

## Objectifs

Le Projet National VNB (Voies Nouvelles du Béton), achevé en 1993, a particulièrement développé les recherches et expérimentations sur les bétons à haute résistance (minimum 60 MPa de résistance caractéristique à 28 jours) et proposé l'appellation "Hautes Performances" qui a été reprise par la communauté scientifique internationale.

Le Projet National BHP 2000 avait pour objectif le développement de toutes les performances du béton : résistance mécanique supérieure, mais aussi durabilité, résistance à l'abrasion, résistance au feu, qualité des parements, caractéristiques rhéologiques.

Le programme était également ciblé sur les conditions de prescriptions des BHP : contexte économique, information et formation, grands ouvrages d'application, recherche de marchés potentiels, etc...

D'autres thèmes plus exploratoires ont également été prévus comme l'association des BHP avec des armatures à hautes performances et les bétons à très hautes performances BTHP (100 MPa et plus).

# Projet National BHP 2000

## Bétons à Hautes Performances

### Programme réalisé

*Le programme de recherche et développement du Projet National a été mis au point, au cours d'une mission exploratoire préalable, par un noyau dur d'une vingtaine de partenaires volontaires sous l'égide de la DRAST, puis adopté par l'ensemble des partenaires lors de la réunion constitutive du Projet National BHP 2000 le 13 avril 1995.*

**Ce programme a porté sur cinq thèmes :**

#### 1 La durabilité des BHP

Les travaux réalisés ont permis :

- de mettre au point, avec l'appui de l'AFREM, les modes opératoires des essais permettant de quantifier les paramètres influant sur la durabilité : porosité, perméabilité aux gaz, carbonatation accélérée et pénétration des chlorures,
- de réaliser un programme de mesures in situ sur des corps d'épreuve volontairement fissurés et maintenus sous charge sur des sites naturels : La Rochelle en zone de marnage, Melun pour les conditions atmosphériques courantes, la Maurienne pour être soumis au gel naturel et aux sels de déverglaçage et enfin le Québec pour des conditions climatiques sévères.
- des analyses comparatives sur ouvrages jumeaux situés sur un même site, l'un en béton ordinaire, l'autre en BHP et des essais sur des bétons d'ouvrages plus anciens en BHP comme le pont de l'Île de Ré et le pont de Joigny,
- de mener des études sur la tenue au gel et à l'écaillage des BHP de la gamme 60 à 80 MPa.



Tuyau HP pour l'assainissement.



Prédalles en béton précontraint par armatures adhérentes.





Poutres pannes recevant la toiture des bâtiments.

## 2

## P

La tenue au feu des BHP étant un sujet assez controversé dans la communauté scientifique internationale, le Projet National BHP 2000 a mis au point un programme de recherches substantiel pour tenter de clarifier ce sujet et d'aboutir à des règles utilisables par les ingénieurs.

Le projet a ainsi multiplié les séries d'essais sur éprouvettes et sur colonnettes en complément des essais réalisés dans le cadre du projet européen HITECO. Ces essais ont permis, en 2001, l'évolution des règles de conception des structures en béton résistant au feu (DTU) permettant l'utilisation des bétons qui ont une résistance située dans la gamme 60 – 80 MPa.

D'autre part, ils ont permis de conclure qu'il était possible de réduire les risques d'écaillage/éclatement, notamment au delà de 80 MPa, en incorporant des fibres polymères dans la matrice et/ou un grillage de surface.

## 3

### Association de BHP et d'armatures à hautes performances

Les études menées pour :

- s'assurer de la qualité de l'association BHP/AHP qui conditionne les transferts d'efforts internes par adhérence,
- examiner les performances BHP/AHP du point de vue des conditions classiques du cahier des charges de l'ingénieur des structures,
- évaluer l'intérêt économique de cette association,

ont débouché sur des résultats très positifs et montrent que l'association BHP/AHP est de meilleure qualité que l'association béton/acier traditionnelle vis à vis de la fissuration.

Pour des armatures de 750 à 800 MPa, le gain potentiel en poids d'armature peut être estimé à 35 à 40 %. Un surcoût des AHP de l'ordre de 15 à 20 % serait acceptable. Le problème qui subsiste concerne la fourniture industrielle d'armatures de 800 MPa.

## 4

### Les Bétons à très hautes performances

Ce thème avait pour but d'explorer les possibilités de réaliser industriellement des bétons de 100 à 150 MPa de résistance caractéristique. Les travaux de caractérisation du BTHP en traction, en torsion, retrait, fluage y compris au très jeune âge, ont montré une grande diversité de BTHP et la probable nécessité de les caractériser par une résistance à la traction. Les essais de comportement à l'effort tranchant des poutres, poutrelles et des prismes sous charges localisées ainsi que des consoles courtes ont été menés dans l'objectif d'extension des règles BAEL actuelles. Enfin, des études de conception utilisant des BTHP dans les tuyaux sous pression, les ouvrages d'art (arc, caisson, pile de grande hauteur) ont été réalisées pour définir des champs d'application possibles avec ces nouveaux bétons.

« Evolution des règles de conception des structures en béton résistant au feu (DTU) permettant l'utilisation des bétons qui ont une résistance située dans la gamme 60 - 80 MPa. »



Port autonome du Havre.  
Mât de grande hauteur K2F.





Rocade Est de Bourges.

## 5

### Economie et développement

A partir d'un socle commun comprenant des enquêtes-bilans, les acquis du projet, et une analyse globale (fabrication, mise en œuvre, maintenance, fonctionnalité et durabilité) il a été initié des groupes de réflexion thématique concernant :

#### • Les ouvrages d'art

La construction en BHP de deux ponts en béton précontraint à Bourges en 1997 et de deux autres ponts en béton armé à Sens en 1999, a démontré la faisabilité technique de nouvelles structures-types pour un coût équivalent aux solutions classiques, avec un gain de poids (50% pour les ponts de Bourges) de consommation de matériaux nobles et de maintenance.

#### • Tunnels et ouvrages souterrains

Un premier chantier expérimental pour le tunnel de Fontain près de Besançon a permis, avec la collaboration du CETU, de réaliser un tube en B50 et l'autre traditionnellement en B25. Sans pouvoir conclure définitivement, l'expérience n'étant pas assez significative compte tenu de la géologie rencontrée (épaisseur de base déjà faible et beaucoup de sur-profils), on peut avancer que ces bétons, outre l'amélioration de la durabilité et de l'étanchéité, peuvent apporter une réduction des épaisseurs de revêtement et une amélioration de la mise en œuvre (fluidité).

#### • Bâtiments et structures préfabriquées

A côté d'une utilisation quasi systématique dans les bâtiments de grande hauteur, le BHP doit se développer dans le bâtiment industriel, en grande partie dans le cadre de la préfabrication, car il permet d'adopter des structures plus légères, un retrait plus rapide, ainsi qu'un fluage plus rapide et moins important.

#### • Ouvrages soumis à l'abrasion

La très haute résistance à l'abrasion des BHP permet d'envisager une utilisation pour des sols industriels, des aires de péage, des ouvrages hydrauliques...

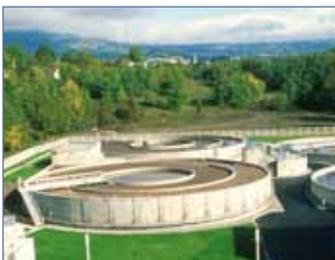
#### • Ouvrages soumis aux agressions chimiques

Des essais de résistance aux agressions chimiques montrent que leur emploi permet de répondre à des problèmes très spécifiques : fosses à lisier et ouvrages agricoles en général, stations d'épuration, ouvrages industriels en ambiance agressive.

“Le BHP doit se développer dans le bâtiment industriel, en grande partie dans le cadre de la préfabrication.”

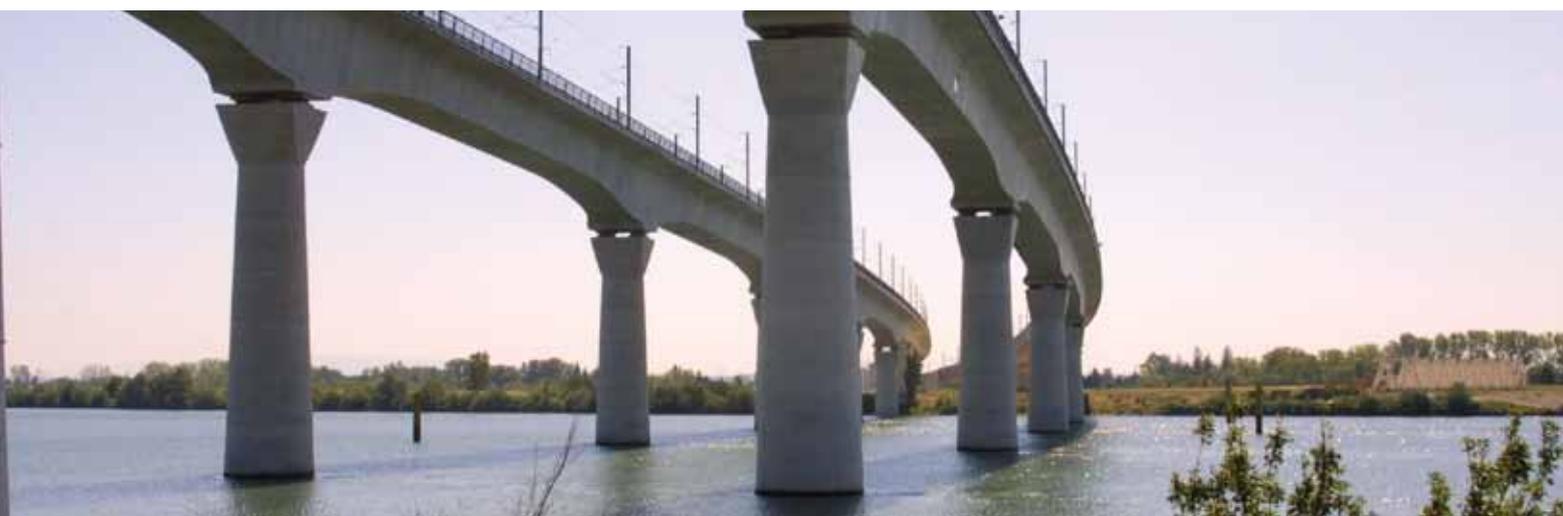


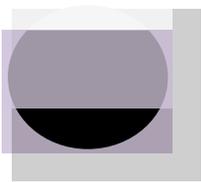
Ouvrage soumis aux abrasions  
Péages d'autoroute.  
©ASCO-TP-Daniel Vandros



Ouvrage soumis aux agressions  
chimiques  
Station d'épuration. ©FNTP

Viaduc TGV Méditerranée Avignon. © ASCO-TP/Daniel Vandros





## Organisation

### La Direction du Projet

- Président : Christian BERNARDINI (CGPC)  
puis Jean-Louis COSTAZ (EDF-SEPTEN),
- Directeur technique : Didier BRAZILLIER (DDE du Cher  
puis de l'Yonne)

### Les partenaires

- Arcelor - ATILH - Bec - Béton de France - Bonna
- Bouygues - Bureau Véritas - Cadoret Consulting
- Campenon Bernard SGE - CEA - CEBTP - CERIB
- CETU - Chryso - Ciments Lafarge - Cofiroute
- Cogema - Condensil - CSTB - DDE (Charente, Haute Savoie, Hérault, Yonne) - Demathieu et Bard
- DG Construction - Ecole des Mines de Douai - Ecole des Mines d'Alès - EDF - ENPC - ENS Cachan (Laboratoire Mécanique et Technologie) - ENTPE
- FNTP - Freyssinet - Ciments Français - Ciments d'Origny - GTM - INSA Lyon - INSA Toulouse (LETHEM et LMDC) - IUT de Bethune - Jean Muller - LAMH/ Université d'Artois - LCPC - LERM - LP Consultant - Matière - MBT France - Pechiney Electrometallurgie
- RATP - SAE - SAM - SARET - SETEC TPI - Sétra - SIKA
- SNCF - Université de Poitiers - Vicat



## Durée Budget

La Convention de base avec la DRAST a été signée en juillet 1995. La durée prévisionnelle était de 5 ans. Elle a été prolongée par avenant jusqu'en 2003 pour répondre à un programme de recherche complémentaire.

Le budget définitif s'est élevé à 4 664 940 € HT, dont une subvention de la DRAST de 926 890 €, le solde en apports en nature et cotisations des partenaires.



## Publications

### Le Projet National BHP 2000 a organisé avec l'Ecole Française du Béton :

- trois séminaires sur 2 journées pour une audience globale d'environ 400 personnes,
- une douzaine de journées techniques visant les maîtres d'œuvre publics des DDE ou les services techniques des Conseils Généraux,
- et conjointement avec les Projets Nationaux CALIBÉ et BEFIM, trois séminaires à Paris, Marseille et Strasbourg sur « Les nouveaux bétons d'aujourd'hui et de demain ».

D'autre part, le développement des BHP en France et les recherches menées par le Projet National BHP 2000 ont fait l'objet de présentations dans plusieurs colloques et congrès internationaux.

Chaque thème de recherche a fait l'objet de rapports (79 au total), disponibles auprès de l'IREX.

### Les résultats du Projet National BHP 2000 sont publiés dans les ouvrages suivants :

Une série de guides édités par :

#### l'IREX :

- « Guide pratique à l'attention des architectes et des maîtres d'œuvre »,
- « Guide pratique à l'attention des bureaux d'études pour l'application des règles BAEL et BPEL 99 au BHP »,
- « Guide pratique à l'attention des fournisseurs de béton »,
- « Guide pratique à l'attention des laboratoires »,

#### le CERIB :

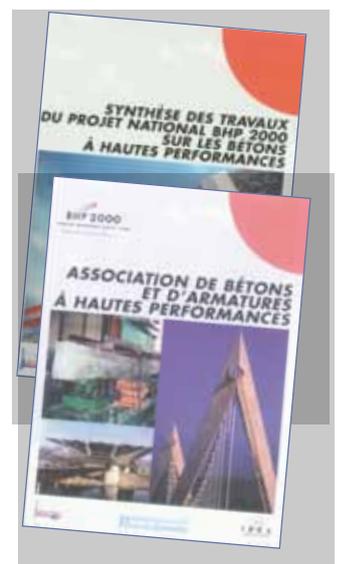
- « Guide technique : les Bétons à Haute Performance dans la préfabrication »,

#### le LCPC :

- « Guide technique : Valorisation des BHP dans les piles et pylônes de grande hauteur des ouvrages d'art ».

Deux ouvrages sont édités par les **Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées** :

- « Association de bétons et d'armatures à hautes performances »,
- « Synthèse des travaux du Projet National BHP 2000 sur les bétons à hautes performances ».



**Aussi paradoxal que cela puisse paraître, la principale réussite du Projet National BHP 2000 est la quasi disparition du vocable BHP qui montre que ces bétons sont devenus d'usage courant pour les grands ouvrages, la préfabrication et les bâtiments complexes...**

■ Les divers guides et outils d'aide au calcul ou à la formulation, les diverses sessions de formation ou de sensibilisation ont permis de toucher un très grand nombre d'utilisateurs.

■ La recherche et développement initiée autour de la formulation et des caractéristiques d'un BHP a énormément dopé l'évolution des adjuvants, des méthodes d'essais de durabilité, des codes de calcul,... qui ont rendu possible et ouvert la voie à d'autres bétons modernes comme les BAP et les BFUP, de même pour la méthode performantielle qui vise à spécifier les bétons via des caractéristiques de durabilité.

■ Avant même l'essor que l'on connaît actuellement du concept du développement durable, les BHP illustrent ces principes :

#### Economie des ressources avec :

- optimisation des matières premières : rupture trans-granulaire des gravillons, taux de travail supérieur possible pour les aciers passifs, 5kg de ciment par MPa pour un B80 contre 10kg par MPa pour un B35...
- plus grande durabilité des structures, soit un usage plus long pour le même prélèvement de ressources et de consommation d'énergie initiale,

- réduction des quantités de matière à fonctionnalités constantes (50 % de béton en moins, et donc de sable et granulats) sur des ponts types pour le franchissement d'une autoroute.

#### Economie financière :

- gain sur les fondations des ouvrages,
- gains sur les méthodes d'exécution (mise en œuvre de bétons fluides, décoffrage, précontrainte, fluage moindre et plus rapide) et les modalités de manutention des éléments (préfabrication),
- gains sur les cadences de production en usine,
- durabilité de la structure et donc moins de réparations.

#### Social :

- qualité architecturale, nouvelles possibilités de conception, nouvelles formes,
- esthétique des parements,
- gains de surfaces habitables ou utiles,
- moins de gêne aux usagers car moins de réparations et d'entretien,
- image de marque des entreprises et de l'ingénierie.

“ *Le Projet National BHP 2000 a permis de modifier profondément l'image de marque du matériau béton pour en faire un produit à haute technologie et forte valeur ajoutée, un matériau toujours adapté au génie civil et aux bâtiments du XXI<sup>ème</sup> siècle, avec encore, un important potentiel d'évolution.* ”

**Ratios comparés pour un PS type de 2 travées de 21,50 m**

	Dalle BP traditionnelle B 35	Dalle BP Bourges B 80	Dalle BA Sens B 60
Elancement	1/22	1/30	1/25
Epaisseur	1 m	0,54 à 1 m	0,75 à 1 m
Epaisseur équivalente	0,75 m	0,37 m	0,56 m
Volume de béton	390 m <sup>3</sup>	188 m <sup>3</sup>	300 m <sup>3</sup>
Armatures passives	39 t	39 t	61,5 t
Précontrainte	12 t	8 t	0
Poids du tablier	975 t	520 t	780 t
Coût HT au m <sup>2</sup> utile y compris fondations	990,92 €	981,77 €	987,987 €