

### Introduction :

L'utilisation de superplastifiants pour défloculer les grains de ciment , l'optimisation du squelette granulaire pour augmenter la compacité ainsi que l'élaboration de nouveaux processus de fabrication pour améliorer les propriétés de la matrice cimentaire ont conduit à la mise en point de nouveaux matériaux très performants : les bétons à ultra haute performance (BUHP) , l'adjonction de fibres leurs a conféré la ductilité nécessaire .

Les bétons de poudre réactive BPR sont des BUHP , apparus en 1995 pour satisfaire aux exigences de résistance tout en conservant une bonne ouvrabilité.

### 1- Définition :

Les BPR sont des bétons à fort dosage relatif en ciment et en adjuvants , à granulats de faible dimension , à fort dosage en fibres . les voies de l'obtention de tel béton sont :

- ✓ Teneur en eau extrêmement faible E/C est inférieur à 0.2 (ce qui est possible grâce à l'emploi des superplastifiants de nouvelle génération défloculant les fines et ultra fines.
- ✓ Optimisation de l'empilement granulaire : la dimension et le dosage en granulats sont considérablement réduit ( le diamètre de 1 à 4 mm ).

### 2- Principes fondamentaux :

Les caractéristiques exceptionnelles des BPR résultent de l'application de quatre principes fondamentaux :

- Amélioration de l'homogénéité par suppression des gros granulats .
- Amélioration de la compacité par optimisation du mélange granulaire et éventuellement par pressage avant et pendant la prise .
- Amélioration de la microstructure par traitement thermique (appliqué après démoulage afin d'activer les réactions d'hydratation et de pouzzolanité .
- Amélioration de la ductilité par ajout de fibres (micro fibres métalliques) .

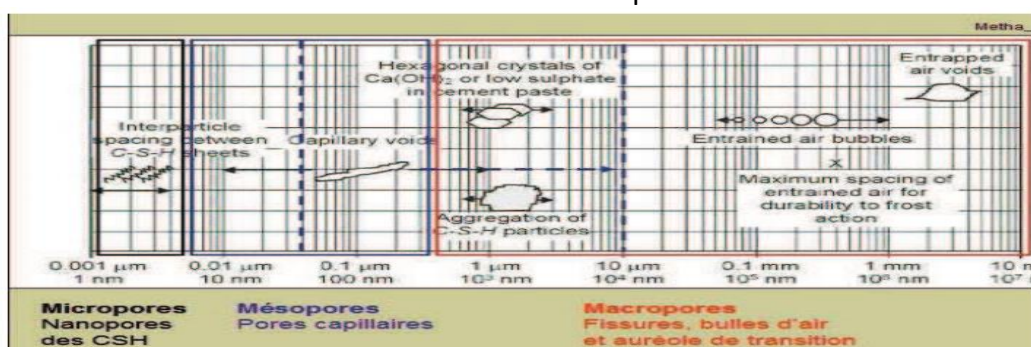
### 3- Performances et propriétés spécifiques :

Les BPR présentent les propriétés suivantes :

- Très grande ouvrabilité à l'état frais .
- Résistances mécaniques très élevées à court terme ( 60 à 70 Mpa à 24 heures ) et au jeune âge .
- Résistances mécaniques finales très élevées .
- Résistances mécaniques à la traction très significatives (20 à 50 Mpa en cas de traction par flexion) .
- Compacité très importante conduisant à une absence de porosité et à une faible perméabilité .
- durabilité exceptionnelle.  
retrait faible et fluage très faible .
- Ductilité importante .

### 4- Formulation des BPR :

Comme les BHP les BPR se caractérisent par l'ajout d'ultra fines ; la réduction de la porosité contribue également au renforcement de la résistance en améliorant la qualité des CSH .



**Pour formuler un tel béton il est préférable d'utiliser :**

- Un ciment à faible teneur en C3A .
- Un sable fin qui constitue le plus grand granulat , sa taille est inférieure 600 micromètre ; son choix est indispensable pour assurer une bonne interface pâte granulat , la forme arrondie permettrait une faible absorption et favorise la rhéologie du béton . la masse de ciment qui sert à optimiser l'étendue granulaire du mélange et augmenter ainsi sa compacité .
- Parfois l'ajout du quartz broyé : poudre issue du broyage d'un sable très riche en SiO<sub>2</sub> sup à 98 % , ce quartz à une taille moyenne de 5 à 10 micro mètres.
- Les fibres : ce sont des fibres spécifiques , elles confèrent leur ductilité à ce matériau composite ; métalliques conduisant à des BPR d'usage plutôt structural , organiques et minérales elles donnent aux BPR des propriétés esthétiques . leur longueur en général de 10 à 20 mm pour les fibres métalliques et une section la plus faible possible ( 0.1 à 0.3 mm ) pour favoriser l'adhérence fibre – matrice .
- Le dosage courant de fibres métalliques est 2 à 3 % du volume, les fibres de faible longueur jouent un rôle dans la couture des fissures .

**5- Composition d'un BPR :**

Un exemple de composition de BPR est donné au tableau suivant :

Composant	Quantité Kg / m <sup>3</sup>
Ciment	950
Fumée de silice	237
Sable de silice	997
Fibres métalliques	146
Superplastifiant	17
Eau	180
E/liant (C+Fs)	0.15

**6- Structure minérale des BPR :**

-Les BPR sont des matériaux à structure micrométrique , les dimensions s'étalent du millimètre au nanomètre , cette micro structure leur confère une très faible porosité (porosité non connectée) ; de plus le rapport E / C inf. 0.2 est tel que subsistent au sein du béton à l'état durci après consommation de l'eau de l'hydratation des particules de clinker non hydraté ( 50 % de C3S subsiste ) ce qui aide à renforcer **l'homogénéité** mécanique du matériau :

- ✓ Les particules non hydratées constituent de micro granulats de grande qualité présentant un module d'élasticité très élevé ( E des C3S = 117000 Mpa ).
- ✓ Elles représentent une réserve de ciment anhydre ( formation de nouveaux hydrates ) .

-Faire subir aux BPR un traitement thermique vise à améliorer la microstructure en activant la réaction pouzzolanique ( fumée de silice et quartz ) , en effet ce traitement permettrait de reconstituer des chaînes de CSH plus longues.

-La compacité est peut encore être améliorée par un éventuel pressage avant et pendant la prise .

-La ductilité est améliorée par l'ajout de micro fibres .

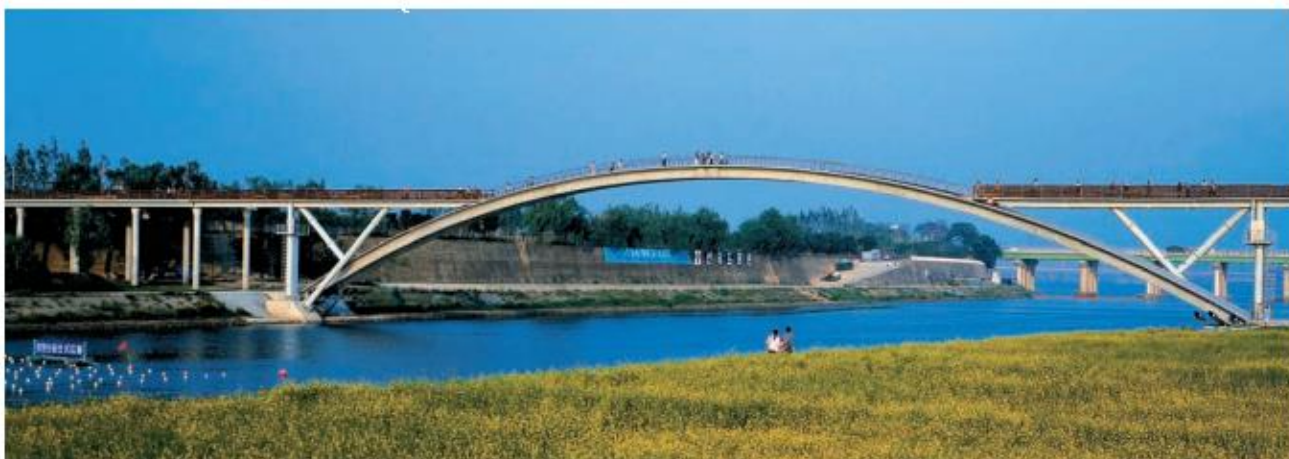
-La combinaison de ces multiples facteurs permet d'atteindre des résistances en compression allant de 200 à 800 Mpa .

### 7- Réalisations en BPR :

Plusieurs structures partout au monde sont réalisées par des BPR citons :

- Passerelle piétonne de Sherbrooke au Canada 1997
- Passerelle piétonne de 50 m au Japon 2002
- Passerelle piétonne de 50 m en Allemagne 2004 -2005
- 2000 poutres qui composent la tour de refroidissement de centrale électrique en France 1997-1998

Passerelle de la Paix à Séoul,  
Rudy Ricciotti, architecte. [50]



Pont de la Chabotte  
sur l'A51. [49]