

Sans eau, pas de béton. L'eau est le catalyseur de la prise du béton, mais son excès détériore les qualités et la durabilité du béton. Le Lerm\* explique le rapport être qui existe entre l'eau, le ciment et le béton.

## Pathologie

# Le béton et l'eau

L'eau est un constituant indispensable à la confection des mortiers et bétons à base de liants hydrauliques. Elle agit non seulement pour conduire à la prise de ces matériaux par réaction entre les constituants anhydres des ciments, mais aussi pour leur conférer certaines de leurs caractéristiques à l'état frais et à l'état durci.

### 1 > Quel est le rôle de l'eau dans la fabrication du béton ?

Le clinker, constituant de base des ciments contemporains, correspond à une poudre composée par des phases minérales anhydres (silicates de calcium  $C_2S/C_3S$ , aluminat tricalcique  $C_3A$  et aluminoferrite tétracalcique  $C_4AF$ ) issues de la cuisson d'un mélange d'environ 80 % de calcaire et de 20 % d'argiles. Les types de ciments définis par la norme NF EN 197-1 sont constitués par des proportions variables de clinker, d'additions minérales (laitier de haut-fourneau, cendres volantes, fumées de silice, filler...) et de régulateur de prise (sulfates de calcium). Le mélange de ciment et d'eau conduit à la prise et au durcissement par formation de constituants hydratés (silicates de calcium hydratés C-S-H, portlandite, aluminates et sulfo-aluminates de calcium hydratés).

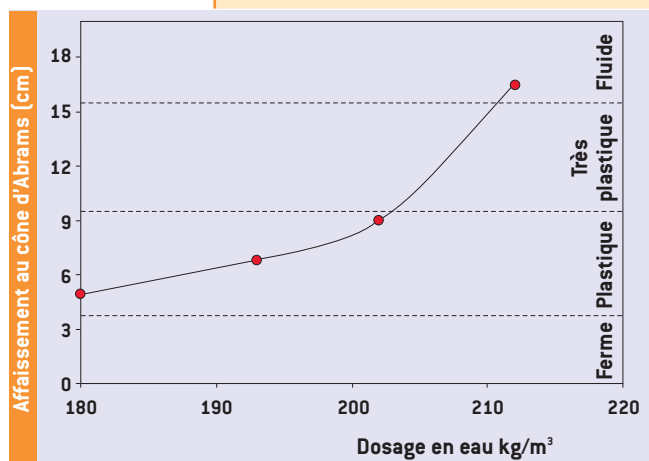
À l'état frais, la quantité d'eau dans le mélange (ciment - granulats - eau) conditionne entre autres la maniabilité et l'ouvrabilité du béton. Ainsi, pour des dosages en ciment et en granulats constants, la maniabilité et l'ouvrabilité seront d'autant plus facilitées que le dosage en eau sera important. Mais, à partir d'un seuil de dosage en eau, variable en fonction des formulations, les risques de ségrégation et de ressuage sont importants.

À l'état durci, de nombreux paramètres, notamment pris en compte dans les critères de durabilité, sont influencés par la quantité d'eau de gâchage incorporée lors de la mise en œuvre du béton : résistances mécaniques, porosités, perméabilités, coefficients de diffusion, etc. Pour des dosages en ciment et en granulats constants, les caractéristiques du béton seront d'autant plus performantes que le dosage en eau sera faible.

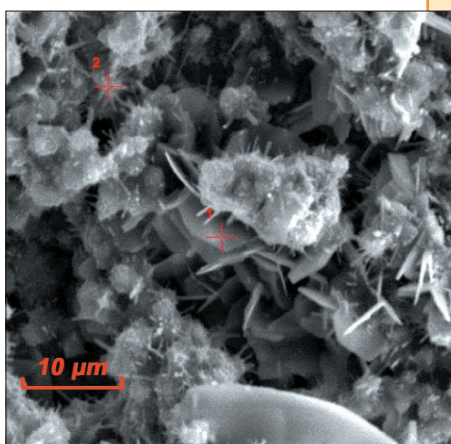
La mise au point d'une formulation de béton consiste donc à trouver le meilleur compromis, en fonction du contexte, entre les caractéristiques souhaitées du matériau à l'état frais, et les critères imposés à l'état durci. Le paramètre de formulation pris en compte pour parvenir à cet objectif est le rapport  $E_{u,efficace} / L_{i,équivalent}$ .

### 2 > Comment limiter l'apport en eau pour augmenter les performances des bétons ?

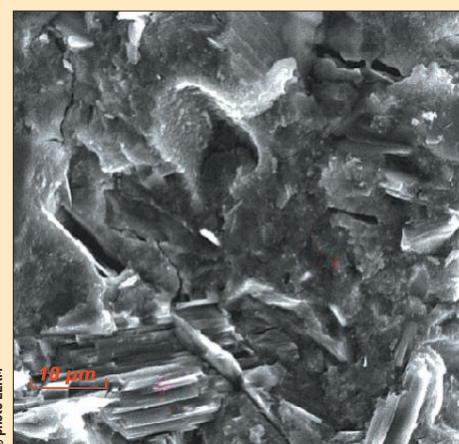
La quantité d'eau de gâchage étant un des paramètres essentiels agissant sur les caractéristiques des bétons à l'état frais et à l'état durci, l'industrie chimique s'est intéressée à la possibilité de mettre au point des adjuvants permettant de faciliter la mise en œuvre des bétons, leur résistance et leur durabilité. En France, ces adjuvants (plastifiants et superplastifiants) sont apparus dans les années 1970, mais se sont



Exemple d'évolution de l'affaissement en fonction du dosage en eau pour un même dosage en ciment (d'après Meusel et Rose, 1983)



Détail de la microstructure d'un béton poreux à rapport pondéral  $E_{u,efficace} / L_{i,équivalent}$  élevé



Détail de la microstructure d'un béton compact à faible rapport pondéral  $E_{u,efficace} / L_{i,équivalent}$

#### Effets des plastifiants et superplastifiants

##### Plastifiants - réducteurs d'eau

*Valeurs données par rapport à un témoin non adjuvanté*

- Réduction du dosage en eau :  $\geq 5 \%$
- Résistance à la compression à 7 et 28 j :  $\geq 110 \%$

##### Superplastifiants - haut réducteur d'eau

*Valeurs données par rapport à un témoin non adjuvanté et à consistance constante*

- Réduction du dosage en eau :  $\geq 12 \%$
- Résistance à la compression à 1 j :  $\geq 140 \%$
- Résistance à la compression à 28 j :  $\geq 115 \%$

*Valeurs données par rapport à un témoin non adjuvanté et à dosage en eau constant*

- Augmentation de l'affaissement au cône d'Abrams à partir d'une valeur initiale de 30 +/- 10 mm :  $\geq 120 \text{ mm}$
- Affaissement au cône d'Abrams après 30 mn :  $\geq 20 \text{ mm}$

Source - "Les Bétons : bases et données pour leur formulation" (Editions Eyrolles)



Parement fissuré par un phénomène de retrait accentué par un excès d'eau de gâchage

développés lentement en raison d'un manque de recul et de reconnaissance officielle. Ces produits sont des dispersants qui déflocculent les grains fins (ciment, addition minérale, filler, fraction fine des sables) et peuvent également développer des effets retardateurs ou accélérateurs de prise. Ils se présentent sous forme liquide ou solide (poudre), et sont incorporés dans l'eau de gâchage ou à la fin du malaxage. Leur plage d'utilisation, comprise entre 0,2 % et 3 % du poids de ciment, permet d'optimiser la quantité d'eau de gâchage et les résistances mécaniques [voir tableau].

Il est par exemple possible de réaliser des bétons très fluides de classe de résistance B 80 à B 100 avec des rapports  $Eau_{efficace}/Liant_{équivalent}$  de l'ordre de 0,30 à 0,35. Comparativement, un béton courant C 25/30 à C 30/37 est formulé avec des rapports pondéraux  $Eau_{efficace}/Liant_{équivalent}$  compris entre 0,5 et 0,6.

### 3 > Quelles peuvent être les conséquences d'ajouts d'eau non maîtrisés ?

Les ajouts d'eau non maîtrisés peuvent se produire au cours de bétonnage par temps chaud, de délais de livraison ou de mise en œuvre accrus. Dans tous les cas, ces ajouts d'eau ont pour but de

compenser une perte de maniabilité et d'ouvrabilité.

Les conséquences d'ajouts d'eau non maîtrisés (sur chantier ou en centrale à béton) sont les suivantes :

- a • une diminution des performances mécaniques du béton ;
- b • une augmentation de sa porosité concomitante avec une augmentation de ses propriétés de transfert (perméabilité, diffusivité, etc.) ;
- c • par voie de conséquence, une diminution de sa durabilité par augmentation des cinétiques de pénétration du  $CO_2$  atmosphérique (risques de corrosion par carbonatation), des chlorures (risques de corrosion par action des chlorures), des sulfates et des alcalins (risques de réactions endogènes nécessitant un apport externe d'humidité) ;
- d • augmentation des phénomènes de retrait ;
- e • diminution de la résistance aux cycles gel/dégel ;
- f • risques de ségrégation et de ressuage.

### 4 > Que dit la réglementation ?

En France, la réglementation applicable en matière de formulation de bétons est la norme NF EN 206-1 qui tient compte des expériences européennes, mais qui reste attachée à la connaissance française du béton par l'intermédiaire de son annexe nationale. Cette norme fixe les règles précises concernant la spécification, la production, la livraison et le contrôle de la conformité des bétons.

Elle donne des classes de consistance pour le béton à l'état frais, et fixe la quantité d'eau maximale de gâchage en fonction de la classe d'expositions du béton, par l'intermédiaire du rapport pondéral  $Eau_{efficace}/Liant_{équivalent}$ . Par exemple [voir article "Normes & Règles dans ce même numéro], pour un béton devant être mis en œuvre pour une classe d'expositions XS 1 (béton exposé à un air véhiculant du sel marin) où un des principaux risques est l'amorçage de la corrosion par les chlorures, la limite supérieure du rapport pondéral  $Eau_{efficace}/Liant_{équivalent}$  est fixée à 0,55.

Cette norme interdit tous les apports d'eau non maîtrisés, mais elle autorise en revanche une tolérance sur le dosage du ciment, de l'eau, des granulats, des additions minérales et des adjuvants. Pour la quantité d'eau de gâchage, cette tolérance est de +/- 3 % par rapport au dosage requis.

Pour faire face à d'éventuels problèmes de bétonnage par temps chaud, des formulations dérivées peuvent être utilisées en faisant varier le dosage des constituants dans une plage généralement comprise entre 5 et 10 % par rapport aux dosages de la formulation nominale. Dans tous les cas, ces formulations dérivées doivent, comme la formulation nominale, faire l'objet d'épreuves d'étude et de convenance afin de s'assurer qu'elles répondent bien au cahier des charges demandé.

**Christophe Carde** – Directeur Technique du LERM\*

\*En tant que laboratoire conseil indépendant spécialisé dans la caractérisation des matériaux de construction et de leurs pathologies, le LERM (Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux) est chaque jour confronté à l'étude des problématiques liées aux bétons.



Phénomène de ségrégation lié à un excès d'eau de gâchage associé à une vibration excessive