

# Du béton jusqu'au ciel

Au cours des cinquante dernières années, les techniques de mise en place du béton ont fait des progrès considérables grâce à la maîtrise de la rhéologie du béton. Ainsi, celle-ci ne dépend plus uniquement de l'eau qu'on y introduit au moment de son malaxage, mais plutôt d'un équilibre judicieux entre les dosages en eau, en superplastifiants et adjuvants modificateurs de viscosité.

Les superplastifiants et les adjuvants modificateurs de viscosité procurent au béton un très grand avantage sur l'acier lors de la construction d'édifices en hauteur. Il n'est plus nécessaire de se servir de grues pour monter le béton et le placer, puisque celui-ci peut être pompé du premier jusqu'au dernier étage... C'est ainsi qu'au fil du temps, la construction des gratte-ciel est passée d'une ossature en acier à une structure en béton.

## 1 L'ère des réducteurs d'eau à base de lignosulfonates

### a - Water Tower Place, Chicago, Etats-Unis, 1968

Dans les années 1960, le béton le plus résistant disponible sur le marché de Chicago, aux Etats-Unis, était un 30 MPa présentant un affaissement de 100 mm. Il servait à construire les poteaux des édifices en hauteur jusqu'à ce que John Albinger découvre qu'en sélectionnant avec beaucoup de soin le ciment, la cendre volante et le réducteur d'eau, il pouvait doubler la résistance en compression de ses bétons... Pour les introduire sur le marché, il employa un stratagème particulier : pendant la construction de poteaux de 30 MPa, il demanda à l'ingénieur et à l'architecte la permission de couler un béton de 40 MPa dans un des poteaux, sans coût additionnel. Cette expérience fut un succès, si bien que l'ingénieur et l'architecte en question conçurent les poteaux du gratte-ciel suivant en béton de 40 MPa.

John Albinger répéta le même subterfuge une deuxième et troisième fois avec des bétons de 50 MPa et 60 MPa, si bien que les poteaux des premiers étages du Water Tower Place furent construits, à Chicago en 1968, avec un béton de 60 MPa ayant 100 mm d'affaissement. Cependant, il fut impossible à John Albinger d'augmenter la

Le Water Tower Place de Chicago, érigé en 1968.

résistance de son béton au-delà de 60 MPa, car la dispersion des particules de ciment était limitée par le manque de performance des réducteurs d'eau à base de lignosulfonates.

### b - CN Tower, Toronto, Canada, 1976

Un autre exemple historique de l'utilisation des lignosulfonates est la CN Tower, à Toronto, au Canada, qui a été la plus haute structure autoportante en béton au monde, jusqu'à la construction de la Burj Khalifa, à Dubaï, aux Emirats arabes unis. Réalisée en 1976, la CN Tower fut érigée à l'aide d'un béton à air entraîné, ayant une résistance moyenne de 55 MPa.



Panorama sur la ville de Toronto et la CN Tower.

## 2 L'ère des superplastifiants

### a - Two Union Square, Seattle, Etats-Unis, 1989

Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau sont apparus sur le marché vers la fin des années 1970 et ont permis d'abaisser encore davantage le rapport eau/ciment des bétons, tout en les fluidifiant.

Capitale de l'Etat de Washington, Seattle est une ville où il y a beaucoup de vent. Pour limiter les oscillations de leur nouveau bâtiment lors de grandes bourrasques, l'architecte et l'ingénieur du Two Union Square décidèrent de construire l'édifice avec un béton ayant un module élastique de 50 GPa. Pour obtenir ce dernier, il fallut utiliser un granulats de granite particulièrement résistant et diminuer le rapport eau/liant jusqu'à 0,22.

Construction de l'immeuble Two Union Square, à Seattle, en 1989.



La résistance en compression du béton atteignit ainsi 130 MPa, en dépit du fait que la résistance de calcul employée par l'ingénieur n'était que de 90 MPa. Ce béton à très haute résistance et à module élastique très élevé fut confiné dans de gros tubes d'acier pour augmenter encore davantage la rigidité de l'édifice.

La livraison d'un béton de rapport eau/liant égal à 0,22 ne fut pas simple – et ne l'est toujours pas –, car sa durée pratique d'utilisation est critique. Il fut donc décidé de livrer ce béton de nuit et en fin de semaine. Pour pallier les plaintes des résidents du quartier contre le bruit de la centrale à béton, l'entrepreneur et le producteur de béton leur proposèrent de construire gratuitement un terrain de jeux pour leurs enfants, terrain de jeu que la ville de Seattle refusait de réaliser depuis plusieurs années. Des bouchons auditifs furent aussi fournis à tous ceux qui en faisaient la demande pour leur assurer un profond sommeil durant les nuits de livraison. La communauté accepta cette solution avec beaucoup d'enthousiasme !

Groupes de pompage du béton au pied de la Burj Khalifa, lors de sa construction.



#### b - Burj Khalifa, Dubaï, Emirats arabes unis, 2010

Si tous les ingénieurs savent que la Burj Khalifa, à Dubaï, est actuellement le plus haut édifice au monde avec ses 828 m, peu savent qu'il s'agit d'une structure en béton jusqu'au 156<sup>e</sup> étage. Et encore moins que ce béton fut pompé jusqu'à une hauteur record de l'ordre de 606 m. Quant à la section supérieure de plus de 200 m, elle fut érigée par la suite en acier. Un travail long et coûteux en raison de la disponibilité de seulement deux grues. Celles-ci travaillèrent nuit et jour pour monter les pièces d'acier, afin de construire la structure métallique finale. Suite à cette expérience, les ingénieurs de Samsung suggérèrent de concevoir les prochains édifices de très grande hauteur entièrement en béton, puisque l'on ne peut pas (encore) pomper l'acier !

Projet Worli, un édifice de 83 étages en construction à Bombay, en Inde.



#### c - Projet Worli, Bombay, Inde, en cours

Ainsi, à l'heure actuelle, Samsung supervise la construction d'un édifice en béton de 83 étages, à Bombay, en Inde, où tout le béton est pompé du premier au dernier étage. Le malaxeur de la centrale à béton déverse d'ailleurs son béton directement dans la pompe. Les poteaux des étages inférieurs sont construits avec un béton de 80 MPa, ayant un affaissement de 200 mm et tous les planchers, avec un béton auto-plaçant de 30 MPa, ayant un étalement de 650 mm. On est bien loin du béton de 60 MPa, ayant un affaissement de 100 mm que l'on plaçait avec des bennes lors de la construction du Water Tower Place de Chicago, en 1968.

#### d - Kingdom Tower, Djeddah, Arabie saoudite, en cours

Le Saudi Binladen Group réalise actuellement la construction d'une tour, dont la hauteur prévue est de 1 km. Le scénario de mise en place du béton envisagé consiste à le pomper en deux passes : une première jusqu'à environ 500 m, puis une seconde à l'aide d'une deuxième pompe, qui pourra le livrer jusqu'au sommet de la structure. Des bétons auto-plaçants seront employés dans la majorité des éléments structuraux et un béton de 100 MPa sera coulé dans les poteaux inférieurs de la tour. Ces nouvelles possibilités de mise en œuvre du béton permettent, une fois de plus, de repousser les limites de son utilisation !



Maquette du Kingdom Tower, qui devrait devenir la plus haute construction de la planète.

A travers quelques exemples et cette brève histoire de la construction d'ouvrages de grande hauteur, il est évident que, suite au développement d'adjuvants dispersants et d'adjuvants modificateurs de viscosité particulièrement efficaces, il est maintenant possible de construire de façon plus efficace et plus économique des édifices en hauteur ayant une structure en béton que des édifices à ossature en acier. Cette prouesse technologique a été rendue possible grâce à une maîtrise du matériau qui permet de pomper les bétons jusqu'au ciel. Une question demeure cependant sans réponse : pendant combien de temps cette suprématie du béton persistera-t-elle ? Car l'industrie de l'acier n'a certainement pas dit son dernier mot !

Pierre-Claude Aïtcin  
et William Wilson  
Département de génie civil,  
Université de Sherbrooke, Canada

Nota : Cet article est une traduction adaptée d'un article paru en janvier 2015, dans la revue "Concrete International" de l'American Concrete Institute".