



DOSSIER

Les bétons performants

Invisible après la construction, le béton a longtemps souffert d'une mauvaise image de marque. Depuis les années 80 il a beaucoup évolué, à tel point qu'il peut même devenir un élément esthétique ou décoratif. Aujourd'hui considéré comme un matériau noble, il offre de multiples facettes. Il existe une très grande diversité de bétons adaptés à chaque type d'ouvrage, à la nature du chantier, aux conditions de mise en œuvre, aux exigences esthétiques... BHP, BFUP, BAP, BAN... sont des appellations auxquelles il faudra s'habituer.



Plus que centenaire, le béton a laissé au cours du siècle dernier une empreinte indéniable. Un grand nombre d'ouvrages de génie civil et d'édifices témoignent de sa durabilité, mais aussi de son esthétique grâce aux progrès techniques qui ont jalonné son histoire. C'est d'autant plus vrai que, ces dernières décennies, il a connu une amélioration de ses constituants qui a permis d'obtenir une grande diversité de bétons, qu'ils soient fabriqués par les entreprises sur les chantiers de génie civil et de bâtiments, ou dans les centrales de BPE (Béton Prêt à l'Emploi). Les bétons contemporains se sont développés à partir de travaux effectués sur le rôle de l'eau dans le béton. Celle-ci assure l'hydratation du ciment et l'ouvrabilité du béton. L'hydratation donne au béton ses qualités mécaniques, et une petite quantité d'eau suffit pour hydrater le ciment contenu dans le béton.

Les BHP, Bétons à Hautes Performances

Utilisés pour leur haute résistance, les Bétons à Hautes Performances (BHP) sont destinés aux ouvrages et structures exceptionnels (bâtiments de grande hauteur, ponts, viaducs, tunnels...), mais aussi pour la préfabrication d'éléments en béton. Ils ont fait leurs preuves sur de nombreuses réalisations.

Leur fabrication fait appel aux récentes évolutions technologiques des adjuvants - des superplastifiants - qui permettent des formulations avec une forte réduction du dosage en eau et l'optimisation de la répartition granulométrique des composants des BHP. Cette fabrication leur confère une microstructure très dense, d'où une grande compacité et une forte réduction de leur porosité. Il en découle des performances mécaniques élevées à long terme en compression, traction, flexion et cisaillement. Ces performances se traduisent par de nombreux avantages...

■ **Leur résistance à 28 jours passe de 30/35 MPa à 60 MPa, voire beaucoup plus.** Les BHP possèdent également une résistance exceptionnelle à l'état frais (rhéologie, pompabilité...) et des



■ **L'augmentation des valeurs des contraintes de traction admissibles permet de réduire les sections d'armatures.** Celle des valeurs des contraintes de cisaillement offre la possibilité de réduire, par exemple, les épaisseurs des âmes des poutres en BHP sans augmentation corrélative des armatures transversales.

■ **Le développement des BHP présente un grand intérêt pour l'industrie du béton.** Il permet de proposer des produits encore plus performants et d'envisager l'accès à de nouveaux marchés. Parmi les plus usuels, on peut citer les poutres et les poutrelles précontraintes pour plancher qui, grâce au BHP, ont leur section diminuée de 30 %, ainsi que les dalles alvéolées qui, pour une épaisseur n'excédant pas 25 cm, permettent des portées de l'ordre de 15 m.



performances aux jeunes âges, ce qui permet par exemple d'accélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier ou de pomper le matériau sur de longues distances.

■ **La compacité du béton entraîne une faible porosité, une perméabilité, une grande résistance à la pénétration d'agents agressifs et aux cycles de gel/dégel, et augmente la résistance à la fissuration et à la ruine des structures.** Les épaisseurs d'enrobage s'en trouvent réduites.

■ **Le fluage est inférieur à celui des bétons ordinaires et l'évolution du béton est plus rapide.** Les déformations des structures sont moindres, ce qui autorise la conception d'ouvrages plus élancés avec une meilleure efficacité de la précontrainte, et permet donc d'optimiser les sections. Pour la plupart des produits, la durée des cycles de fabrication est également diminuée, ce qui permet des décoffrages rapides, des mises en précontrainte accélérées, et de concevoir des éléments plus légers donc plus faciles à mettre en œuvre.

■ **L'adhérence acier-béton est meilleure,** d'où une réduction sensible des longueurs de recouvrement, de scellement et d'ancrage des armatures, et une simplification des dispositions constructives et des schémas de ferrailage. Le risque de corrosion des armatures est faible.



Les BFUP, Bétons Fibrés Ultrapерformants

Déclinaison des BHP, les Bétons Fibrés Ultrapерformants (BFUP), dont la résistance en compression varie de 130 à plus de 200 MPa, permettent de se passer éventuellement des armatures dans des éléments porteurs ou non-porteurs. L'obtention de ces résistances élevées est liée à une réduction très importante de la porosité ou, plus exactement, à une teneur en eau extrêmement faible et à une compacité maximale. Cette dernière résulte de l'utilisation de composants de différentes classes granulométriques qui permettent d'obtenir une porosité minimum du béton, notamment grâce à la présence de fumées de silice de haute pureté. L'ajout de fibres dans le mélange confère au matériau une grande ductilité (déformabilité sous charge sans rupture fragile, et capacité à dissiper l'énergie de rupture, par exemple en cas de séisme).

■ **La résistance des BFUP ouvre la voie à la conception d'ouvrages d'art en béton très élancés et légers, et favorise des portées plus grandes.** Présentant une microstructure extrêmement dense, les BFUP ont des propriétés exceptionnelles de durabilité, de résistance au gel et au dégel, aux sels de déverglaçage, à la carbonatation, à la pénétration agressive des chlorures, sulfates, acides faibles, à l'abrasion...

■ **Fluides, les BFUP ont un aspect de surface proche de celui des céramiques, car ils épousent dans les plus fins détails les surfaces coffrantes.** Ils offrent une grande diversité d'aspects de surface (lisse, satiné, mat, brillant, structuré...) enrichie par une large plage de coloris grâce à l'ajout de pigments minéraux et de fibres organiques.

Les BAP ou BAN, autoplaçants ou autonivelants

La vibration du béton pour assurer un bon remplissage des coffrages, une forte compacité et un enrobage parfait des armatures, est une opération délicate. Elle doit être parfaitement exécutée pour réduire les vides résiduels du béton, condition essentielle de la résistance mécanique et de la durabilité du béton. Les bétons autoplaçants pour les ouvrages verticaux (BAP) et autonivelants pour les surfaces horizontales (BAN) remplacent avantageusement la méthode de vibration avec des "aiguilles vibrantes" ou des vibreurs.

■ **Les BAP ou BAN sont formulés dans le respect de la norme BPE XP P 18-305.** Selon les formulations, ces bétons offrent des résistances en compression allant de celles des bétons courants à celles des BHP. Le mélange fait appel à des superplastifiants, à un fort dosage en éléments fins dosés à $\pm 500 \text{ kg/m}^3$ (ciments, fillers calcaires, cendres volantes) pour assurer une bonne maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, et à un faible volume de gravillons afin d'éviter le "blocage du béton" dans les zones confinées des coffrages et des armatures (rapport gravillons/sable de l'ordre de 1, voire inférieur). Les granulats ont en général un diamètre

maximal compris entre 10 et 16 mm afin d'améliorer la fluidité du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées), un rapport Eau/Ciment (E/C) faible et un dosage en eau limité.

■ **La plupart des malaxeurs des centrales de BPE peuvent fabriquer des BAP et des BAN.** Le temps de malaxage est toutefois légèrement supérieur à celui d'un béton classique. Il faut que le mélange, riche en éléments fins et en adjuvants, soit le plus homogène possible. Certaines formules peuvent nécessiter des séquences de malaxage spécifiques (ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur, temporisation, temps de malaxage adapté...). L'un des points les plus importants de la fabrication est le contrôle strict de la teneur en eau du mélange. Par conséquent, il est important de vérifier celle des granulats. Un contrôle renforcé des constituants garantit la régularité des performances. Cette fabrication permet au béton de se mettre parfaitement en place dans les coffrages, sous le seul effet de la gravité, sans avoir recours à la vibration. Elle procure une homogénéité du béton dans la masse, facteur de qualité et de sécurité pour la structure. La fluidité assure naturellement un bon enrobage des armatures et un bon remplissage des coffrages.



■ **Outre les avantages techniques cités précédemment, les BAP et les BAN permettent, en supprimant l'utilisation de matériels de vibration, de réduire les temps de mises en œuvre, de mieux organiser le chantier (accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration), et de supprimer les nuisances sonores.** Les conditions de travail s'en trouvent améliorées en termes de pénibilité des tâches (absence de vibrations et de bruit) et de sécurité (suppression des postes de travail à risque dans les parties hautes des coffrages).

■ **Ces bétons trouvent une application dans tous les secteurs du BTP.** Ils sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate : densité de ferrailage importante, ouvrages de formes complexes, voiles minces de grande hauteur, exigences architecturales et de qualité des parements particulières... L'emploi des BAN trouve toute sa justification dans les dallages (planéité, absence de surfaçage).



Les mises en œuvre des BAP et des BAN

Il est primordial que le personnel en charge de la mise en œuvre ait été formé à celle des bétons fluides. Les contraintes de mise en œuvre sont nettement plus faibles que pour des bétons par vibrations, grâce à leur facilité de coulage sur de longues distances et de grandes hauteurs.

■ **L'extrême fluidité de ces bétons nécessite de soigner particulièrement l'étanchéité des coffrages.** Il convient de parfaire la fixation des réservations, des armatures, des fourreaux et des boîtiers ainsi que la stabilité des coffrages et éventuellement de les renforcer en pied de coffrage, pour qu'ils résistent à la pression.

■ **La livraison sur chantier peut être effectuée par tous les moyens de livraison du BPE.** Les caractéristiques des BAP et des BAN autorisent des cheminements horizontaux importants. Ils peuvent être mis en œuvre soit de façon traditionnelle (à la benne à manchette), soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage).

■ **Pour les applications horizontales et les fondations, les BAP peuvent être mis en œuvre par déversement direct depuis la goulotte de la toupie, par camion-malaxeur équipé d'un tapis (la pente du tapis doit être inférieure à 12 %), d'une pompe, ou encore par une pompe à béton indépendante.** La mise en place finale des BAP et des BAN pour les dallages est effectuée au moyen d'une barre de "débullage". Une cure doit être appliquée le plus tôt possible après la fin du bétonnage, afin d'éviter toute évaporation précoce d'eau. Les BAP ne nécessitent pas d'opération de surfacage pour applications horizontales.

■ **Pour les applications verticales en maison individuelle, les BAP seront surtout utilisés en remplissage de maçonnerie à bancher.** Il est important de limiter leur hauteur de chute dans les coffrages (afin d'éviter toute ségrégation) en amenant le bas de la manchette en limite de la zone de bétonnage. Compte tenu de leur fluidité et de leur long maintien de rhéologie, les BAP exercent des pressions hydrostatiques plus importantes sur les coffrages lorsque les vitesses de bétonnage sont élevées.

À consulter

- La marque NF - Béton prêt à l'emploi - qui atteste de la conformité des produits aux normes.
- La norme NF EN 206-1 Bétons (spécifications, performances, production et conformité) qui définit les bétons à haute résistance.
- La norme européenne NF EN 12001 "Machines pour le transport, la projection et la distribution de béton et mortier par tuyauterie".
- La norme NF EN 934-2 qui concerne les adjuvants.
- Le DTU 21 "Exécution des ouvrages en béton" (norme NF EN P18-201) qui met le DTU en conformité avec la norme NF EN 206-1.
- Le DTU 13-3 qui est le document de référence pour la conception et l'exécution des travaux de dallage.

Pour d'autres documentations, consulter les sites Internet de :

- CIMBÉTON : www.infociments.fr
- SNBPE (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi) : www.snbpe.org
- SNPB (Syndicat National du Pompage du Béton) : www.snpb.org
- SYNAD (Syndicat National des Adjuvants pour Bétons et Mortiers) : www.synad.fr

