, officialisant ainsi la technique du béton armé dans la construction qui trouve ainsi son plein épanouissement dans la première moitié du XX^e siècle, avant d'être fortement concurrencée par la technique du béton précontraint.

La précontrainte

Le principe même de la précontrainte est très ancien puisque les Égyptiens construisaient déjà des coques de bateaux constituées de planches de bois dont les joints étaient serrés sous l'effet du refroidissement de lames de fer posées à chaud. Dans les années 1900, l'idée vint aux ingénieurs d'appliquer ce principe au béton qui ne résiste guère à la traction pour limiter les fissurations : aux endroits où les charges développeront des tractions, il s'agit de comprimer le béton de façon artificielle, préalable et permanente.

Les premières recherches échouèrent et ce n'est que vers 1930 qu'un autre polytechnicien, Eugène Freyssinet (1879-1962), également ingénieur des Ponts – et, comme Vicat, à la fois théoricien, scientifique et praticien – sut appliquer ce principe de la précontrainte au béton et mettre au point des procédés visant à donner une redistribution intelligente des sollicitations dans la matière. Les premières applications de

son brevet furent la fabrication de poteaux électriques puis la consolidation de la gare maritime du Havre, dont le succès entraîna la diffusion rapide de la précontrainte dans les ouvrages d'art.

Les bétons à hautes performances

C'est dans les années 1980 qu'un nouveau saut technologique permet de donner de nouvelles propriétés constructives au béton, matériau désormais devenu universel. Ainsi apparaît une nouvelle génération de bétons, appelés pour la première fois bétons à hautes performances (BHP) par Roger Lacroix, lui aussi polytechnicien (46) et ingénieur des Ponts et Chaussées, et le professeur Yves Malier, précurseurs reconnus en Europe et aux États-Unis de ces nouveaux bétons, utilisés ensuite largement et en particulier dans la construction d'ouvrages emblématiques comme le pont de l'île de Ré ou la Grande Arche de La Défense.

Les débuts du béton précontraint

Le phénomène de la précontrainte est apparu à Eugène Freyssinet en 1912 au pont du Veurdre, ouvrage audacieux en béton armé sur l'Allier. Peu de temps après sa construction, la voûte s'abaissait progressivement et ce déplacement devenait si dangereux que Freyssinet décida en pleine nuit de relever, avec quelques ouvriers, les arcs sans faire interrompre la circulation. Cet incident lui permit de comprendre les déformations différées du béton et de déposer en 1928 son premier brevet de précontrainte en utilisant des câbles en acier pouvant supporter des tensions initiales élevées.

La course à la résistance mécanique

Aujourd'hui, les progrès dans les bétons ne se situent plus seulement dans la course à la résistance mécanique mais se déclinent à l'échelle globale de la construction, en pre-

nant en compte son utilisation et son analyse de cycle de vie, depuis la conception, la réalisation jusqu'à la démolition.

À partir d'une large gamme de composants que l'on compose à l'aide d'ajouts maîtrisés en cimenterie, la formulation de ces bétons modernes permet, en plus des aspects de résistance mécanique, de créer des matériaux et des systèmes constructifs aux qualités adaptées aux besoins : ductilité, esthétique jusqu'à la transparence, durabilité, isolation et inertie thermique, performances environnementales et sanitaires, efficacité énergétique, réduction des consommations de matières et des coûts de la construction.

Un jeu de construction

Pour l'architecte et le concepteur d'ouvrages, c'est un véritable jeu de construction qui s'offre à eux, jeu complexe mais pour des solutions multiples et adaptées avec l'aide des maîtres de l'art (ingénieurs, fournisseurs de matériaux, entreprises, etc.).



D.R.

La tour Oxygène à Lyon, réalisée suivant la démarche Haute Qualité Environnementale.

Bétons modernes

Les bétons modernes sont formulés par extension de la notion de composite : par association avec les molécules organiques qui apportent des qualités de plus en plus spécifiques comme la rhéologie ou l'incorporation de fibres de natures variées, on maîtrise aujourd'hui des bétons qui se mettent en place sous le simple effet de la gravité sans avoir recours à la vibration bruyante et pénible (bétons autoplaçants), ceux devenus ductiles par l'utilisation d'une large gamme de granulométrie de leurs composants, les « autonettoyants » par action photocatalytique de micro-particules, les bétons dépolluants qui purifient l'air, les bétons phoniques destinés aux écrans acoustiques, les bétons isolants, les bétons drainants, les bétons isolants qui laissent passer la lumière, ceux à faible niveau d'émissions, les bétons de granulats légers, ceux qui résistent à de très hautes températures et même des bétons flexibles, voire rebondissants.

Toujours plus d'audace dans la conception des ouvrages et des bâtiments

La communauté polytechnicienne est très largement impliquée dans cet art de la conception, que ce soit pour des constructions « courantes » qui consomment plus de 85 % du béton produit, ou d'autres constructions plus exceptionnelles – comme le viaduc de Millau, l'opéra de Pékin ou d'autres ouvrages remarquables pour lesquels nos camarades Michel Virlogeux, Paul Andreu et tous les concepteurs innovants orchestrent l'utilisation de ces nouveaux matériaux.

De la résistance à la performance

Toute cette nouvelle génération de bétons a profondément modifié la construction non seulement dans son aspect technologique, réduction des coûts et des délais de mise en œuvre, qualités environnementales et sanitaires, mais

aussi dans son aspect humain et social comme l'amélioration du confort et l'augmentation du niveau de qualification des opérateurs.

Le béton n'est plus seulement « résistance », il est maintenant « performances », intégrant les défis de la construction durable, soutenant toujours plus d'audace dans la conception des ouvrages et des bâtiments.

Et son histoire n'est pas finie, un autre saut technologique est probablement en train de s'amorcer avec les nouvelles approches du béton à l'échelle nanométrique qui permettront d'encore mieux maîtriser la rhéologie du matériau et d'en optimiser la formulation pour continuer sur les traces de Louis Vicat à s'adapter aux nouveaux défis de notre société. ■

Le groupe cimentier international Vicat, entreprise française, a su garder à la fois une tradition familiale, une vocation industrielle et un management humain tout en réussissant à s'implanter dans onze pays à travers le monde et à s'imposer comme un des fleurons français à l'international.

L'École polytechnique compte Louis Vicat parmi ses élèves qui ont fait honneur à la France entre 1794 et 1994 en le représentant aux côtés de Cauchy sur le triptyque du Bicentenaire de l'École situé dans le grand hall à Palaiseau.