



## Objectifs

Photo : Thierry Mamberth

Le Projet National CALIBÉ, projet de recherche associatif, se devait de répondre à des besoins exprimés par l'ensemble de ses partenaires, acteurs de la profession.

Or, les tours de table qui ont conduit au montage et au lancement du projet ont clairement montré qu'une préoccupation dominante, notamment de la part des entreprises, était de revaloriser l'image défavorable du béton trop souvent répandue dans l'opinion publique.

Le projet s'est donc fixé comme objectifs de mettre au point l'ensemble des méthodes permettant d'obtenir un béton de qualité dans les constructions courantes, en évitant les incidents dans la réalisation des ouvrages, tout en profitant des évolutions et améliorations constantes et novatrices des constituants et du matériau.

# Projet National CALIBÉ

## La maîtrise de la qualité des bétons

### Programme réalisé

*Pour atteindre l'objectif du Projet National, il fallait discerner pour chaque poste de la chaîne qui va de l'amont de la fabrication à l'aval de la mise en œuvre, les facteurs essentiels par lesquels agir, et déterminer une « instrumentation » constituée d'un ensemble d'appareils de contrôle ou de mesure, de protocoles d'essais ou de recommandations pratiques.*

*Soucieux d'efficacité, les partenaires ont choisi de concentrer leurs moyens sur un nombre limité de thèmes, en ayant à chaque fois l'ambition d'aboutir à des résultats utilisables aussi directement que possible dans la pratique quotidienne.*

*Ont donc été traités :*

#### 1 La méthode MBE (Mortier de Béton Equivalent)

L'introduction d'adjuvants et notamment de fluidifiants dans la composition du béton peut se traduire par l'apparition, dans certains cas, d'anomalies du comportement rhéologique du béton frais.

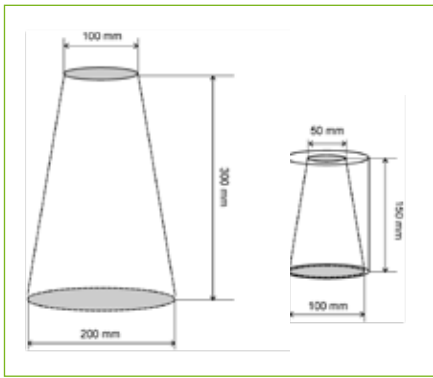
Une pré-étude sur la fluidification des bétons, réalisée par le LRPC de Clermont-Ferrand, permettait de découvrir que le maintien de la rhéologie des bétons n'était pas seulement conditionné par la nature du ciment et de l'adjuvant, mais encore par la nature des éléments fins du sable et par la teneur en eau, sans oublier les accentuations des phénomènes liées aux variations de température.

On notait également que certaines compositions présentaient une grande sensibilité rhéologique pour de faibles variations de dosage en adjuvant.

L'ensemble des partenaires, industries cimentières, fournisseurs d'adjuvants, fournisseurs de béton prêt à l'emploi, laboratoires, convenait qu'il fallait disposer d'une méthode pour déterminer les propriétés rhéologiques du béton frais, et se mettait d'accord pour perfectionner la méthode MBE.

Le principe de cette méthode repose sur une corrélation reliant les propriétés rhéologiques d'un béton à son mortier. Cependant le mortier, qui joue un rôle sur la rhéologie, n'est pas exactement le mortier qui serait obtenu en tamisant un béton frais au tamis de 5 mm.





Dimensions du cône MBE par rapport au cône d'Abrams.



Atelier de mesure AVA.

## 2

### La mise au point de nouveaux automatismes

L'apparition de bétons plus performants implique une plus grande rigueur dans leur formulation et, encore plus, dans la qualité même de leur fabrication. La conduite des centrales à béton devenant de plus en plus complexe, les travaux réalisés dans le cadre de CALIBÉ ont eu pour but de développer un automate capable de prendre en compte, notamment, les éléments suivants :

- l'environnement (classe d'exposition) dans lequel le béton doit être utilisé,
- l'emploi d'additions faiblement dosées,
- les dosages minimaux en liant et des limitations au rapport eau efficace/liant équivalent.
- les exigences sur le malaxage, par exemple, la prise en compte des modes d'introduction des adjuvants et des durées de malaxage.

Un automate expérimental (RS automation) fut conçu sur la base d'un cahier des charges défini au sein du Projet, développé, implanté et testé en situation de production industrielle sur une centrale du centre de la France (BGC).

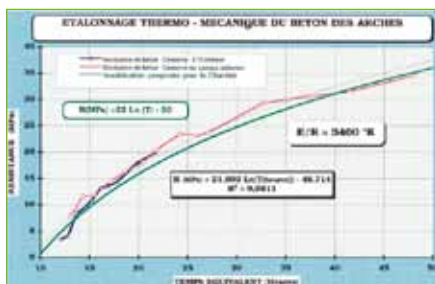
## 3

### Le pompage du béton

Les avantages du pompage du béton sont nombreux : rapidité de mise en œuvre, accès aux endroits difficiles etc... Des matériels performants sont disponibles, mais peu d'études s'étaient intéressées auparavant aux bases scientifiques de l'analyse du comportement du béton lors du pompage.

Une installation expérimentale a été réalisée sur une centrale Lafarge à Roissy. Un circuit de pompage de 150 m environ, doté d'une pompe industrielle de forte capacité, a été construit et instrumenté. Plus de 60 essais de pompage, réalisés en parallèle avec des essais en laboratoires, ont permis la mise au point d'un outil de laboratoire mesurant le frottement à l'interface acier/béton (tribomètre)

Les essais réalisés dans le cadre de la thèse de Denis KAPLAN ont permis la rédaction d'un guide sur le « Pompage des bétons ». Ce guide contient une méthode de calcul qui permet de définir l'aptitude au pompage d'un béton pour un circuit donné. Les résultats ont fait l'objet d'une validation sur deux chantiers : « Cœur Défense » à Courbevoie et Pforzheim.



Modélisation définie par étalonnage thermomécanique du béton.



Station d'essais de pompage.

## 4

### Les méthodes maturométriques

La bonne gestion des opérations de décoffrage, de mise en tension des câbles de précontrainte et de manutentions des éléments préfabriqués nécessite une mesure fiable de la résistance du béton dans l'ouvrage.

Les méthodes maturométriques permettent d'évaluer la résistance instantanée du béton in situ à partir d'une courbe de référence et de la connaissance d'un historique de températures. Elles sont d'un emploi plus fiable que celui plus traditionnel des éprouvettes d'information qui sont difficilement représentatives du béton dans l'ouvrage.

Ces méthodes sont insuffisamment utilisées actuellement et l'objectif du travail accompli dans le cadre de CALIBÉ a été de :

- compléter les références scientifiques de ces méthodes et les faire évoluer,
- optimiser le couple antagoniste précision-complexité,
- mieux définir les domaines d'emploi.

Il a abouti à un « Guide d'utilisation de la maturométrie ».



Cinétique du dégagement de chaleur.

## 5

### L'appréciation des parements

Un projet consacré au béton de qualité ne pouvait éluder la délicate question des parements, à la fois sous l'angle de la qualité intrinsèque (porosité, compacité...) et sous celui de l'aspect (teinte, texture, homogénéité...).

Le travail accompli collectivement dans ce domaine a été d'ordre essentiellement méthodologique, avec une analyse détaillée des notions relatives à l'aspect, leur classement et la définition d'une procédure à suivre pour maximiser les chances de compréhension et de satisfaction des différents acteurs, du client à l'entreprise en passant par l'architecte.

Quelques voies nouvelles d'explication scientifique des phénomènes observés ont été proposées, telle que l'existence d'une corrélation entre la maturité du béton de peau et la teinte (chantier du pont de la rivière Saint-Sauveur).

Les conclusions de cette analyse sont consignées dans le fascicule « Parements en béton » rappelant les notions à prendre en compte pour l'analyse d'un parement et proposant une série complète de conseils et recommandations pour l'obtention d'un résultat conforme aux attentes des différentes parties.



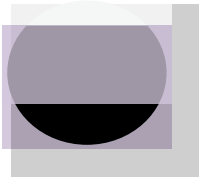
#### Parements en béton

Exemple de réalisation de façade avec animation des teintes.

« Les méthodes maturométriques permettent d'évaluer la résistance instantanée du béton in situ. »

Cœur Défense





## Organisation

### La Direction du Projet

- Président : Jacques DELACOUR (CORGEC)
- Directeur technique : Jean-Marie GEOFFRAY (LRPC Clermont-Ferrand)

### Les partenaires

- Aéroport de Paris - ATILH - Bétons Granulats du Centre - Bétons de Paris - Cadoret Consulting - Campenon Bernard SGE - CEBTP - CERIB - Chryso - Ciments d'Obourg - CTG Ciments Français - CUST (Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand) - EDF - ENTPE - EUDIL - FNTP - Fosroc CIA - GTM Construction - IUP Cergy-Pontoise - Lafarge - LAMH (Université d'Artois) - INSA Lyon - LCPC - LMDC (INSA Toulouse) - MBT - Razel - RMC - Rhodia Chimie - RS Automation - SEAC - SFAC - Sigma Béton - Solen Essais - STV - PTC - Putzmeister - UNICEM Auvergne

Photo CIMbéton



## Publications

### Les travaux du projet ont fait l'objet des publications :

- 3 fascicules de documentation sur :
  - l'automatisme de centrale de fabrication des bétons,
  - les anomalies de comportement rhéologique des bétons,
  - les parements en béton.
- 4 fascicules sur les méthodes d'essai :
  - la maîtrise de l'eau à la fabrication des bétons,
  - la formulation et le suivi rhéologique de bétons (méthode MBE),
  - la validation de la méthode AVA pour l'air entraîné,
  - les mesures de la teneur en eau de bétons durcis.
- 3 fascicules relatifs à des chantiers expérimentaux :
  - le malaxage en centrale et en camions,
  - l'expérimentation de béton autoplaçant pour des sites agressifs,
  - la prise en compte des conditions thermiques dans la formulation de béton fortement défloculé.
- 2 guides sur :
  - le pompage des bétons,
  - la maturométrie,
- un livre « **Résultats et recommandations du Projet National CALIBE** » édité par les Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.



## Durée Budget

- Le Projet National a commencé en 1996 et s'est terminé en 2001.
- Le budget s'est élevé à 2 959 349 € HT dont une aide de l'Etat de 524 137 € HT, le solde en apport en nature et cotisations des partenaires.

## Applications et retombées du Projet National

### L'ensemble des travaux réalisés dans les divers thèmes du Projet National CALIBÉ ont permis simultanément :

- un éclaircissement des spécifications et prescriptions de la nouvelle norme « béton prêt à l'emploi »,
- la mise au point des matériels de dosage et des méthodes de malaxage de ces bétons en conformité avec la nouvelle norme,
- de mieux comprendre les interactions ciment-granulats-adjuvants,
- une meilleure connaissance de la mise en œuvre du béton lors des opérations de pompage permettant notamment de limiter les phénomènes de ressuage et de ségrégation,
- une maîtrise de la démarche maturométrique, permettant de s'assurer de la résistance du béton dans l'ouvrage, et de l'avancement du degré d'hydratation (maturité suffisamment avancée au moment du décoffrage pour limiter les échanges néfastes avec l'ambiance : chantier expérimental de la rivière Saint Sauveur).



■ Sans CALIBÉ, les BAP n'auraient pas connu le développement rapide que l'on observe aujourd'hui et les bétons « verts » intégrant granulats et liants de substitution seraient encore considérés comme des matériaux de seconde classe. Il n'y a qu'à voir pour s'en convaincre l'usage aujourd'hui devenu banal des méthodes développées par CALIBÉ que les laboratoires du monde entier utilisent pour développer ces bétons.

■ En conclusion CALIBÉ a non seulement ouvert la porte à la formulation robuste des bétons modernes, mais a permis que les industriels assurent leur fourniture aux chantiers dans des conditions économiques satisfaisantes avec des garanties de maintien des caractéristiques d'ouvrabilité suffisantes.

©Patrick Guiraud

