



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université Djilali Bounaama Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie - FST

Béton à Hautes Performances

Chapitre 1

M2_Structures

Année universitaire : 2025/2026

Béton à hautes performances

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Avantages du BHP
- 8- Applications

Introduction

Historique du BHP

A l'époque, on utilisait l'expres

La solution la plus simple po
béton était de rajouter encore

Les producteurs de béton ont
efficace et très astucieux (col

En utilisant des réducteurs d
la résistance atteint 60 MPa,
qui ne pouvait être surmontée

Pour augmenter le plus pos
dosage en réducteur d'eau éta



Gratte-ciel Lake Point Tower
construit en Chicago dans les
années 60

Introduction

Augmentation du dosage en réduisant le retard de prise ou augmentation de la résistance du béton.

Donc, l'approche était de choisir le ciment qui permettait d'augmenter le rapport eau/ciment (début des années 70).

Utilisation des superplastifiants pour réduire le rapport eau/ciment (0.30) sans entraînement d'air (durcissement ou entraînement d'air).

Perte d'affaissement observée lorsqu'on réduit le rapport eau/ciment.

Pour diminuer encore plus ce rapport (0.30), introduction d'un substitut ultrafin du ciment; fumée de silice (100 à 150 MPa).



**Kuala Lumpur Petronas Twin Towers
construit en Malaysia en 1996**

Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Définition du béton à hautes performances

ACI definition

ACI Committee on High Strength Concrete revised the definition to cover mixtures with a specified design strength of 55 MPa or more (2002).

HPC is defined as a concrete meeting special combination of performance and uniformity requirements that cannot always be achieved usually using conventional constituents and normal mixing, placing, and curing practices.

Définition de la norme européenne EN 206-1

Le béton est considéré comme un 'béton à haute résistance' à partir d'une classe de résistance de C55/67. Le premier nombre derrière la lettre C fait référence à la résistance à la compression caractéristique mesurée sur des cylindres de 300 mm de hauteur et d'un diamètre de 150 mm, et le deuxième nombre, à la résistance à la compression caractéristique mesurée sur des cubes de 150 mm de côté.

Définition du béton à hautes performances

Tableau 1 – Caractéristiques de résistance et de déformation suivant la norme EN 1992-1-1:2004

	Classes de résistance													
	↳ bétons à haute résistance													
f_{ck} résistance caractéristique en compression sur cylindre [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ résistance caractéristique en compression sur cube [MPa]	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} résistance moyenne en compression [MPa]	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} résistance moyenne en traction directe [MPa]	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
E_{cm} module d'élasticité secant [GPa]	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{c1} déformation au pic de contrainte [%]	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8

Définition plus générale

Le terme BHP est utilisé dans la littérature pour se référer à une famille de bétons spéciaux, lesquels sont supérieurs au béton conventionnel (classique ou usuel) d'un point de vue une ou plusieurs propriétés telles que l'ouvrabilité, la résistance et la durabilité.

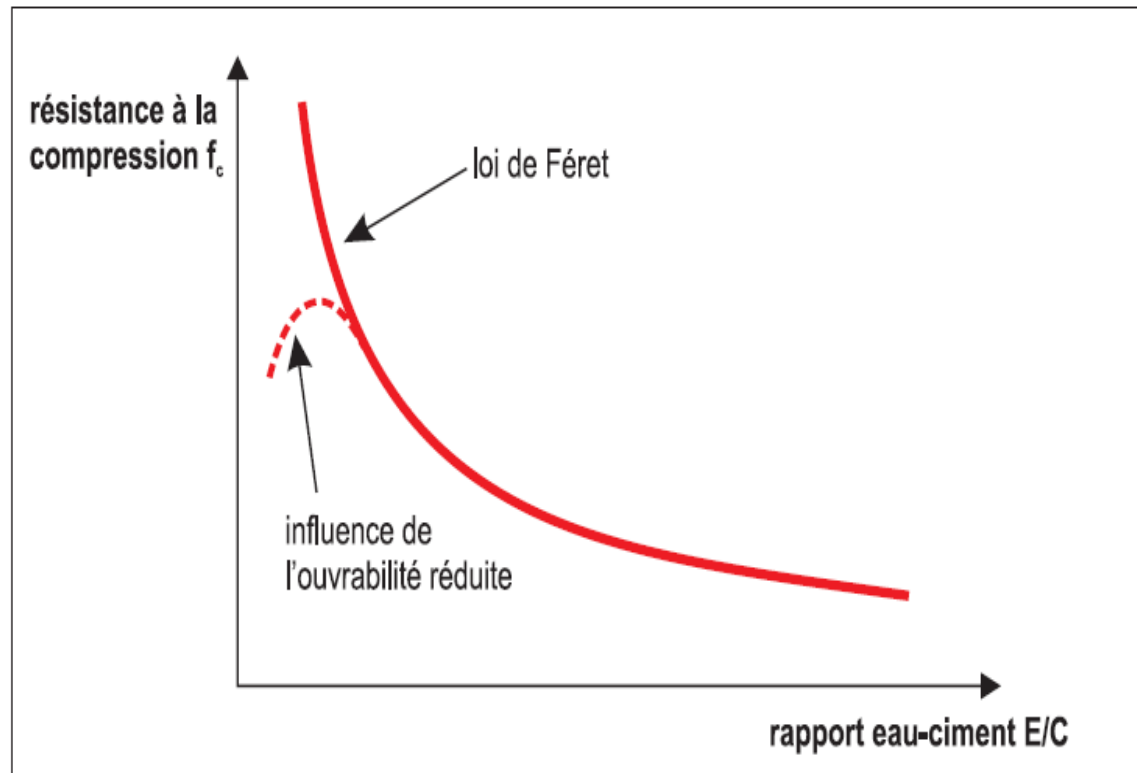
Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Principe du béton à hautes performances

Relation entre la résistance à la compression et l'eau de gâchage.

Fig. 1 – Relation entre la résistance à la compression et le rapport E/C

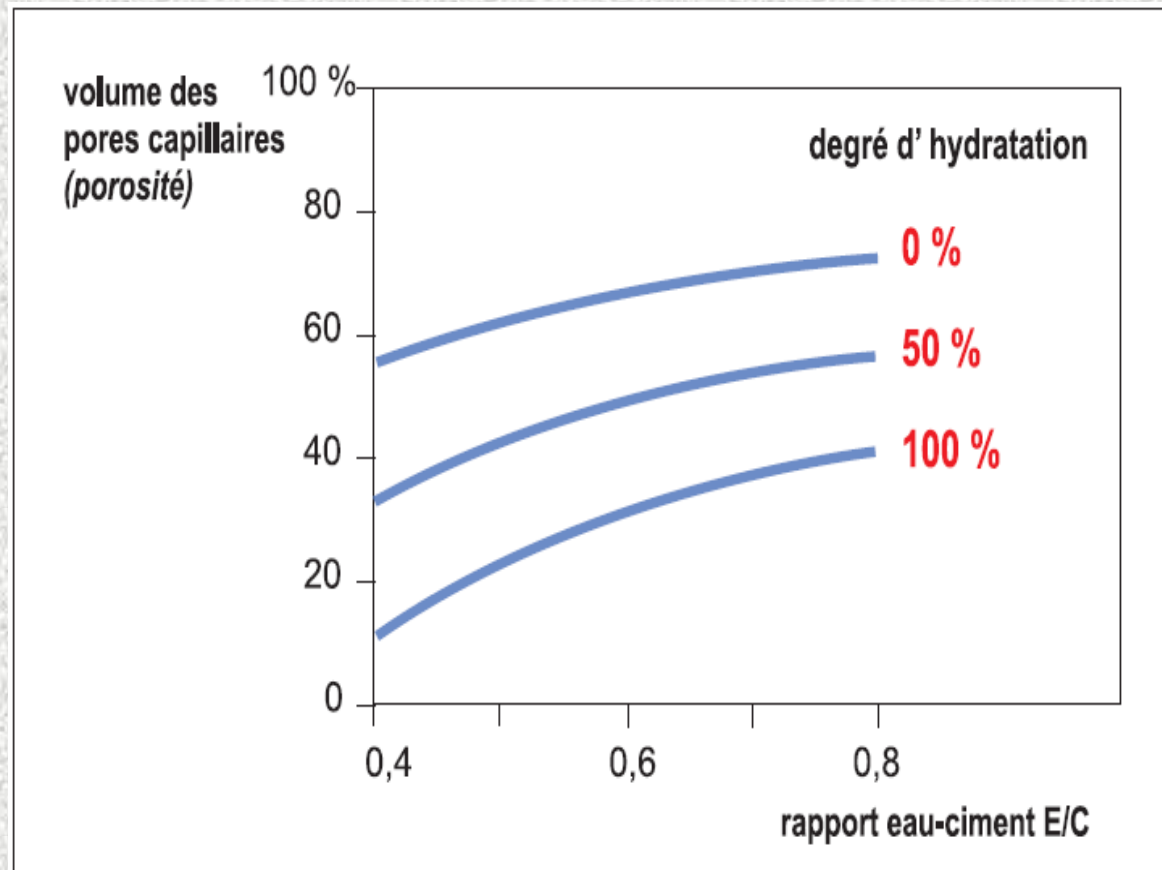


L'augmentation de la résistance est cependant limitée. À partir d'un rapport eau-ciment trop faible, le béton ne peut plus être mis en œuvre. Les vides et les pores qui en résultent réduisent à nouveau la résistance.

Principe du béton à hautes performances

Relation entre la porosité et E/C pour différents degrés d'hydratation

Plus le taux d'hydratation augmente, plus le ciment est hydraté, plus la quantité d'eau liée croît et, par conséquent, plus la quantité d'eau libre diminue.



Principe du béton à hautes performances

La durabilité du béton augmente donc avec la réduction du volume des pores (porosité réduite, compacité accrue) et du rétrécissement des pores (réduction de la perméabilité). Il s'ensuit que le rapport eau-ciment doit être le plus faible possible.

Problématique

Comment concilier deux exigences contradictoires : réduire la quantité d'eau pour obtenir une résistance et une durabilité accrues, et ajouter de l'eau pour faciliter l'ouvrabilité ?

Solution



Utilisation des adjuvants

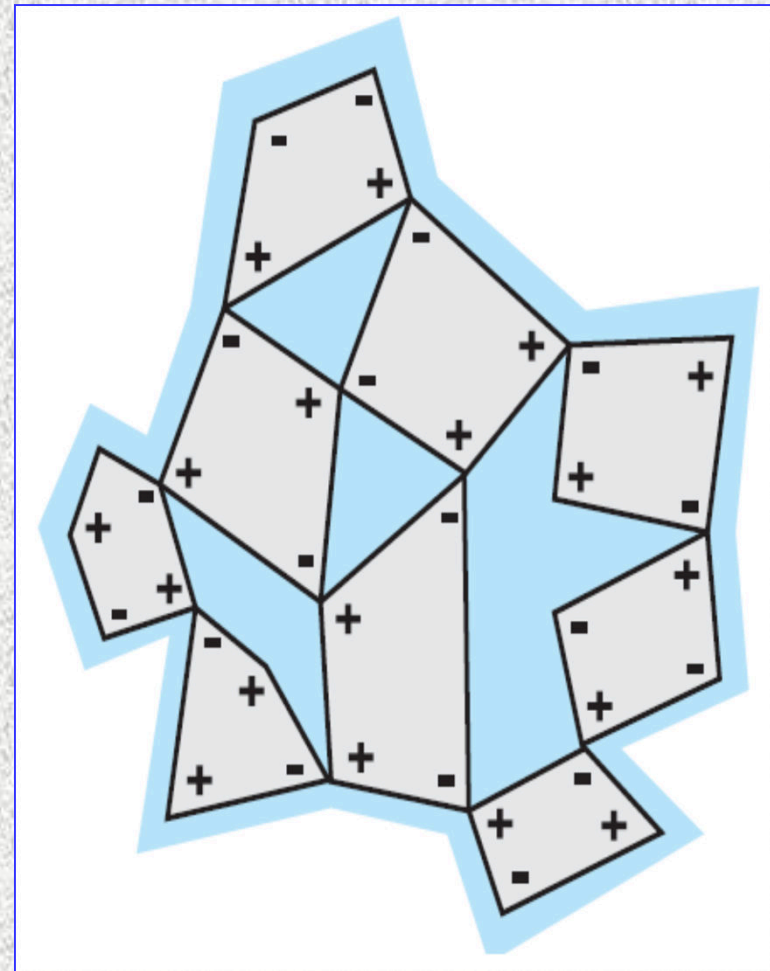
L'effet de ces adjuvants est de rendre le béton nettement plus liquide, sans ajouter d'eau.

Principe du béton à hautes performances

L'eau de gâchage qui se trouve entre ces flocculats sera toutefois emprisonnée (La surface de chaque grain de ciment contient des charges électriques libres).

Rôle du superplastifiant

Les molécules du superplastifiant se fixent par adsorption sur l'interface entre le grain de ciment et l'eau de gâchage. Une fois adsorbé, le superplastifiant forme une charge négative autour de chaque grain de ciment. Ce faisant, les grains se repoussent les uns des autres.



Principe du béton à hautes performances

Il est possible de réduire le rapport eau-ciment à moins de 0,3. La seule utilisation d'un superplastifiant permet également d'obtenir des résistances à la compression d'environ 80 MPa.

La réduction du rapport eau-ciment par l'ajout d'un superplastifiant permet d'obtenir un béton plus compact.

Rôle des additions ultrafines

Problème

La zone de transition entre les granulats et la pâte de ciment durcie est très poreuse et peu résistante.

Principe du béton à hautes performances

Solution

L'ajout de particules extrêmement fines permet de combler les minuscules vides dans cette zone de transition.

En raison de leurs petites dimensions et de leur immense surface spécifique, les fumées de silice sont les plus efficaces.

La résistance d'un béton obtenue grâce à un superplastifiant et à des fumées de silice peut excéder 100 MPa.

Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- **Formulation du béton à hautes performances**
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Formulation du béton à hautes performances

le béton à hautes performances se compose de granulats, d'eau, de ciment, de superplastifiant, et éventuellement d'une addition (souvent, des fumées de silice).

❖ Un retardateur de prise y est parfois ajouté pour augmenter le temps de mise en œuvre.

❖ Le superplastifiant et le retardateur doivent être réciproquement compatibles, ainsi qu'avec le ciment utilisé.

❖ Si une résistance supérieure est souhaitée, la résistance mécanique du granulat est d'autant plus importante.

❖ La forme joue un rôle : les granulats concassés permettent d'obtenir un gain de résistance supérieur à 10 MPa.

Formulation du béton à hautes performances

❖ La plupart du temps, le diamètre maximal des grains sera compris entre 10 et 20 mm, par exemple 16 mm.

❖ Le granulats fin ayant un module de finesse supérieur (approx. 3.0) est recommandé non pas pour améliorer l'ouvrabilité, parce que ca nécessite moins d'eau et les particules grossier vont générer un cisaillement important.

Composition typique

- 450 kg de ciment,
- rapport eau-ciment = 0,30,
- 10 % (maximum) de fumées de silice en fonction de la masse de ciment,
- 10 litres de superplastifiant par m³ de béton,
- diamètre maximal des grains 16 mm.
- le rapport de la pâte du ciment au granulats est fixé à 35:65
- le rapport des granulats fins aux granulats gros est maintenu à 2:3

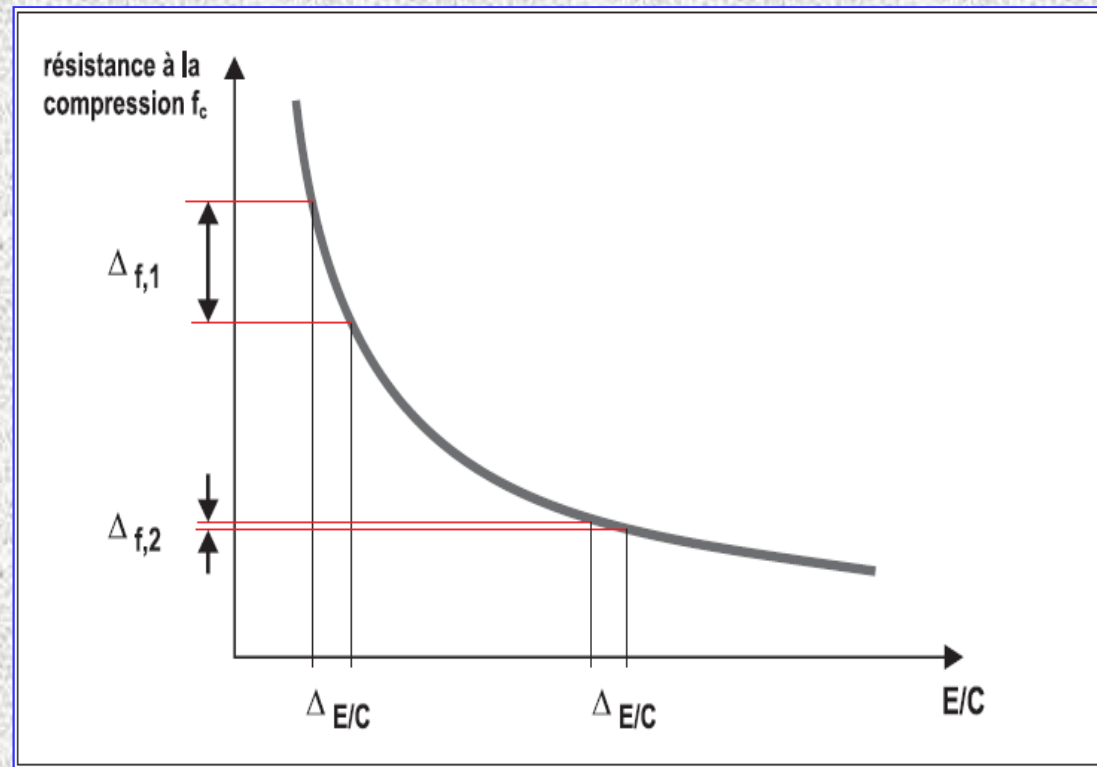
Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- **Mise en œuvre**
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Mise en œuvre

Les différences dans la teneur en eau et le dosage du ciment induisent une variation supérieure de la résistance en cas de rapport eau-ciment faible.

Le pesage, le mélange, la mise en œuvre, etc. doivent dès lors s'effectuer de manière extrêmement méticuleuse, dans des marges de tolérance les plus faibles possibles.



Mise en œuvre

La cure du bétons à hautes performances

L'eau à la surface peut s'évaporer, mais n'est pas renouvelée

Les capillaires de la zone superficielle se vident dès lors et sont soumis à des contraintes de contraction sans cesse qui induisent le retrait du béton en surface.

La traction encore minime du béton jeune ne peut pas absorber les contraintes apparues, ce qui induit l'apparition de fissures.

La cure du béton fraîchement coulé est dès lors indispensable, par exemple en humidifiant les surfaces non protégées, en apposant des produits de cure pour éviter l'évaporation, ou en le couvrant d'un film.

Plan du cours

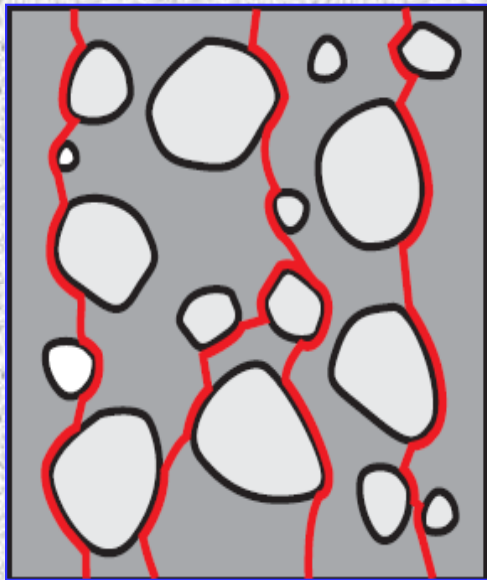
- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- **Propriétés du béton à hautes performances**
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Propriétés du béton à hautes performances

Comportement en compression

Les fissures d'adhérence entre la matrice de mortier et le granulat se propageront autour des granulats.

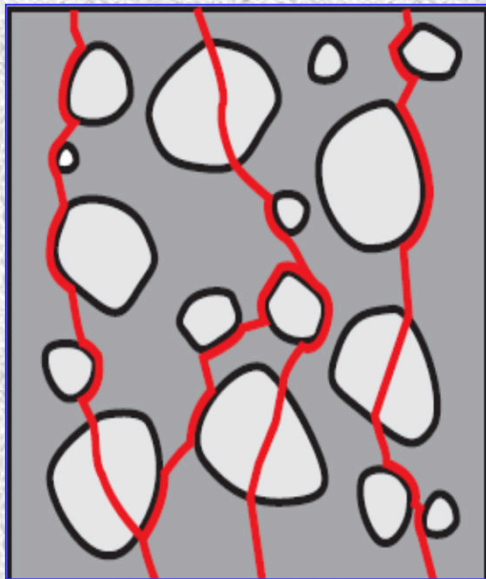
Béton usuel



le béton cèdera sous l'effet de tout un réseau de fissures ininterrompues dans le mortier, alors que les granulats ne subiront aucun dommage

Propriétés du béton à hautes performances

Le béton à hautes performances se caractérise par une meilleure adhérence entre les granulats et la matrice de ciment.



L'apparition et le développement de fissures d'adhérence ou de microfissures seront retardés. La résistance de la matrice sera pratiquement égale à la résistance des granulats.

Propriétés du béton à hautes performances

Durabilité

Etant donné la structure plus dense des pores du béton de hautes performances, ce matériau affiche un meilleur comportement face aux mécanismes d'agression.

Si la pénétration des substances agressives dans le béton est entravée, les processus de dégradation sont retardés.

La présence des fissures prématurées résultant des effets thermiques et du retrait (principalement endogène), peut influencer sensiblement la durabilité de la construction.

Résistance au feu

Par rapport au béton conventionnel, la résistance du béton à haute résistance diminuera plus rapidement si la température est supérieure à 100 °C.

Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- **Les avantages du BHP**
- 8- Applications

Avantages du BHP

❖ Durabilité améliorée face aux agressions physico-chimiques (perméabilité réduite, meilleure protection de l'armature contre la corrosion, réduction de la pénétration des ions chlore, diminution du risque de réaction alcali-silice, meilleure résistance au gel,...).

❖ Fluidité très élevée à l'état frais. Cette caractéristique facilite la mise en œuvre du béton, même dans les zones à densité d'armature élevée.

❖ Résistance accrue au jeune âge. Cette propriété permet de réduire le temps de coffrage et d'accélérer la mise en précontrainte. Des délais d'exécution raccourcis sont donc envisageables.

Avantages du BHP

- ❖ Une résistance finale accrue après durcissement, ce qui permet de réduire les sections du béton et, dès lors, la diminution du poids de la construction.
- ❖ Un module d'élasticité supérieur, susceptible d'améliorer la stabilité aérodynamique de ponts élancés.
- ❖ Un retrait réduit, qui s'avère avantageux pour la maîtrise des déformations d'une construction, ainsi qu'en ce qui concerne les pertes de précontrainte.
- ❖ BHP permet la réalisation de constructions plus élancées. Tels que la réalisation d'ouvrages d'art (ponts). Les avantages du BHP se concrétisent principalement dans l'obtention d'un espace intérieur le plus utile possible.

Avantages du BHP

- ❖ Les dimensions des éléments d'un bâtiment sont à l'heure actuelle généralement de 6 mètres, elles pourraient être portées à 7 ou à 8 mètres, grâce au BHP.
- ❖ L'aspect visuel des surfaces de béton (coulées sur place ou préfabriquées) présente généralement une bonne texture, notamment grâce à la haute teneur en fines du béton.

Plan du cours

- 1- Introduction
- 2- Définition du béton à hautes performances
- 3- Principe du béton à hautes performances
- 4- Formulation du béton à hautes performances
- 5- Mise en œuvre
- 6- Propriétés du béton à hautes performances
- 7- Les avantages du BHP
- 8- Applications

Applications

Le pont « Stichtse » au Pays-Bas

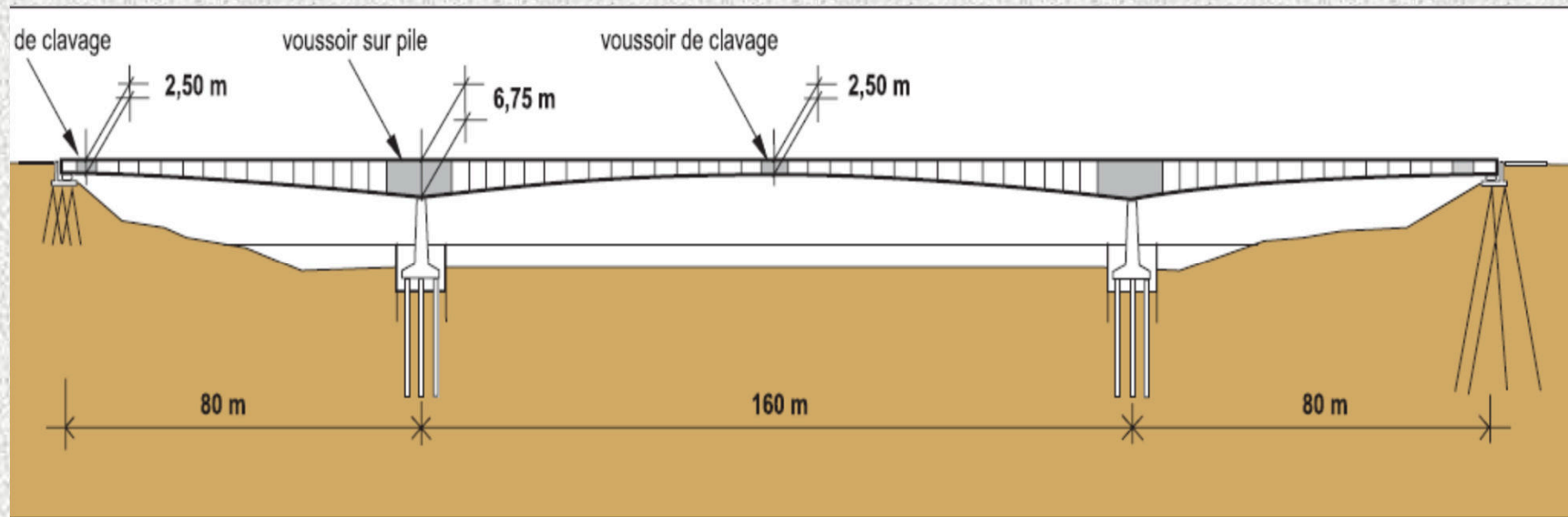
Le premier grand pont construit aux Pays-Bas en béton à haute résistance en 1996, d'une longueur totale de 320 m.



Applications

Composition du béton

CEM III/B 42,5 LH-HS	237 kg
CEM I 52,5 R	238 kg
fumée de silice (en poudre)	25 kg
rapport eau / (ciment + fumée de silice)	0,32
sable 0-4 mm	785 kg
concassé dur 4-16 mm	960 kg
plastifiant	0,95 kg
superplastifiant	9,5 kg



Applications

Le complexe se compose d'un parking souterrain de quatre niveaux et de deux immeubles-tours. Ces deux tours s'élèvent sur 30 étages.

Les tours
'NORTH
GALAXY' à
BRUXELLES
(2001)



Applications

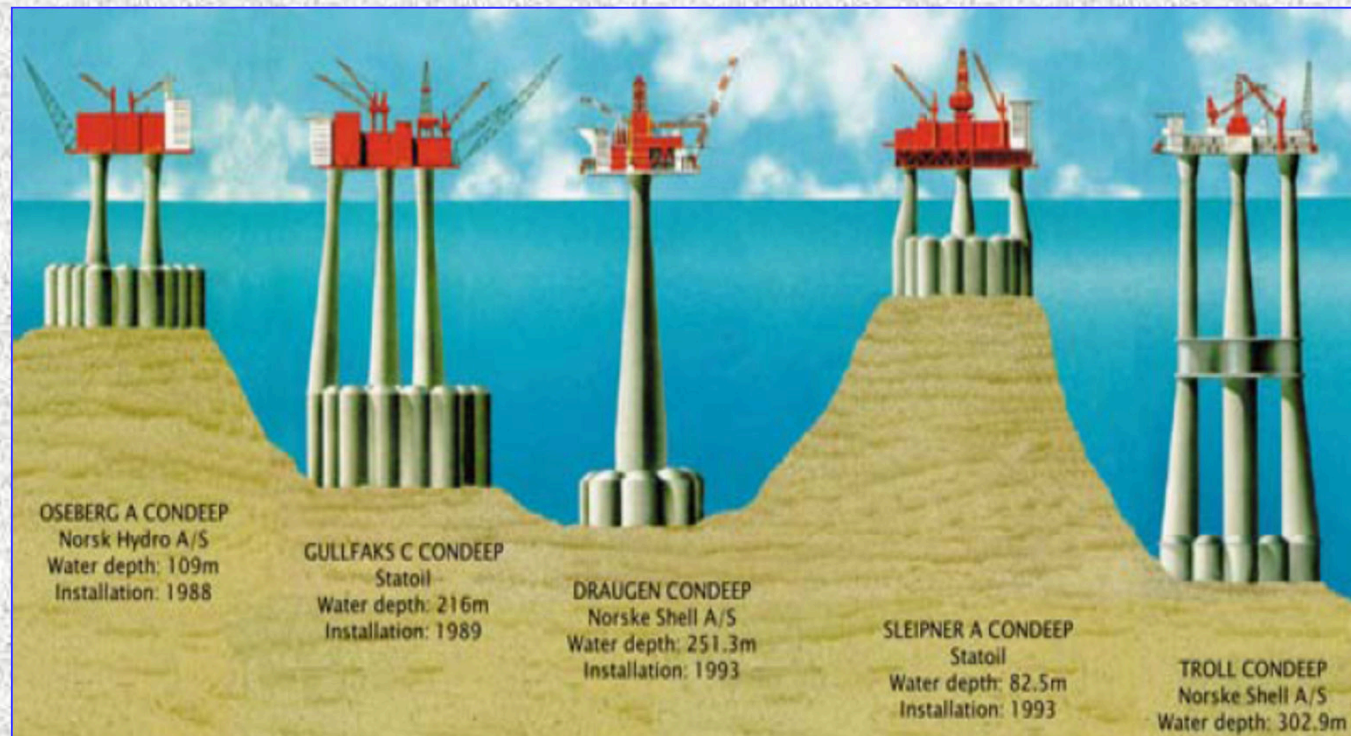
Les plates-formes pétrolières en Norvège

Plus de 20 plates-formes pétrolières ont été construites avec 2 millions de m³ de BHP à partir des années 1970. toutes ces structures sont installées en eau profonde par 70 m à 216 m de fond.



Applications

Les concepteurs ont pris en compte dans les calculs des vagues de 30 m d'amplitudes.



Références

1. Le béton à hautes performances, dossier Ciment N° 40, juillet 2007.
2. Pierre-Claude Aitcin, Bétons haute performance, 1.ed. Eyrolles, 2001, 407 pages.
3. Michael A. Caldarone, High-Strength Concrete, A practical guide, 1 ed. 2009 in the USA and Canada by Taylor & Francis, 252 pages.
4. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, Concrete, microstructure, properties, materials. 3 ed. 2006, 660 pages .

Merci
de Votre Attention