

# solutions

## Les bétons contemporains

●●● LES PROGRÈS TECHNIQUES DES DERNIÈRES DÉCENNIES OFFRENT AUJOURD'HUI AUX MAÎTRES D'OUVRAGE, AUX MAÎTRES D'ŒUVRE ET AUX ENTREPRISES UNE TRÈS GRANDE DIVERSITÉ DE BÉTONS. À TEL POINT QU'IL FAUT AUJOURD'HUI PARLER DES BÉTONS ET NON PLUS DU BÉTON. LES PROFESSIONNELS DISPOSENT D'UN MATÉRIAU PRÉCISÉMENT ADAPTÉ À CHAQUE TYPE D'OUVRAGE, À LA NATURE DU CHANTIER, AUX CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE, AUX EXIGENCES ESTHÉTIQUES, QU'IL S'AGISSE DES BÉTONS FABRIQUÉS PAR LES ENTREPRISES SUR LES CHANTIERS DE GÉNIE CIVIL OU DE BÂTIMENT, DES BÉTONS PRODUITS DANS LES CENTRALES DE BPE, DES BÉTONS MIS EN ŒUVRE DANS LES UNITÉS DE PRÉFABRICATION.



Cœur Défense

→ Béton à hautes performances

p 19



Centrale nucléaire de Cattenom

→ Béton fibré ultraperformant

p 20



Centre d'art et de culture de Meudon

→ Béton autoplaçant ou autonivelant

p 20

## → La pluralité de l'offre des bétons

DEPUIS LE DÉBUT DES ANNÉES 80 LE BÉTON EST EN PLEINE ÉVOLUTION. ON PEUT MÊME DIRE QU'IL S'AGIT D'UNE VÉRITABLE RÉVOLUTION OFFRANT AUX CONCEPTEURS ET AUX INGÉNIEURS UN PRODUIT DE PLUS EN PLUS PERFORMANT, VOIRE DE NOUVEAUX MATÉRIAUX. BHP, BFUP, BAN, BAP, ETC SONT AUTANT D'APPELLATIONS QUI TÉMOIGNENT DE LA DIVERSITÉ DES BÉTONS. À TEL POINT QU'IL FAUT AUJOURD'HUI PARLER DES BÉTONS ET NON PLUS DU BÉTON.

Les bétons contemporains se sont développés à partir de travaux effectués sur le rôle de l'eau dans le béton. Cette dernière 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. En fait une part importante de l'eau utilisée, en quelque sorte de façon excédentaire, permet d'obtenir la bonne ouvrabilité du béton nécessaire à sa mise en place convenable dans les coffrages. Les nouvelles

performances des bétons contemporains sont liées à une réduction des quantités d'eau utilisées essentiellement grâce à la défloculation ou à l'optimisation du mélange granulaire.

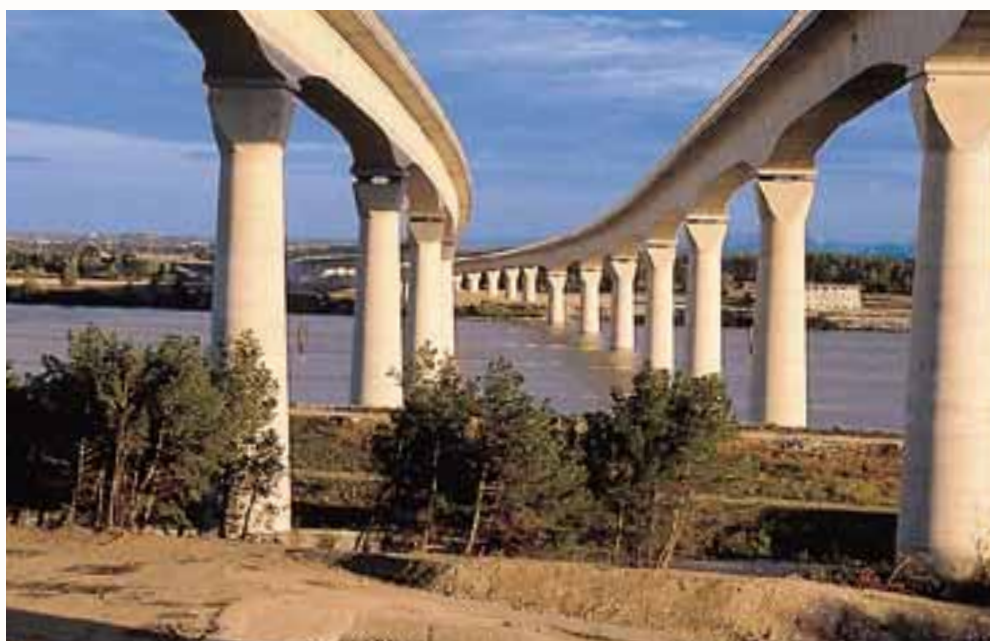
### ● Un matériau programmable

Le béton est un matériau plus que centenaire. Les dernières journées du patrimoine se sont intéressées au patrimoine du xx<sup>e</sup> siècle. Elles ont mis ou remis en valeur nombre d'ouvrages de génie civil et d'édifices qui témoignent de l'excellence technique et esthétique du béton au long du siècle. Ce matériau devenu familier façonne aujourd'hui nos infrastructures et nos villes. Son histoire est jalonnée de progrès qui sont obtenus par des améliorations portant sur les constituants, des adaptations de conditions de mise en œuvre ou des applications du matériau à de nouveaux types d'ouvrages. Les progrès techniques des dernières décennies offrent aujourd'hui aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre et aux entreprises une très grande diversité de bétons. Cette diversité permet d'obtenir un matériau précisément adapté à chaque type d'ouvrage, à la nature du chantier, aux conditions de mise en œuvre, aux exigences esthétiques, qu'il s'agisse des bétons fabriqués par les entreprises sur les chantiers de génie civil ou de bâtiment, des bétons produits dans les cen-

trales de BPE, des bétons mis en œuvre dans les unités de préfabrication. Les bétons ont aujourd'hui des propriétés tout à fait programmables. Ceci est vrai pour les bétons courants. En effet, grâce à une bonne maîtrise de la chimie et de la physique du matériau et à un choix varié d'adjuvants (réducteurs d'eau, fluidifiants, retardateurs de prise, accélérateurs de prise et durcissement, entraîneurs d'air, hydrofuges de masse...) il est possible de mettre en œuvre des formulations adaptées à l'ouvrage, aux conditions du chantier et aux conditions climatiques. La qualité des bétons courants est servie par celle des composants de base (ciments normalisés, granulométrie, propreté et contrôle des granulats...). Les bétons prêts à l'emploi (BPE) sont produits dans le respect de la norme XP P 18-305 d'août 1996.

### ● BHP, hautes performances et faible porosité

Les progrès des vingt dernières années dans le domaine des adjuvants et des méthodes de formulation ont conduit à une évolution notable du matériau béton. La gamme s'est enrichie des bétons à hautes performances (BHP). Les BHP se caractérisent en premier lieu par la faible porosité de leur matrice. De plus, ils présentent une résistance en compression allant de 60 à 120 MPa et offrent aussi une bonne résistance au jeune âge. La limitation de la porosité implique une très faible teneur en eau. Il faut pour cela réduire la quantité d'eau de gâchage mise en œuvre lors de la fabrication du béton. Ceci est possible en utilisant des superplastifiants. Les adjuvants de ce type ont pour rôle de s'opposer à l'agglomération (la floculation) des grains de ciments entre eux dans le béton frais. Il en résulte une meilleure répartition des grains de ciment, qui augmente leur réactivité, favorise leur hydratation et permet d'obtenir une résistance plus homogène et améliorée. Pour les BHP les rapports E/C (eau sur ciment) sont de l'ordre de 0,30 contre 0,45 à 0,50 pour les bétons classiques. Les formulations des bétons à hautes performances varient d'un chantier à l'autre. Pour accroître les performances du matériau, des particules ultrafines



>>> Le tablier du pont d'Avignon est réalisé avec des voussoirs en BHP, préfabriqués sur le site.



1



2



3

**TECHNIQUE**

**L'optimisation du mélange granulaire**

Une des évolutions des bétons récents est donc liée à la réduction de l'eau, l'autre voie de progrès est en relation avec les théories modernes de la physique sur l'optimisation des empilements granulaires (Pierre-Gilles de Gennes – E. Guyon). En simplifiant, on peut dire que du point de vue de la compacité et de la résistance, les meilleurs empilements granulaires font appel à 4 échelles de grains.

Le béton classique fait appel à trois échelles de grains : l'échelle centimétrique avec les cailloux, l'échelle millimétrique avec les sables, les échelles de quelques dizaines de microns avec les ciments. Compte tenu des théories relatives aux empilements de grains optimisés, la quatrième échelle de grains à introduire dans les constituants du béton peut être apportée par des particules de type ultrafines, dont les dimensions sont de l'ordre de 0,1 à 0,5 micron. Ainsi avant même l'hydratation, qui reste bien sûr essentielle, l'optimisation de la formulation du béton passe par celle de son mélange granulaire. Diverses "ultrafines" et en particulier les fumées de silice correspondent à cette quatrième échelle de grains.

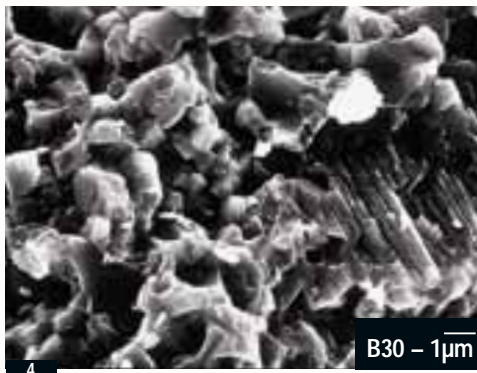
inférieures au micron (telles que les fumées de silice) complètent dans certaines formulations de BHP le squelette granulaire du mélange. L'utilisation de particules ultrafines permet de diminuer encore la présence de l'eau résiduelle dans le mélange tout en préservant les propriétés de mise en œuvre. Les grains ultrafins se placent dans les interstices des grains de ciment. Le ciment a alors un volume réduit à remplir avec ses hydrates pendant la prise et le durcissement. Les particules ultrafines utilisées actuellement sont des fumées de silice. Elles entrent en réaction de type pouzzolanique avec la chaux qui est libérée pendant l'hydratation du ciment pour former de nouveaux produits d'hydratation résistants, renforçant la compacité du matériau.

● **BHP : résistance, durabilité, ouvrabilité...**

Résistance élevée à la compression, ouvrabilité, durabilité, résistance au jeune âge sont les principales propriétés des BHP. En effet, grâce à l'effet lubrifiant des superplastifiants, il est possible d'obtenir des BHP présentant une excellente ouvrabilité pendant plusieurs heures, sous réserve d'une formulation initiale adaptée et rigoureuse. La compacité des BHP leur confère une grande durabilité. Ils présentent une porosité (inférieure à 5 %) et une perméabilité faibles constituant une bar-

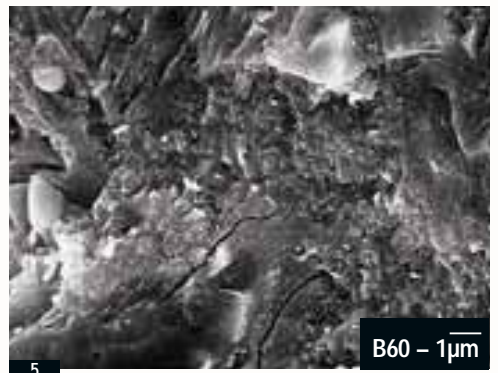
>>> **1 Pacific Tower 2 Société générale : le BHP utilisé dans ces deux tours a permis de réaliser des structures plus élancées. 3 Grande Arche : les poutres de la toiture sont traitées en BHP à l'instar d'un véritable ouvrage d'art. 4 5 Le BHP présente à l'échelle microscopique une structure plus fermée qu'un béton courant (grossissement x 5 000).**

rière efficace contre les agressions chimiques. La progression de la carbonatation (réaction chimique de combinaison de la chaux formée lors de l'hydratation du ciment avec le gaz carbonique de l'air) en profondeur est elle aussi réduite, ce qui augmente la protection des armatures dans le temps. Les BHP sont ainsi très résistants au gel et à l'écaillage dû aux sels de déverglaçage. Ils présentent aussi une résistance supérieure à l'usure et à l'abrasion mécanique. Les gains de résistance interviennent dès le jeune âge du béton. Par exemple, un BHP de type 60 MPa à 28 jours peut dépasser 15 MPa à 24 heures et 40 MPa à 7 jours.



4

B30 – 1µm



5

B60 – 1µm



1



2



3



4

La fluidité du béton frais et sa résistance mécanique précoce se traduisent par une accélération des cadences de production sur le chantier comme en usine de préfabrication. Du fait de leurs résistances accrues les BHP permettent d'alléger les structures de certains types de bâtiments et de concevoir des structures d'ouvrages d'art plus élancées offrant de plus grandes portées.

### ● Les BFUP, une rupture technologique

Au cours des années 90, une rupture technologique est intervenue dans le monde du matériau béton avec la mise au point des bétons fibrés ultraperformants (BFUP) dont la résistance en compression peut atteindre, voire dépasser, 200 MPa et la résistance en traction par flexion de l'ordre de 40 MPa en traction par flexion. Cette dernière caractéristique permet d'envisager de se passer éventuellement des armatures passives dans des éléments porteurs ou non porteurs, sous certaines conditions. Ces bétons sont en développement et leurs premières applications sont très récentes. Les BFUP se caractérisent donc par des résistances élevées allant en compression de 130 à 200 MPa et par leur ductilité. L'obtention de résistances élevées est liée à une réduction très importante de la porosité et plus exactement du réseau des pores connectés en jouant sur une teneur en eau extrêmement faible et une compacité maximale. Les BFUP ont un rapport E/C < 0,25 qui résulte de l'utilisation optimisée de superplastifiants. Ils déflocculent les particules fines et assurent un meilleur empilement granulaire. De ce fait la quantité d'eau nécessaire au remplissage des vides est considérablement réduite et la sur-

>>> **1** Viaduc de Sylans – Exemple d'utilisation du BHP pour réaliser des éléments de structure très fins. **2** Ile de Ré – La faible porosité de ce béton offre une meilleure résistance aux agressions du milieu marin. Le BHP a été utilisé pour accélérer le décoffrage.

**3** Pont sur L'Elorn – Il présente la particularité d'un haubanage axial qui nécessite une grande rigidité transversale du tablier.

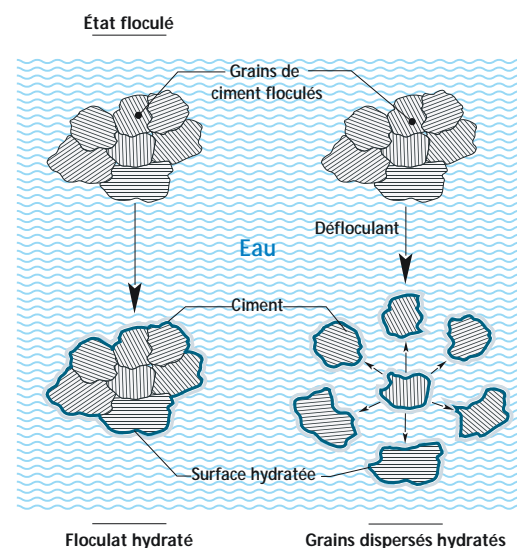
**4** Pont de Normandie – Conçu par Michel Virlogeux, les piles et les viaducs d'accès sont en BHP. Pour une partie des bétons les ciments utilisés ont été composés avec des fumées de silice.

face spécifique des grains est accrue ainsi que par voie de conséquence à terme leur hydratation. La compacité maximale résulte de l'utilisation de composants de différentes classes granulométriques choisis de façon à avoir des mélanges optimum de grains qui permettent

### TECHNIQUE

## La défloculation

Comme toutes les poudres qui sont mélangées dans un liquide, les grains de ciment ont tendance à s'agglomérer entre eux. Les grains de ciment présentent un diamètre moyen de 20 à 50 microns. Dans la pratique, quand ils sont mis en œuvre dans le béton, ils ne restent pas à l'état de grains isolés et se regroupent pour constituer des agglomérats (les floccs) bien plus gros. Ces floccs piègent de l'eau et n'apportent pas l'ouvrabilité que l'on serait en droit d'attendre, si les grains de 20 à 50 microns du ciment restaient bien séparés. Cette perte d'ouvrabilité est souvent compensée par un taux d'eau de gâchage accru, avec les conséquences défavorables que l'on connaît sur les performances du béton. Des produits "défloculants" mis au point à partir des années 1980 et en constante évolution permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment. Grâce à cela, les bétons présentent une meilleure rhéologie, les grains étant mieux répartis, la résistance est plus homogène et améliorée.





d'obtenir la porosité minimum du système. Les ultrafines présentes dans les BFUP sont des fumées de silice de haute pureté, sous forme de billes submicrométriques. Elles remplissent les espaces intergranulaires et entrent en réaction avec la chaux libérée lors de l'hydratation du ciment, ce qui participe à la résistance de l'ensemble. De plus, la porosité capillaire est supprimée et la porosité à très petite échelle (micropores d'une taille de l'ordre du nanomètre) n'est pas connectée et est fermée à la diffusion des ions et des gaz. Dans les BFUP, la taille et la quantité des plus gros grains est considérablement réduite. Le squelette granulaire gagne ainsi en souplesse, ce qui a pour conséquence de réduire de façon extrême les risques de microfissurations liés au retrait. Les fibres sont aussi un composant clé des BFUP. Lorsque leur dosage est suffisant elles confèrent au matériau sa ductilité.

### ● BFUP, des propriétés exceptionnelles

Les propriétés mécaniques remarquables des BFUP sont la ténacité (résistance à la micro-fissuration) et la ductilité (déformabilité sous charge sans rupture fragile, capacité à dissiper l'énergie de rupture, par exemple en cas de séisme). Ces bétons ont une consistance fluide qui permet un remplissage aisé des coffrages. Ils ont la capacité d'épouser dans les plus fins détails les surfaces coffrantes. Ils possèdent une plage d'ouvrabilité très large qui rend possible la réalisation de pièces en béton par extrusion. Présentant une microstructure extrêmement dense, les BFUP ont des propriétés de durabilité exceptionnelles en matière de résistance au gel et au dégel, aux sels de déverglaçage, à la carbonatation, à la pénétration des ions agressifs (chlorures, sulfates, acides faibles), à l'abrasion. A titre de comparaison, leurs coefficients de perméabilité et de diffusivité sont de 10 à 100 fois supérieur à ceux des roches naturelles les plus compactes comme le granit. Les BFUP ont un

aspect de surface proche des céramiques. Leur capacité à épouser dans les plus fins détails les surfaces coffrante, en supprimant toute présence de bulles, offre une grande diversité d'aspects de surface (lisse, satiné, mat, brillant, structuré...) enrichie par une large plage de coloris, liée à la possibilité d'utiliser pigments minéraux et fibres organiques.

La résistance des BFUP ouvre la voie à la conception d'ouvrages d'art en béton très élancés et légers pouvant par exemple faire appel à de fines structures en treillis. Dans le bâtiment, les BFUP favorisent des portées plus grandes et la réalisation de plateaux libres qui accroissent les surfaces utiles. Ces bétons contribueront à l'évolution esthétique des constructions au niveau des formes, des parements, des couleurs...

### ● BAP ou BAN, une nouvelle voie de mise en œuvre

Tous les prescripteurs et utilisateurs cherchent à obtenir un béton se mettant en place de façon aisée, assurant un bon remplissage des coffrages et un parfait enrobage des armatures, présentant une forte compacité. La vibration est le moyen de serrage traditionnel utilisé pour aboutir à ce résultat. Convenablement effectuée, elle permet de réduire les vides résiduels du béton, ce qui est la condition essentielle de la résistance mécanique et de la durabilité du matériau. Grâce au développement de certains adjuvants (superplastifiants, plastifiants réducteurs d'eau) les bétons sont devenus de plus en plus fluides. Dénommés BAP (bétons autoplaçants) lorsqu'ils sont mis en œuvre verticalement, ou BAN (bétons autonivelants) lorsqu'ils sont mis en œuvre horizontalement, ces bétons ne nécessitent pas de vibration pour leur serrage. Ils offrent une nouvelle technique de mise en œuvre appelée à se développer à terme en impliquant en particulier une réorganisation des méthodes au niveau du chantier.

>>> **1** Gare SNCF Monaco – La réalisation de panneaux acoustiques en BFUP permet de répondre aux exigences de finesse de la résille souhaitée par l'architecte.

**2** Passerelle de Sherbrooke (Canada). Construite avec des éléments préfabriqués en BFUP. La poutre inférieure présente une section de 18 x 40 cm. Le hourdis supérieur est une dalle nervurée dont l'épaisseur en partie courante est de 30 mm. **3** **4** Siège de la société Rhodia. La façade est habillée de panneaux en BFUP.

Malgré la réduction de la quantité d'eau de gâchage, les BAP ou BAN se caractérisent par leur très grande fluidité qui leur permet de se mettre parfaitement en place dans les coffrages, sous le seul effet de la gravité, sans recours à la vibration. Ils présentent aussi une absence de ségrégation et un ressuyage très faible. Entre celle d'un béton et celle d'un mortier, la composition des BAP ou BAN présente un fort dosage en sable et en éléments fins. Ils contiennent, outre le ciment, une proportion importante d'additions minérales telles que fillers, laitiers ou cendres volantes. En fonction de la nature des fines utilisées, il est possible de couvrir l'éventail allant des résistances en compression de bétons courants à celles des BHP. La consistance très fluide du matériau est obtenue en utilisant de façon systématique des adjuvants de type superplastifiants ou réducteurs d'eau. Les dosages sont ajustés en fonction de la fluidité recherchée. Le contrôle strict de la teneur en eau du mélange est un des points les plus importants de la fabrication de ces bétons, qui implique de connaître précisément la teneur en eau des granulats.



TECHNIQUE

## Le béton, un matériau programmable

Comme l'a souligné monsieur Yves Malier, Président de l'École française du béton lors du colloque "Béton, révolution, architecture" à l'école d'architecture de Paris-Villemin : "ces deux voies défloculer et optimiser le mélange granulaire sont à la base de toutes les évolutions des bétons contemporains. Ainsi on peut obtenir des bétons qui ont des propriétés tout à fait programmables.

Cela signifie que l'on peut désormais agir sur 4 familles de propriétés :

- sur la consistance et l'ouvrabilité du béton frais. Il est possible d'obtenir des bétons très fluides (cas du béton autoplaçant) ou au contraire avoir des bétons de très haute performance très fermes (cas des bétons extrudés),
- sur les propriétés mécaniques du béton, qu'il s'agisse de la résistance à la compression, de la résistance au très jeune âge, du fluage, de la résistance en traction, de l'aptitude à résister à la fissuration, etc.
- sur la durabilité liée à l'évolution interne du matériau ou de la durabilité liée aux agressions externes dues à l'environnement,
- sur les aspects esthétiques, au niveau de la micro rugosité de surface, de la couleur, de l'aptitude au moulage de micro-formes, de l'aptitude au polissage, au lavage, etc".

Les propriétés des bétons, désormais programmables, induisent la pluralité en matière d'offre. Cela a des conséquences sur la façon d'aborder le projet en se posant d'abord des questions de méthodes de conception, de méthodes de construction, de maintenance voire d'adaptabilité fonctionnelle future de l'ouvrage pour en déduire les propriétés requises. Ainsi le choix du béton le plus adapté est vraiment au cœur du projet et à travers les possibilités de ce choix le rôle du maître d'œuvre est considérablement renforcé, notamment dès la prescription.

### ● BAP et BAN des bétons sans vibration

Les BAP ou BAN peuvent être mis en œuvre sur les chantiers comme dans des unités de préfabrication. Pour les chantiers, ils sont aujourd'hui développés par les centrales de BPE où ils sont formulés dans le respect de la norme BPE XP P 18-305. Les bétons de ce type ont leur place dans tous les secteurs du BTP. Ils sont particulièrement adaptés à la réalisation de formes complexes et aux ouvrages nécessitant une forte densité d'armatures. Leurs avantages sont nombreux et divers. Le compactage gravitaire garantit une homogénéité de ces bétons dans la masse qui est un facteur de qualité et de sécurité pour la structure. La fluidité assure naturellement un bon enrobage des armatures et un bon remplissage des coffrages. Il en résulte des temps de mise en œuvre réduits qui permettent des augmentations de cadences et des économies de main d'œuvre. La qualité des parements est très améliorée du fait d'une part de la disparition des nids de cailloux et des bulles de grosses dimensions, et d'autre part de la limitation de la ségrégation et des remontées d'eau le long des coffrages. A ces avantages s'ajoute la suppression de la vibration sur les chantiers, mettant fin aux nuisances liées au bruit produit par les vibrateurs, souvent plus de 80 dB(A). Les conditions de travail s'en trouvent aussi améliorées en terme de pénibilité des tâches et de sécurité. Une mise en œuvre réussie de BAP ou BAN exige un contrôle rigoureux lors de la fabrication (dosages, malaxage) et l'utilisation de coffrages soignés, rigides, étanches et résistants. ■

TEXTE : NORBERT LAURENT

PHOTOS : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE, F. GLUZICKI, SNCF - CAV - J.-J. D'ANGELO, D.R.

>>> 1 2 Mur du théâtre de verdure d'Allauch – Le BAP a permis de couler ce mur en une seule phase, afin d'éviter des reprises de coulage nuisibles à l'esthétique du parement. La fluidité du BAP a autorisé une faible épaisseur (25 cm) malgré les dimensions de l'ouvrage (2 x 25 m de long, 8 m de haut en partie centrale).



## Béton à hautes performances

Deux projets importants sont en voie d'achèvement à La Défense. Les tours jumelles du projet Cœur Défense se dressent entre les tours Framatone et Europe. La tour PB 6 se glisse entre le centre commercial des 4 Temps et la tour Atlantique. Les deux ouvrages sont presque en vis à vis et tous les deux font appel aux capacités des bétons à hautes performances.

CŒUR DÉFENSE

### → Deux tours jumelles

L'ensemble Cœur Défense comprend deux tours jumelles décalées de 39 étages et trois corps de bâtiments de huit étages qui viennent en avancée sur l'esplanade de la Défense. Un vaste atrium haut de 40 m relie entre elles toutes les parties du projet. Cet important édifice de bureaux accueillera à terme 10 000 postes de travail. Le plan de chaque tour est un rectangle (79 m x 24 m environ) dont les

petits côtés sont hémicirculaires. Les structures et les planchers des bâtiments sont en totalité réalisés en béton armé. Dans les tours, les efforts de contreventement sont principalement repris par chaque noyau et par le noyau situé entre les tours. Cet ensemble du fait de sa forme générale en H présente un élancement faible et une forte rigidité. Les poteaux de façade sont situés à 6,60 m du noyau et espacés entre eux d'environ 8 m. Noyaux et poteaux sont reliés par des dalles pleines dont l'épaisseur varie de 22 à 33 cm.

PHOTO : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE

Maître d'ouvrage : Tanagra (Unibail, Crossroads Property Investors SCA, Gothaer, Bouygues)

Maître d'ouvrage délégué : Bouygues Immobilier

Architecte mandataire : J.-P. Viguier

BET et maître d'œuvre d'exécution : Setec, Séchaud & Bossuyt (associé)

Entreprise générale : Bouygues



TOUR PB 6

### → Une minceur profilée

La tour PB 6 est un immeuble à usage de bureaux haut de 40 étages. Le volume vertical de la tour se développe à partir d'un plan en forme d'amande. Il est découpé, sur la façade nord, par une faille verticale qui va en se rétrécissant jusqu'au niveau 155 NGF, correspondant à la voûte de la Grande Arche. La structure de la tour est en béton armé. Les efforts sont repris par le noyau central et par 16 poteaux de façade auxquels s'ajoutent 2 poteaux intérieurs. Le noyau central est excentré afin de dégager des bureaux plus vastes sur une face et ainsi accroître la fonctionnalité de la tour. Les poteaux de façades sont espacés de 9,60 m. Des dalles pleines relient à chaque niveau noyau et poteaux.

PHOTO : D.R.

Maîtrise d'ouvrage : PB 6 développement

Assistant maîtrise d'œuvre : HINES France

Maîtrise d'œuvre : PEI, COBB, Freed and Partners, architectes ; Saubot ; Rouit et associés, architectes

Entreprise générale : BATEG - VINCI

### ● L'apport du BHP dans les deux tours

L'obtention d'éléments de structure plus fins offre la possibilité de gagner de la surface utile et permet au Maître d'Ouvrage de mieux valoriser le projet.

Pour obtenir le meilleur éclairage naturel, les architectes ont cherché un dégagement maximal des façades. L'emploi de BHP s'est donc imposé dans la conception des éléments porteurs soumis à forte compression. Dans les deux tours, les poteaux, de sections circulaire, sont réalisés avec un BHP de type B 80. Les poteaux les plus sollicités sont soumis à des efforts de compression de l'ordre de 40 MN dans la tour PB 6 et de 26 MN pour Cœur Défense en état limite ultime. Leur hauteur peut atteindre environ 8 m dans les halls d'accès. Ils participent aussi à la rigidité de l'édifice sous l'effet du vent. Le BHP utilisé a permis de limiter les diamètres des poteaux les plus chargés à 1,30 m dans la tour PB 6 et à 1,10 m dans le cas de Cœur Défense. Par comparaison, l'emploi d'un béton plus traditionnel de type B 40 aurait conduit à des diamètres de l'ordre de 2 m, dimensions incompatibles avec les conceptions architecturales. Du fait de leur rigidité, les noyaux des tours reprennent la plus grande partie des effets du vent. Compte tenu de la contribution des poteaux de façade, les noyaux sont principalement soumis à des efforts de compression. L'emploi d'un BHP s'est logiquement imposé pour réduire l'encombrement des voiles des noyaux.



CENTRALE NUCLÉAIRE DE CATTENOM

### → Durabilité et légèreté

À l'occasion de la rénovation des structures internes des aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Cattenom 270 poutres et 2 376 poutrelles préfabriquées en BFUP ont été mises en œuvre. Disposées radialement autour des aéroréfrigérants, les poutres ont

## Béton fibré ultraperformant

une longueur de 14 m et sont précontraintes par 10 torons T15S prétendus. Chacune d'entre elles supporte 9 poutrelles, dont la longueur varie de 6 m à 6,9 m, et qui sont précontraintes par 2 torons. Poutres et poutrelles ne comportent aucune armature passives. Elles ont été préfabriquées au rythme de 20 unités par jour. Le BFUP utilisé est produit dans une centrale équipée d'un malaxeur à haut pouvoir de cisaillement, de 1 m<sup>3</sup> de capacité utile. Après prise du béton et transfert de la précontrainte, les poutres subissent un traitement thermique de 48 heures à 90°C, à l'issue duquel la résistance en compression du BFUP atteint 220 MPa en moyenne. Cette production industrialisée a fait l'objet d'un contrôle qualité renforcé, depuis la réception des composants jusqu'au stockage des éléments. Se substituant aux anciens systèmes de poutres, le nouveau réseau de poutre et poutrelles supporte le corps d'échange thermique

qui assure le refroidissement du circuit de réfrigération de la centrale. Il est soumis à de fortes agressions physico-chimiques (gel-dégel, eaux de ruissellement). Les choix du BFUP s'est imposé en raison de ses excellentes qualités d'étanchéité et de résistance au gel-dégel. De plus, ses performances mécaniques ont permis d'obtenir des éléments plus fins et plus légers. Le poids de la structure a ainsi été divisé par trois. En conséquence, il n'a pas été nécessaire de modifier les fondations initiales, ce qui représente une importante économie.

PHOTO : D.R.

Maître d'ouvrage : EDF CNEPE

Maître d'œuvre : EDF CNEPE

Support technique : EDF SEPTEN, EDF CEMETE

Entreprise générale : Hamon

Préfabrication : Bouygues TP

Essais : LCPC, CEBTP

## Béton autoplaçant ou autonivelant



CENTRE D'ART ET DE CULTURE DE MEUDON

### → Servir le jeu des volumes

Le centre d'art et de culture de Meudon conçu par l'architecte Jacques Ripault se caractérise par une composition de masses et de parois soulevées qui délimitent des espaces ouverts et déclinent un riche jeu d'opacités et de transparences. Cœur de l'édifice, la salle de spectacle, de 450 places, est inscrite dans

un volume cylindrique haut de 15 m. Ce dernier est composé de deux murs circulaires. Le mur intérieur constitue l'ossature porteuse de la salle. Le mur extérieur laissé brut de décoffrage a été réalisé à l'aide d'un béton blanc autoplaçant. La qualité de parement et l'unité de teinte exigés, ainsi que l'interdiction de ragréer ont été déterminants dans ce choix. Cela a permis de couler en une seule fois des hauteurs de 8 m sur de grandes longueurs tout en respectant le calepinage horizontal et vertical, ainsi que les ouvertures déterminées par l'architecte. L'utilisation de bétons autoplaçants supprime les nuisances liées à la vibration du béton. Dans le cas du centre d'art et de culture situé dans un quartier résidentiel, cela favorise le bon déroulement du chantier en atténuant la gêne du voisinage.

PHOTOS : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE, D.R.



>>> Mise en œuvre du BAP : grâce à sa fluidité, il remplit parfaitement les coffrages.

Maître d'ouvrage : Ville de Meudon

Maître d'œuvre : Atelier d'architecture J. Ripault et D. Duhart

BET structure : Betom Ingénierie

Entreprise gros-œuvre : Quillery