
Déformabilité et module d'élasticité des bétons à hautes performances

BEN MESSAOUD SABAH¹ & MEZGHICHE BOUZIDI²

¹Magister. Département de Génie Civil, Université de Biskra
benmessaoud.sabah@gmail.com

²Maître de conférence. Département de Génie Civil, Université de Biskra

RÉSUMÉ

L'utilisation de béton à haute performance (BHP) a permis d'élargir le domaine d'emploi des bétons. Grâce à la porosité limitée, la grande durabilité, les qualités rhéologiques et ses propriétés mécaniques remarquables, son emploi se développe fortement, de nombreuses années de recherche ont été nécessaires pour produire ce type de béton spécial. Ce travail a pour objectif de réaliser un BHP avec des matériaux disponibles sur le marché Algérien.

Most clefs

Ciment, granulats, superplastifiant, fumée de silice, pouzzolane naturelle, formulation, béton à haute performance, module d'élasticité et déformabilité.

1 INTRODUCTION

L'Algérie est l'un des pays en voie de développements, il adapte le programme de développement durable dans tous les domaines surtout dans le domaine de l'industrie de construction, donc il est nécessaire de fabriquer des bétons durables. Les développements récents en technologie des ciments et des ajouts cimentaires (fumée de silice, pouzzolane naturelle) et des superplastifiants a mené à la production du béton à haute résistance ($\geq 50\text{MPa}$) [1], sa haute résistance est une fonction inverse de son contenu de vide total.

Ainsi, le critère crucial dans la production du béton de haute résistance est l'utilisation de bas systèmes de rapport E/C, couplée à une consolidation optimale et la cure du béton [2], plusieurs autres de ses caractéristiques s'améliorent : la maniabilité, le module d'élasticité, la résistance à la flexion, la perméabilité et la durabilité [3]. L'utilisation des Bétons à Hautes Performances « BHP » est actuellement en plein développement dans le domaine du génie civil, notamment dans la construction des ouvrages d'art. Le choix du BHP comme matériau à un impact sur les coûts de construction initiaux (superplastifiant, fumée de silice, ciment) mais la quantité de béton et de ferrailage est réduite, il a aussi des conséquences tout au long de la vie utile des structures. En effet, ce choix a des effets sur les activités d'inspection, d'entretien et de réparation ainsi que sur sa disposition à la fin de sa vie utile. De plus, ces effets touchent également les usagers de la structure, la société, etc, donc le BHP est le béton le plus économique à long terme.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux afin de fabriquer des BHP avec plusieurs caractéristiques améliorées tel rhéologiques, mécaniques, la durabilité en premier lieu et visant l'aspect économique en deuxième lieu. L'étude du comportement mécanique des bétons à base des différents types d'ajouts (fumée de silice, pouzzolane naturelle).

2 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Ciment : le ciment utilisé a été le CPJ-CEM II/A 42.5 provenant de la cimenterie de Aïn Touta (wilaya de Batna).

Granulats : les graviers utilisés sont des concassés de nature calcaire de la région de Biskra (ZIANI). Ils sont de classes 5/15 et 15/25(5/25), 5/10 et ayant un poids spécifique de 2,60, une humidité de 0% avec coefficient de Los Angeles 23%. Quant au sable provient de la région de Biskra (Lioua), il a un poids spécifique de 2,50 et un module de finesse de 2,52.

Superplastifiant : l'adjuvant utilisé est un superplastifiant local de type «MEDAPLAST HP». C'est une solution de polyacrylates, d'extrait sec 20%, de couleur ocre clair et de $PH = 6-6,5$.

Les ajouts : deux ajouts ont été utilisés:

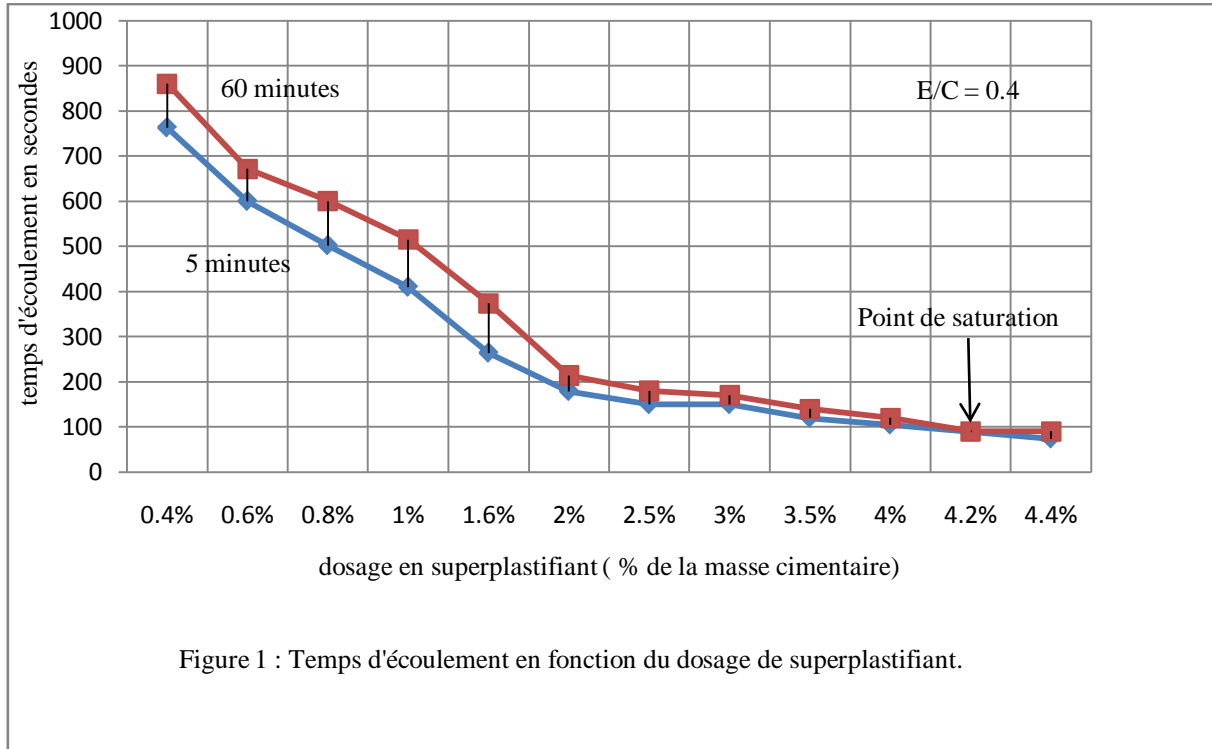
1. Fumée de silice : Il s'agit d'un MEDAPLAST HP adjuvant à base de micro silice (**Granitex**), caractérisé par sa masse volumique absolue 2,2, sa taille des particules $< 0,1$ (microns) et sa teneur en silice $> 85\%$.

2. Pouzzolane naturelle : la pouzzolane naturelle utilisée nous a été fournie par la cimenterie de Aïn Touta, c'est une roche concassée sous forme de cailloux, avec une surface spécifique Blaine de $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ (après le broyage).

3 ANALYSE DES RÉSULTATS À L'ÉTAT FRAIS

3.1 La compatibilité ciment/superplastifiant

La perte d'affaissement, le retard de prise, le raidissement ou la perturbation de la teneur en air entraîné sont tous synonymes d'incompatibilité ciment/superplastifiant [4]. L'étude de la compatibilité ciment/superplastifiant (C/SP) est faite par l'essai d'écoulement des types cône Marsh. La méthode utilisée est celle de l'université de Sherbrooke qui consiste à préparer un coulis et mesurer son temps d'écoulement à 5 et 60 minutes. Les résultats de la fluidité du coulis sont représentés par une courbe donnant le temps d'écoulement du système C/SP en fonction du dosage en superplastifiant (figure 1).



- La combinaison C/SP étudiée est compatible et le point de saturation est très élevé (4.2%) parce que la teneur en extrait sec du superplastifiant utilisé est plus ou moins basse 20%.
- Les deux courbes sont très proches parce que le PLASTACRYL 85 est un retardateur.

3.2 Composition des bétons

La méthode de formulation adoptée pour le mélange des constituants entrant dans la composition du béton est celle de l'université de Sherbrooke élaborée par le professeur P.C.Aïtcin et son équipe de recherche [3]. Les tableaux (1, 2) : présentent la formulation complète des 3 mélanges de béton pour des rapports eau/liant de 0.25, 0.50.

E/L : Eau/Liant.

Tableau 1 : Composition des mélanges de béton pour pierres concassées de fraction 5/15 et 15/25 à proportion (50%,50%).

N°	E/C (E/L)	Eau l/m ³	Ciment kg/m ³	Pierres concassées kg/m ³	Sable kg/m ³	Superplastifiant l/m ³	Fumée de silice (8%) kg/m ³	Pouzzolane naturelle kg/m ³
1	0.30	150	346.39	1070	566	29.99 (1.2%)	41.36	129.25 (25%)
2	0.5	165	310	1070	768	17.98 (1.2%)	/	/

Tableau 2 : Composition des mélanges de béton pour pierres concassées de fraction 5/10 à proportion (100%).

N°	E/C (E/L)	Eau l/m ³	Ciment kg/m ³	Pierres concassées kg/m ³	Sable kg/m ³	Superplastifiant l/m ³	Fumée de silice (8%) kg/m ³	Pouzzolane naturelle kg/m ³
3	0.30	150	346.39	1070	566	29.99 (1.2%)	41.36	129.25 (25%)

3.3 La maniabilité

Les résultats obtenus sont rassemblés sur les tableaux (3, 4).

Tableau (3) : Affaissements de béton avec les pierres concassées de fraction 5/15 et 15/25 à proportion (50%,50%).

E/C (E/L)	Affaissements (cm)
0.25	20
0.5	20

Tableau (4) : Affaissements de béton avec les pierres concassées de fraction 5/10 à proportion (100%).

E/C (E/L)	Affaissements (cm)
0.25	21

La fluidité de béton est augmentée avec l'utilisation de la fumée de silice, en raison de leurs petites particules sphériques et de leur immense surface spécifique qui peuvent combler l'espace entre les grains de ciment au lieu qu'il soit occupé par l'eau et cause généralement une réduction de la quantité d'eau exigée pour le béton maniable (plus grande quantité d'eau libre qui va fluidifier le béton) [3].

4 ANALYSE DES RESULTATS A L'ETAT DURCIS

4.1 Déformabilité et module d'élasticité

Dans le but d'étudier l'influence des deux fractions de granulats utilisées :

- Les pierres concassées de fraction 5/15 et 15/25.
- Les pierres concassées de fraction 5/10.

Et l'ajout de la fumée de silice et de la pouzzolane naturelle sur la déformabilité du béton à 28 jours, on a confectionné deux sortes de béton, un béton à base des pierres concassées de fraction 5/15 et 15/25 (50%, 50%) et un béton à base des pierres concassées de fraction 5/10 (100%), les deux bétons sont réalisés par le remplacement combiné de 8% de la masse de ciment par la fumée de silice et le remplacement de 25% de la masse de ciment par la pouzzolane naturelle avec E/L de 0.25, chaque série comprend trois échantillons prismatiques (10x10x40) cm³.

Les essais ont été effectués à 28 jours du durcissement, la déformation a été mesurée au moyen de comparateurs à cadran ayant la valeur d'une division de 0.01 mm qui sont installés à l'aide de cadres appropriés sur une distance de 200 mm dans le sens longitudinal et de 100 mm dans le sens transversal, Photo (1).

Définition de la résistance prismatique des éprouvettes par la formule :

$$R_{Pri} = P/F$$

P : la charge de destruction, daN.

F : l'air de la section de l'éprouvette, cm².

Module d'élasticité de béton

Le module d'élasticité se détermine pour chaque éprouvette au niveau de la charge égal 30% de la charge de destruction.

$$E_{el} = \sigma_1 / \varepsilon_{1el}, \sigma_1 = P_1 / F$$

σ_1 : Accroissement de la contrainte de

zéro conventionnel au niveau de 30% de la charge de destruction.

P_1 : charge de destruction correspondante.

ε_{1el} : Accroissement des déformations relatives élasto-instantanées longitudinales, des éprouvettes correspondant à la charge $P_1 = 0.3P$.

ε_{2el} : Accroissement des déformations relatives élasto-instantanées transversales, des éprouvettes correspondant à la charge $P_1 = 0.3P$.

L'accroissement des déformations relatives longitudinales et transversales se détermine comme la moyenne arithmétique des indications des indicateurs des quatre cotés du prisme.

$$\varepsilon_{1el} = \Delta l_1 / l_1$$

$$\varepsilon_{2el} = \Delta l_2 / l_2$$

Δl_1 et Δl_2 : Accroissement absolu de déformation longitudinales et transversales des éprouvettes correspondant à l'accroissement des contraintes.

l_1 et l_2 : les bases fixes pour les mesures de déformation longitudinales et transversales des éprouvettes.



Photo 1: Essai de déformabilité sur éprouvette prismatique (10x10x40) cm³.

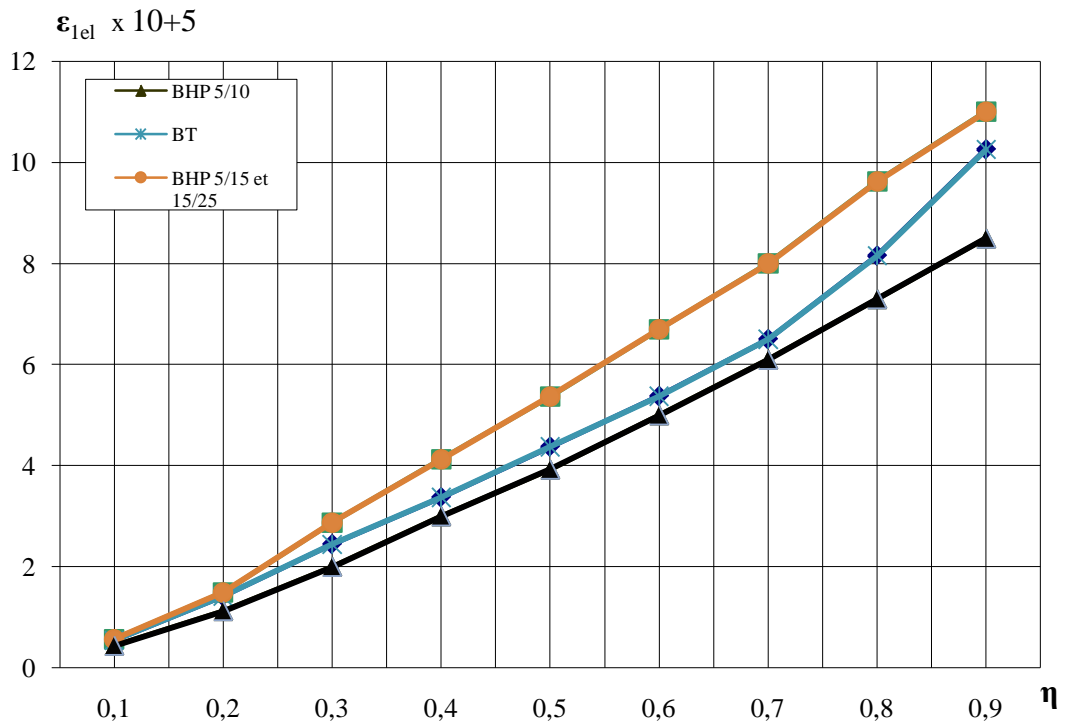


Figure (2) : Déformation élasto-instantanées longitudinales du béton ϵ_{1el} en fonction des contraintes relatives η pour les séries de prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

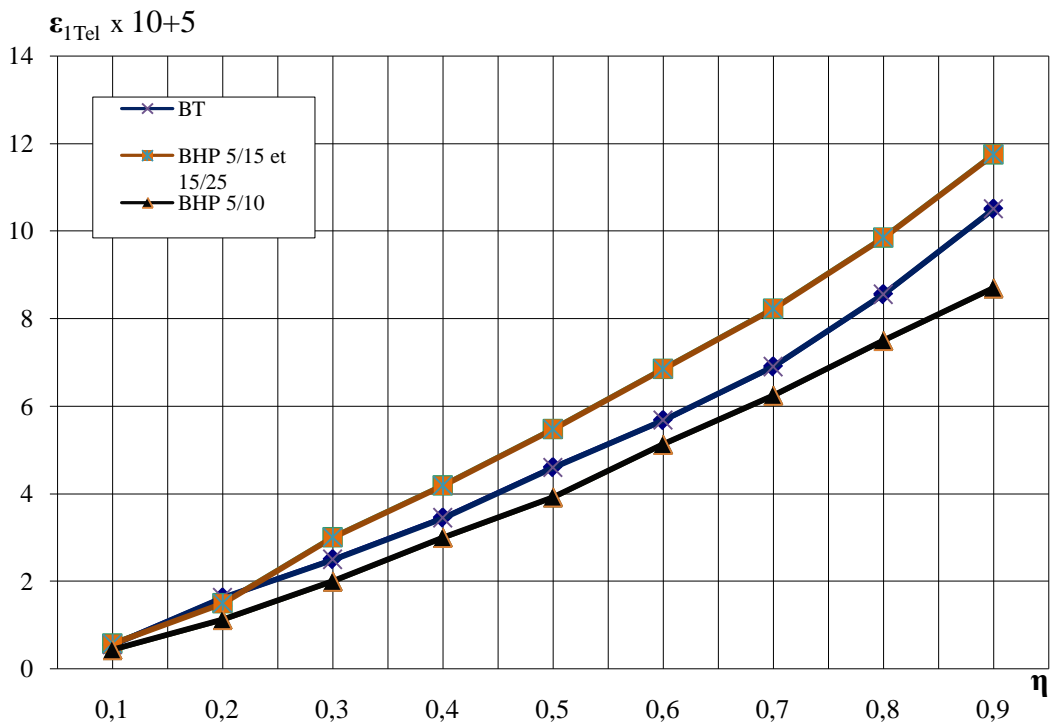


Figure (3) : Déformation élasto-instantanées totales longitudinales du béton ϵ_{1Tel} en fonction des contraintes relatives η pour les séries de prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

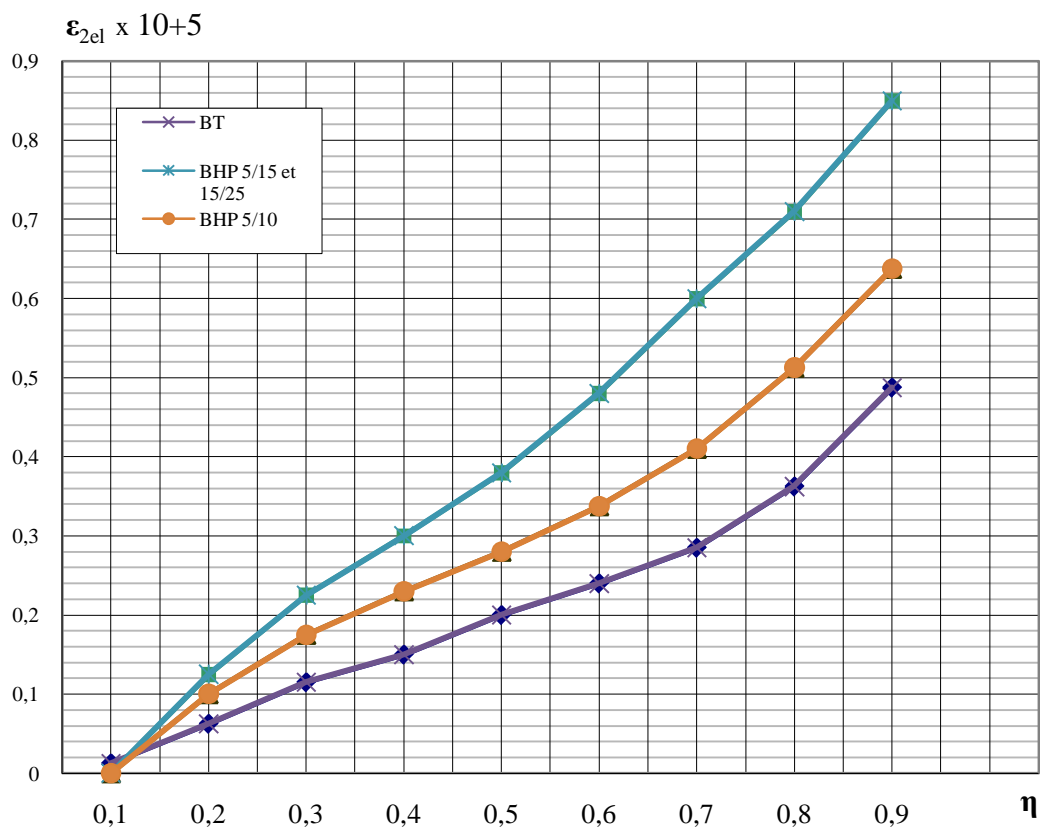


Figure (4) : Déformation élasto-instantanées transversales du béton ϵ_{2el} en fonction des contraintes relatives η pour les séries de prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

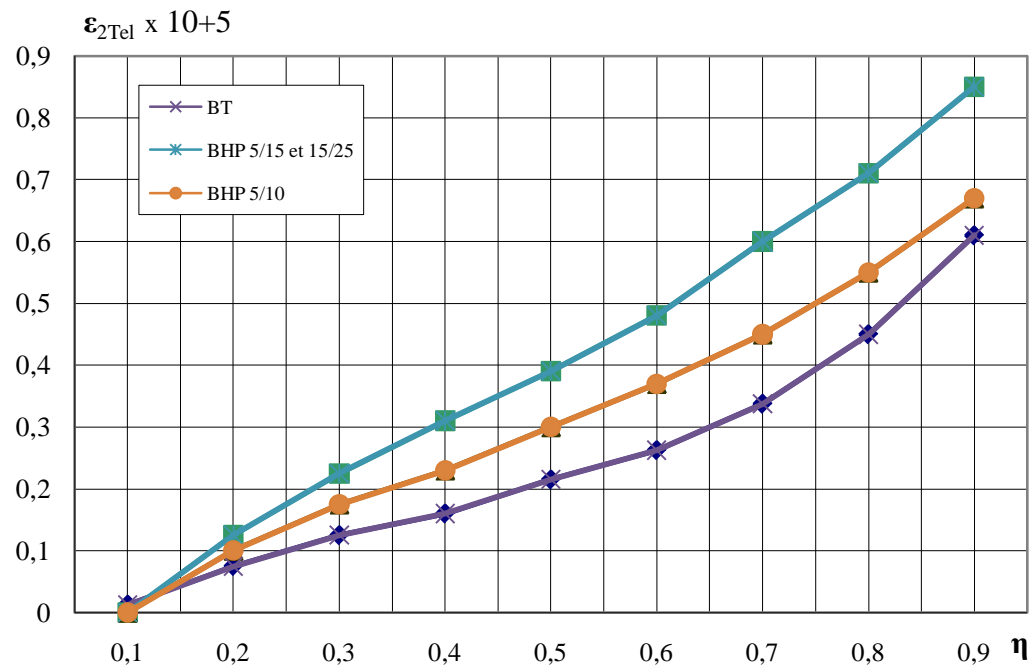


Figure (5) : Déformation élasto-instantanées totales transversales du béton ϵ_{2Tel} en fonction des contraintes relatives η pour les séries de prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

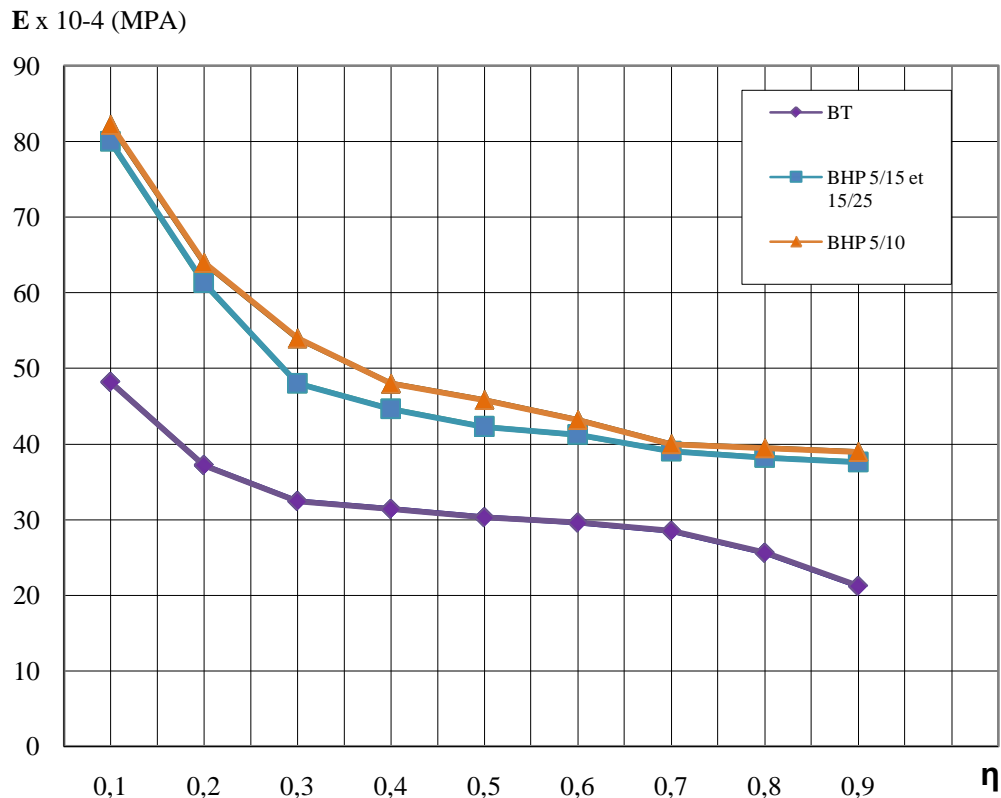


Figure (6) : Module de déformabilité (E) du béton en fonction des contraintes relatives η pour les séries de prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

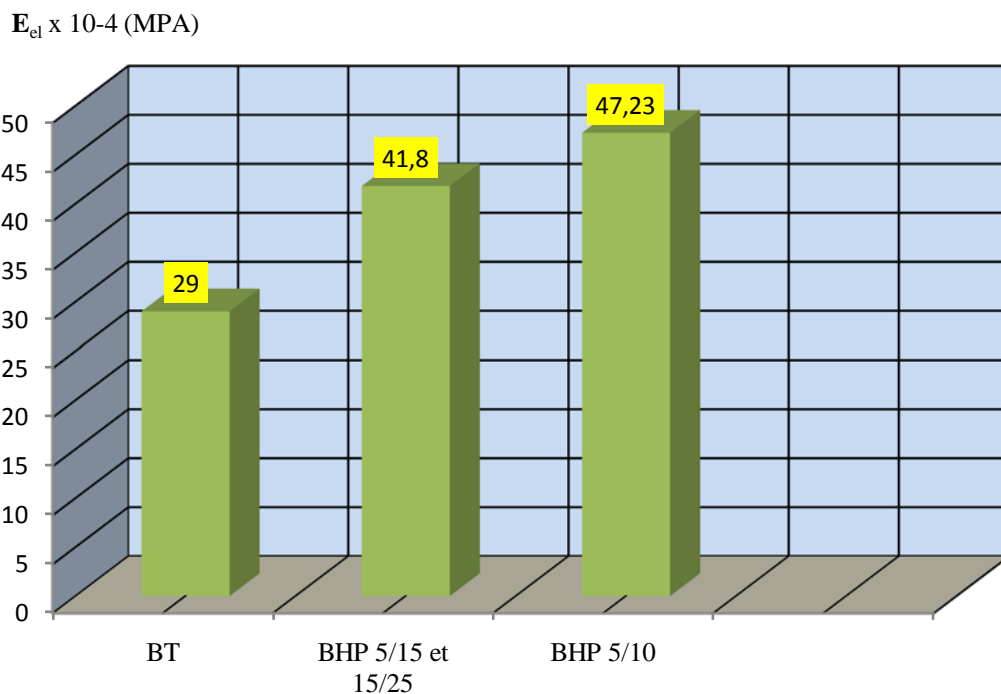


Figure (7) : Module délasticité des prismes BT, BHP 5/15 et 15/25 et BHP 5/10.

D'après les figures (2, 3, 4, 5, 6), on peut voir une représentation schématique suivant les résultats des essais appliqués sur trois prismes ($10 \times 10 \times 40$) cm^3 , identiques de chaque série (5/15 et 15/25, 5/10), représentant l'évolution de la relation entre, les déformations élasto-instantanées longitudinales et transversales à l'instant (t) et relatives totales à

($t+\Delta t$) avec l'augmentation de la contrainte relative (η) ainsi que le module de déformabilité du béton à la compression . Cette étude nous a permis de mettre en valeur l'influence de la diminution de la taille maximale des granulats sur la déformation du béton à la compression, et de préciser quelques remarques :

La relation entre la valeur relative de la contrainte et les déformations élasto-instantanées du béton revêt un caractère rectiligne dans l'intervalle ($\eta = 0.1 - 0.7$). Un comportement élastique linéaire.

La relation entre (η) et les déformations est curviligne dans l'intervalle ($\eta = 0.7 - 0.9$), ce qui signale le développement dans les bétons des déformations irréversibles.

Ces figures montrent bien que la composition de béton fabriqué à base de fraction 5/10 présente des basses déformations ainsi qu'un module de déformabilité élevé relativement à celles du béton témoin (E/C = 0.5 avec l'utilisation des pierres concassées de fraction 5/15 et 15/25 (50%,50%)) et par conséquent une meilleure déformabilité. On voit que le module de déformabilité (E) diminue avec l'augmentation de la contrainte relative.

En ce qui concerne le module d'élasticité, on note que le béton à base des pierres concassées de fraction 5/10 présente un meilleur module d'élasticité (voir figure 7) cela s'explique par la forte adhérence entre la pâte de ciment et les agrégats, le béton est plus homogène.

Conclusion

L'effet des fractions des granulats est minime sur les caractéristiques des bétons frais et durcis.

Les durées de cure plus longues réduisent la perméabilité et a comme conséquence une structure des pores plus fines. C'est très important pour le béton directement exposé à un environnement agressif, la cure diminue aussi le retrait endogène des BHP.

Le béton contient 8% de la fumée de silice et 25% de la pouzzolane naturelle est un béton durable. Il a également été observé que le BHP peut être employé pour obtenir de hauts modules d'élasticité et durabilité élevée dans des structures spéciales, comme les structures marines, superstructures, parkings, pistes d'avion, ponts, tunnels, constructions industriels (centrales nucléaires).

Le module d'élasticité de béton de fraction 5/10 est supérieur à celui du béton à base de fraction 5/15 et 15/25, ce qui signifie qu'il est plus durable.

Avec la disponibilité des matériaux et une bonne connaissance des technologies des ajouts cimentaires, il est possible de produire un béton durable et améliorer ces qualités pour la plupart des applications.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Moncef Nehdi**, « Microfiller effect on rheology,microstructure,and mechanical properties of high-performance concrete », thèse de doctorat. Spécialité : génie civil, The university of British Columbia, April 1998.
- [2] **Feret.R**, BULL. Soc. Encour. Ind. Nat. Paris, N° 2, p. 1604, 1987.
- [3] **Aïtcin P.C.**, «*Bétons, Haute performance*» Edition, Eyrolles, Paris 683, 2001.