

Résumé

Les travaux effectués dans le cadre de ce mémoire concernent la confection d'un béton de haute performance (BHP) en utilisant les matériaux locaux.

Trois types de sables (terga, Bouihi, ENG) ont été utilisés dans la fabrication de ce béton. Les résultats obtenus en termes de résistance à la compression montrent que le sable type concassé est le plus performant car il permet de réduire le dosage en eau jusqu'à $E/L = 0,3$.

Ce résultat a été obtenu grâce aussi à l'ajout d'un superplastifiant obligatoire dans le cas des BHP pour assurer une bonne mise en œuvre.

D'autres paramètres ont été étudiés à savoir l'ajout de fumée de silice avec des pourcentages allant de 5% à 10% conformément aux recommandations de la bibliographie.

Ce type de béton BHP et BTHP sont de plus en plus utilisés dans les nouvelles réalisations architecturales (gratte-ciel, ouvrage d'Art et autre) pour le gain économique et l'esthétique des parements.

Mots clés : BHP, résistance, ouvrabilité, fumée de silice, superplastifiant, sable

Abstract

The work carried out within the framework of this memory relates to the clothes industry of a concrete of high performance (BHP) by using local materials.

Three types of sands (terga, Bouihi, ENG) were used in the manufacture of this concrete. The results obtained in terms of compressive strength show that crushed standard sand is most powerful because it makes it possible to reduce water proportioning until $E/L = 0,3$.

This result was obtained thanks also to the addition of one superplastifiant obligatory in the case of the BHP to ensure a good implementation.

Other parameters were studied to know the addition of going fume of silica with percentages from 5% to 10% in accordance with the recommendations of the bibliography.

This type of concrete BHP and BTHP are used more and more in the new architectural achievements (skyscraper, structure and other) for the economic profit and the esthetics of the facings.

Key words: BHP, resistance, workability, fume of silica, superplastifiant, sand

ملخص

العمل الذي يقوم في إطار هذه الأطروحة بشأن إعداد الخرسانة عالية الأداء (BHP) باستخدام المواد المحلية . واستخدمت ثلاثة أنواع من الرمال (تارقة، بويهي، ENG) في صناعة الخرسانة. كانت النتائج من حيث عرض قوة ضاغطة أن نوع سحق الرمال هو أكثر كفاءة لأنه يقلل من محتوى الماء تصل إلى $E / L = 0.3$ وقد تحقق ذلك بفضل هذه النتيجة إلى إضافة الملمن المتفوق مطلوب في حالة BHP لضمان التنفيذ السليم. درست غيرها من المعالم وهي بالإضافة إلى ذلك من غبار السيليكا بنسب تتراوح بين 5٪ إلى 10٪ على النحو الموصى به من قبل المراجع.

هذا النوع من الخرسانة BHP و BTHP تستخدم بشكل متزايد في المشاريع المعمارية الجديدة (ناطحات السحاب، وغيرها من الأعمال الفنية) لتحقيق مكاسب اقتصادية وجمالية.

الكلمات المفتاحية: BHP ، مقاومة، قابلية، غبار السيليكا، الملمن المتفوق، والرمل

Sommaire

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Remerciements

Introduction Générale.....1

Chapitre 1

1	Introduction	3
2	Présentation des BHP	4
2.1	Béton à haute performance.....	5
2.2	Béton à très haute performance	6
2.3	Béton à fibré ultra haute performance	6
3	Composition des BHP.....	8
3.1	Ciments.....	8
3.2	Les granulats (sable, gravillons).....	9
3.3	L'eau.....	10
3.4	Les adjuvants.....	10
3.4.1	Les plastifiants réducteurs d'eau et les superplastifiants :	10
3.4.2	Les accélérateurs de prise :	10
3.4.3	Les retardateurs de prise :	10
3.4.4	Les entraîneurs d'air :	11
3.5	Les additions minérales.....	11
3.5.1	Les fillers (norme NF p18-501) :	12
3.5.2	Cendres volantes (norme NF 450-1) :	12
3.5.3	Les métakaolins (norme NF p18-513) :	12
3.5.4	Les laitiers de haut-fourneau (norme NF.E 15167-1) :	12
3.5.5	Les fumées de silice (EN 13 263-1 et NF P 18-502) :	13
3.6	Fibres.....	13
3.6.1	Fibres métalliques (acier, inox et fonte amorphe) :	13
3.6.2	Fibres de polypropylène :	13
3.6.3	Fibres de verre :	13
3.6.4	Fibres d'alcool polyvinylique (CH ₂ -CH-OH) _n :	13
3.6.5	Fibres aramides :	14

4	Travaux antérieurs	14
5	Conclusion	19

Chapitre 5

1.	Introduction	21
2.	Réalité des bétons HP	21
2.1	Les ouvrages d'art	21
2.1.1	Le pont de Mila	21
2.1.2	Le métro d'Alger	22
2.1.3	Le pont sur l'Elorn	22
2.1.4	Le pont de Joigny	23
2.1.5	Le pont de Normandie	24
2.1.6	Le pont de l'île de Ré	25
2.1.7	Le deuxième pont « Stichtse » au Pays-Bas	26
2.2	Le bâtiment	27
2.2.1	Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (Mucem)	27
2.2.2	La Grande Arche	28
2.2.3	La Pacific Tower	28
2.2.4	La Grande Mosquée Hassan II	29
2.2.5	Les tours cœur –Défense	30
2.2.6	La tour PB6	30
2.3	Les ouvrages maritimes	31
2.3.1	Le port de Lorient	31
2.3.2	Barrage de la caserne du Mont Saint Michel	32
2.4	Autres applications	33

Chapitre 3

1	Introduction	34
2	Caractéristiques des granulats	34
2.1	Propriétés dimensionnelles [EN 933-1 et EN 933-2]	34
2.1.1	Analyse granulométrique	34
2.1.2	Masse volumique absolue et apparente	35
2.2	Propreté des granulats	36
2.2.1	Propreté des graviers	36
2.2.2	Equivalent de sable	36
2.2.3	Foisonnement de sable	37

2.3	Propriétés mécaniques.....	39
2.3.1	Essai Micro Deval.....	39
2.3.2	Essai LOS ANGELES	39
2.4	Caractérisation du ciment.....	40
2.4.1	Présentation.....	40
2.4.2	Masse volumique apparente et absolue.....	40
2.4.3	Essai cône de Marsh.....	42
2.4.4	Essai de Vicat (NF EN 196-3)	44
2.4.5	Composition chimique et minéralogique	45
2.5	Les ajouts.....	45
2.5.1	Fumée de silice	45
2.5.2	Les adjuvants	46
2.6	Eau de gâchage.....	47
3	Conclusion.....	48
Chapitre 4		
1	Introduction	49
2	Composition de béton de sable.....	50
3	Composition de béton.....	58
Chapitre 5		
1	Introduction	61
2	Interprétation générale.....	61
3	Interprétation des résultats en termes de résistance.....	62
3.1	Sable de Terga.....	62
3.2	Sable de Bouihi	66
3.3	Sable de l'ENG.....	68
3.3.1	Interprétation des résultats de béton (4x4x16).....	70
3.3.2	Confection des éprouvettes de 10×10×40.....	71
Conclusion Générale et Recommandations.....		73

ANNEXES

Bibliographie

Liste des figures

Figure 1. 1 Les poids des poutres en différents matériaux	8
Figure 1. 2Caractéristiques microstructurales du BHP par rapport au béton ordinaire	15
Figure 2. 1 Le pont de Mila	21
Figure 2. 2 Le métro d'Alger	22
Figure 2. 3 Le pont sur l'Elorn	23
Figure 2. 4 Le pont de Joigny	24
Figure 2. 5 Le pont de Normandie.....	25
Figure 2. 6 Le pont de l'île de Ré	26
Figure 2. 8 Le deuxième pont ' Stichtse' au Pays-Bas.....	26
Figure 2. 9 Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (Mucem)	27
Figure 2. 10 La grande Arche	28
Figure 2. 11 La Pacific Tower	29
Figure 2. 12 La grande mosquée Hassan II.....	29
Figure 2. 13 Les tours cœur-Défence.....	30
Figure 2. 14 La tour PB6	31
Figure 2. 15 Le port de Lorient.....	32
Figure 2. 16 Barrage de la caserne du Mont Saint Michel	32
Figure 3. 1Tamiseuse électrique	34
Figure 3. 2 Analyse granulométrie des différents granulats	35
Figure 3. 3 Essai d'équivalent de sable	37
Figure 3. 4 Foisonnement de sable de Bouihi	38
Figure 3. 5Foisonnement de sable de Terga	38
Figure 3. 6 Foisonnement de sable d'ENG	38
Figure 3. 7 La machine de micro-Deval.....	39
Figure 2. 8 Les billes de la machine.....	39
Figure 3. 9 La machine de Los Angelos	40
Figure 3. 10 Détermination de la masse volumique apparente.....	41
Figure 3. 11 Le toluène pour déterminer la masse volumique absolue de ciment	41
Figure 3. 12 Essai de cône de Marsh	43
Figure 3. 13 Les graphs d'écoulement de ciment au cône de Marsh.....	44
Figure 3. 14 L'appareille de Vicat.....	44
Figure 3. 15 Sac de 15 kg de fumée de silice	46
Figure 3. 16 Le superplastifiant SIKAVISCORETE TEMPO 12	47
Figure 4. 1 L'appareille de malaxage	51
Figure 4. 2 Le moule de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$	51
Figure 4. 3 La table à secousse	52
Figure 4. 4 La table vibrante.....	52
Figure 4. 5 Le mûrissement des éprouvettes.....	53
Figure 4. 6 Machine d'essai de compression	53
Figure 4. 7 Les fines d'argile en sable de Bouihi.....	57
Figure 4. 8 Les fibres métalliques.....	59
Figure 4. 9 Les éprouvettes de $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$	60
Figure 4. 10 Le cône d'Abrams	61

Figure 5. 1	Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du rapport E/C	62
Figure 5. 2	Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice	63
Figure 5. 3	Les résistances à la compression en fonction du dosage en fumée de silice (E/C = 0.55, SP = 1.6 % , 1.8 %)	64
Figure 5. 4	Les résistances en compression en variation de fumée de silice (E/C = 0.5, SP = 1.6 % , 1.8 %)	65
Figure 5. 5	Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2%)	66
Figure 5. 6	Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2.2%)	67
Figure 5. 7	Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2.4%)	67
Figure 5. 8	Les résultats de compression en variation de rapport E/L(Fc=10%, Sp=2%)	68
Figure 5. 9	Les résultats de résistance de compression en fonction de variante du superplastifiant (E/L=0.35, Fc=10%)	69
Figure 5. 10	Les résultats de résultats de compression en fonction de variante du superplastifiant (E/L=0.35, Fc=7.5%).....	70
Figure 5. 11	Les résultats de résistance de compression des éprouvettes de 4x4x16 en fonction de la masse.....	71
Figure 5. 12	Les résultats de résistance de compression des éprouvettes de 10x10x40 cm ³ en fonction de variation de dosage en fumée de silice.....	72

Liste des tableaux

Tableau 1. 1 Composition de 1m ³ de BFUP	6
Tableau 1. 2 Les classes de résistance des Bétons	7
Tableau 3. 1 Module de finesse des différents types de sable	35
Tableau 3. 2 Masse volumique apparente (terga, bouihi, eng, gravier 3/8)	36
Tableau 3. 3 Masse volumique absolue (terga, bouihi, eng, gravier 3/8)	36
Tableau 3. 4 Résultats de l'essai équivalent des sables (Terga, Bouihi, ENG)	37
Tableau 3. 5 Coefficient Micro-Deval et Los Angeles.....	40
Tableau 3. 6 Masse volumique apparente et absolue du ciment de Béni Daf et de Béni Saf	41
Tableau 3. 7 Les résultats d'écoulement de ciment par pourcentage de superplastifiant	43
Tableau 3. 8 Les résultats de l'essai de Vicat	45
Tableau 3. 9 Composition chimique du ciment de Béni Saf CEM II/A 42.5	45
Tableau 3. 10 La masse volumique absolue et apparente de fumée de silice	46
Tableau 3. 11 Caractéristiques du superplastifiant " SIKA VISCOCRETE TEMPO 12"	47
Tableau 3. 12 Composition de l'eau de gâchage (ml/l) (Boukli,2010).....	47
Tableau 4. 1 Les résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de E/C	54
Tableau 4. 2 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de fumée de silice	55
Tableau 4. 3 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de dosage en superplastifiant	55
Tableau 4. 4 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours	56
Tableau 4. 5 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours	57
Tableau 4. 6 Tableau 3. 7 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours.....	58
Tableau 4. 7 Les résultats de traction par flexion et de compression des éprouvettes de béton de 4x4x16 cm ³	59
Tableau 4. 8 Le résultat de traction par flexion et de compression de l'éprouvette de béton de 4x4x16 cm ³ en un pourcentage de fibre métallique	59
Tableau 4. 9 Les résultats de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours	61
Tableau 4. 10 Les résultats de traction par flexion et de compression de l'éprouvette de 10x10x40 cm ³ en béton fibré.....	61

INTRODUCTION GENERALE

Durant les dernières décennies, plusieurs travaux scientifiques ont été élaborés dans la perspective d'améliorer les propriétés constructives du béton frais et durci. Aussi, des études et des découvertes n'ont cessé de lui conférer des performances et des aptitudes nouvelles dans le but de trouver un compromis entre l'ouvrabilité et la résistance.

Les soucis des constructeurs sont d'aboutir à des hautes performances ou résistances avec un choix judicieux des matériaux et l'adjonction de nouveaux produits, telle que les adjuvants et les additions fines.

L'ajout de tels matériaux permet d'accomplir deux fonctions, l'une physique et l'autre chimique. La première fonction assure le remplissage des micro vides de l'empilement des grains de ciment tout en améliorant la compacité du mélange et en faisant progresser encore les qualités de sa rhéologie à l'état frais, tandis que la deuxième fonction (fonction chimique) concerne la fixation de la portlandite produite lors de l'hydratation du ciment pour former un composant de silicate de calcium hydraté plus dense et plus résistant que celui des bétons ordinaires (Benmansour M. et col., 2011).

L'objectif de cette étude est en plus d'exposer l'état de l'art des BHP, faire une tentative de fabrication d'un BHP avec les matériaux locaux disponibles.

Notre projet consiste à rechercher une amélioration de la performance du béton local en utilisant les matériaux existants dans la zone de Tlemcen prenant en compte les caractéristiques physiques et mécaniques de ses derniers.

En s'appuyant sur les aspects qui rendent les bétons semblables ou différents des bétons classiques, l'emploi des nouveaux constituants tels que les superplastifiants et les ultrafines devient indispensable pour atteindre certaines performances. En fonction de ces qualités en termes de résistance et d'ouvrabilité on arrive à des performances à différents degré : BHP, BTHP ou BUHP...

Notre projet de fin d'étude se divise en quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre de ce mémoire est d'abord consacré à une revue bibliographique portant sur l'historique des bétons à très haute résistance de même que sur les principes généraux de fabrication des BHP et les étapes de développement des BHP.
- ✓ Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des matériaux utilisés dans notre travail expérimental ainsi que le mode opératoire de chaque essai effectué sur ces matériaux.
- ✓ Le troisième chapitre est réservé à l'aspect pratique de notre travail. Dans un premier temps, nous présentons le processus des essais effectués ainsi que la démarche suivie pour l'élaboration et la formulation d'un béton de haute performance. Dans un second temps, nous présentons les résultats obtenus sur les différents échantillons confectionnés lors de cette étude.

- ✓ Le quatrième chapitre est consacré à l'étude et l'interprétation des résultats obtenus lors des différents essais sur échantillons prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ et $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$.
- ✓ Dans le cinquième chapitre, nous avons présenté quelques applications du BHP, BTHP et BUHP à travers un certain nombre de projets de construction.
- ✓ Le dernier chapitre est consacré à une conclusion générale de notre projet de fin d'étude et à des recommandations pour de futurs travaux dans ce domaine et avec les moyens disponibles localement.

Chapitre 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Introduction

La résistance à la compression est généralement considérée comme la principale caractéristique du béton. Depuis la découverte du béton armé, les études ont été axées sur la recherche de méthodes permettant de renforcer cette résistance. Des progrès considérables ont été enregistrés dans ce domaine au cours de ces dernières décennies. Aux Etats-Unis, durant les années 1950, une résistance à la compression de 35 MPa était considérée comme une résistance élevée. Dans les années 1970, la limite a été portée à 70 MPa, alors qu'en 1990, la notion de béton à haute résistance était réservée à un béton d'une résistance à la compression comprise entre 80 et 100 MPa. Et cette évolution n'est pas terminée ! Des résistances à la compression supérieures à 120 MPa ont été réalisées lors de constructions récentes. La notion de 'haute résistance' est dès lors très relative et, de toute évidence, évolutive. Il n'est dès lors pas étonnant que coexistent plusieurs définitions du 'béton à haute résistance'. Selon 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 (Concrete qui veut dire béton en anglais) fait référence à la résistance caractéristique à la compression mesurée sur des cylindres de 320 mm de hauteur et d'un diamètre de 160 mm, et le deuxième nombre, à la résistance à la compression caractéristique mesurée sur des cubes de 150 mm de côté (Aitcin, 1987).

L'augmentation de la résistance à la compression du béton s'accompagne fréquemment de l'amélioration d'autres propriétés, comme la résistance à la traction, la rigidité, la résistance à l'usure, la durabilité, etc. Pour certaines applications, ces propriétés peuvent même être plus essentielles que le niveau de résistance atteint. Dans pareil cas, le choix des composants et de la composition ne doit pas être axé sur l'obtention d'une résistance maximale, mais davantage sur l'obtention d'une prestation optimale des propriétés souhaitées. La résistance supérieure obtenue est une incidence de premier ordre. Il est parfaitement possible d'obtenir un béton présentant des hautes performances pour une propriété donnée, tout en ne possédant pas une résistance nettement supérieure. C'est ainsi que le béton auto compactant a été initialement décrit au Japon comme un béton à hautes performances, en raison de son ouvrabilité exceptionnelle et de sa (très probable) amélioration au niveau de la durabilité (Aitcin, 1987).

2 Présentation des BHP

Les BHP sont souvent classés selon leur résistance caractéristique à la compression à 28 jours f_{c28} en MPa. C'est ainsi que les spécialistes distinguent :

Bétons	Résistance (Mpa)
Béton ordinaire	20 -50
Béton a haute performance	50-100
Béton a très haute performance	100-150
Béton a ultra haute performance (exceptionnel)	≥ 150

Tableau 1. 1 Les classes de résistance des Bétons (Aitcin.P-C, 2001)

Les **BHP** nécessitent l'emploi du ciment choisi, type HPR. Dosé à environ 400kg/m^3 , leur fabrication suppose l'utilisation d'adjuvants réducteurs d'eau qui permettent de maintenir le rapport E/C à des valeurs comprises entre 0.35 et 0.40 tout en garantissant une bonne maniabilité n'est pas utile d'utiliser des granulats spéciaux à condition que ceux-ci soit propres.

Les **BTHP** sont obtenus en réduisant le rapport E/C à des valeurs de l'ordre de 0.20 à 0.35, ceci implique l'emploi de super plastifiants réducteurs d'eau à dosage élevé. Tous les composants du béton doivent être de bonne qualité. Il devient nécessaire d'utiliser des ultrafines telles que les fumées de silice, les granulats doivent être résistants de forme cubique ou sphérique, et ils présentent un module d'élasticité proche de celui de la pâte durci pour réduire les déformations différentielles entre granulats et matrice de béton. Il semble préférable de retenir des granulats de 10 à 12 mm de dimension maximale.

Les bétons exceptionnels, de résistance supérieure à 150MPa, ne sont encore fabriqués que dans un laboratoire. Un béton de 280 MPa à été obtenu dans un laboratoire avec un E/C= 0.16.

Le mélange de ciment et d'eau (avec éventuellement des ajouts), constitue ce que l'on appelle la pâte de ciment. En y rajoutant du sable, on obtient un mortier, l'addition de sable et de granulat donne du béton. La pâte présente à l'intérieur du béton joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. C'est l'élément actif du béton, elle représente environ 30% du volume d'un béton. Les granulats constituent un squelette inerte dispersé dans cette pâte. La présence des granulats dans le mélange limite la propagation des fissures de la pâte due au retrait.

Le béton est donc un matériau hétérogène mais aussi, particulièrement complexe et évolutif. Il présente une structure poreuse dont la porosité lui confère plusieurs caractéristiques, telles que sa perméabilité, sa résistance, sa durabilité et son comportement rhéologique, on distingue :

- Les pores capillaires ($0.01\mu\text{m} \leq \phi \leq 0.5\mu\text{m}$)
- Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ($\phi < 40$ angströms)

- Les bulles d'air occluses ($\phi > 1\text{mm}$) piégées à l'intérieur du béton lors du malaxage du mélange.

2.1 Béton à haute performance

Le béton de haute performance BHP est d'abord un béton de haute résistance, car ses caractéristiques mécaniques peuvent atteindre des valeurs spectaculaires. Elles sont passées de 50 à 100 MPa il y a quelques années à plus de 100 à 150 MPa, voire plus de 200 MPa pour des bétons de laboratoire (Aitcin.P-C, 2001).

Les gains de résistance ne sont pas les seuls avantages des ces bétons qui tirent leurs propriétés d'une forte réduction de leur porosité (Aitcin.P-C, 2001).

Ils sont également plus résistants aux agents agressifs et présentent une durabilité accrue.

Les bétons BHP permettent de réaliser des structures qui résistent à des contraintes élevées ou à un environnement sévère (climat, agressions marines effet gel-dégel).

Ils apportent aussi des résistances précoces élevées aux bétons, ce qui permet d'accélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier (Aitcin.P-C, 2001).

La recherche de haute performance se base surtout de la réduction de la porosité du béton, c-à-d son pourcentage de vide, ainsi que le prévoit la théorie de Féret. Celle-ci établit une proportionnalité entre la résistance et l'inverse du carré du volume d'air et d'eau libre (Aitcin.P-C, 2001).

La limitation de la porosité implique essentiellement deux conditions :

- une faible teneur en eau :

La faiblesse des performances du béton a été attribuée à la porosité capillaire et à l'accès de l'eau nécessaire à la maniabilité du béton frais. Une amélioration a été atteinte par diverses procédés réduisant la porosité et le rapport E/C. L'emploi des superplastifiants permet la réduction de la teneur en eau du mélange à consistance égale (entraînant la suppression d'un volume important d'eau non mobilisé par l'hydratation du ciment). Les rapports E/C utilisés de l'ordre de 0,35 au lieu de 0,45 à 0,50 pour un béton usuel (soit une réduction de teneur en eau emplies de 30%) (MALIER, 1992).

Les superplastifiants s'opposent à la floculation des grains de ciment, ce qui augmente leur réactivité, facteur de résistance à court terme.

La suppression de seuil de cisaillement dans la pâte de ciment à l'état frais par ajout de superplastifiant conduit à un béton s'écoulant aisément, bien qu'ayant un aspect visqueux et collants la mise en place, le pompage sont des opérations particulièrement facilité. Sur un autre plan, et d'après les résultats des études précises relatives au fluage de BHP chargés au jeune âge, l'obtention de très haute résistance dès les premières heures les premiers jours permettent un gain de temps énormes sur les opérations de décoffrage, mise en précontrainte etc... au niveau d'un chantier de construction ou une aire de

préfabrication (MALIER, 1992). Il en découle des économies et des simplifications très importantes. Dans certain cas spécifique, il peut être intéressant de retarder la prise de plusieurs dizaines d'heures sans dommages du fait de la très forte thixotropie de la pâte évitant dans le même temps, toute ségrégation.

En revanche, l'absence d'eau de ressuage conduit à une dessiccation de surface précoce et intense qui rend indispensable la réalisation d'une cure soignée, seul moyen d'éviter les fissurations de surface dues au retrait plastique.

- une granulométrie comportant des éléments fins en quantités suffisantes pour remplir les espaces entre les plus grands granulats (MALIER, 1992).

On peut atteindre une résistance de 60 - 80 MPa sans ajout des ultras fines seulement avec une réduction de E/C et un ajout de fluidifiant.

2.2 Béton à très haute performance

En plus de la faible teneur en eau de 0,20 à 0,35 et des ajouts des fluidifiants, des accélérateurs et des retardateurs de prise, le BTHP a une compacité élevée à cause de la faible porosité microscopique discontinue.

L'obstruction des pores est obtenue par utilisation des éléments ultra fines (fumée des silices, les fillers de calcaires), chimiquement réactifs, destinées à remplir les micros vides de l'empilement tout en faisant progresser encore les qualités de sa rhéologie à l'état frais (Aitcin.P-C, 1983).

Corollairement, la quantité d'eau nécessaire à la mise en œuvre peut encore être réduite.

Les ultrafines les plus utilisées dans ce cas sont les fumées de silice (teneur en $\text{SiO}_2 > 90\%$) sous produit de l'industrie du ferrosilicium, conditionnées pour le rendre utilisable (généralement par densification ou suspension dans l'eau).

Les fumées de silice ont une action sur la granulométrie du mélange mais présentent également une réactivité avec la chaux libre, liés à leur caractère pouzzolanique (Aitcin.P-C, 1983).

2.3 Béton fibré à ultra haute performance

Les progrès dans le domaine des adjuvants des méthodes de formulations et de l'utilisation des ultras fines ont conduit à une évolution spectaculaire des bétons : des bétons courants de résistance en compression de 30 MPa, la gamme s'est élargie aux bétons à hautes performances.

Une rupture technologique est intervenue au début des années 1990 avec la mise au point des bétons dont la résistance est de l'ordre de 200MPa en compression et de 40MPa en

traction par flexion. Grâce à cette dernière caractéristique, on peut désormais envisager de se passer des armatures passives dans les éléments structurels.

On retrouve dans la famille des BFUP des bétons réalisés suivant 2 concepts différents :

- 1- concept d'optimisation multi échelle de composants et de fibres, qui permet d'obtenir un comportement ductile.
- 2- Concept d'utilisation de granulats à haute résistance mécanique.

L'obtention de résistances élevées et de faibles perméabilités aux agents agressifs passe par une réduction très importante de la porosité et plus précisément du réseau des pores connectés, en jouant sur deux paramètres. (Dr A. Spasojevic, Décembre 2008)

- Une teneur en eau extrêmement faible (rapport E /C < 0,25) grâce à l'utilisation optimisée de superplastifiant qui déflocculent les particules fines et permettent un meilleur empilement granulaire d'une part, la quantité d'eau nécessaire au remplissage des vides s'en trouve réduite, et d'autre part la surface spécifique des grains, donc, à terme, leur hydratation, est accrue.
- Une compacité maximale, obtenue en utilisant des composants correspondant à plusieurs classes granulométriques (classiquement quatre, qui incluent le ciment et les ultra fines défloculées).

Les ultra fines utilisés dans les BFUP sont des fumées de silice de haute pureté, se forme de billes submicrométriques qui remplissent les espaces inter granulaires, et qui réagissent avec la chaux issues de l'hydratation du ciment. Ce faisant elles participent activement à la résistance de l'ensemble et ferment le réseau des pores à la diffusion des ions et des gaz.

Dans le cas des BFUP. La taille et quantité des plus gros grains est considérablement réduite. Le squelette granulaire y gagne en souplesse, ce qui réduit considérablement les effets de micro fissurations liés au retrait.

Dernier composant clé des BFUP : les fibres qui, lorsque leur dosage est suffisamment élevé confèrent au matériau sa ductilité. Ces fibres, en aciers à très haute résistance (> 2000Mpa), ou organique, ont une longueur adaptée à la taille du plus gros grain et une section la plus faible possible pour garantir un bon ancrage.

A titre d'exemple, une formulation typique de BFUP est donnée dans le tableau suivant (pour 1m³) :

Ciment NF	Sable fin	Quartz broyé	Fumée de silice	Fibre métallique	Adjuvant (extrait sec)	Eau totale
710kg	1020kg	215kg	203kg	160kg	10kg	140L

Tableau 1. 2 Composition de 1m³ de BFUP (site web 1)

Les BFUP peuvent être fabriqués dans une centrale à béton classique moyennant un réglage des pales du malaxeur et un allongement du temps de malaxage (5min au plus). L'utilisation d'un turbinant produit un fort cisaillement qui améliore les performances du matériau et permet de réduire le temps de malaxage.

Les formules type de BFUP sont généralement de consistance fluide ce qui permet un remplissage aisé de coffrage. La plage d'ouvrabilité est cependant très large. Il est possible de réaliser les BFUP d'extrusion ou auto plaçant. (Dr A. Spasojevic, Décembre 2008)

La mise en œuvre peut s'effectuer à la benne avec une manchette par pompage ou par injection.

Selon les conditions des chantiers ou de préfabrication on cherchera plutôt une résistance à la compression à 16 heures de 50 Mpa qui permet la mise en tension précoce de câble de précontrainte par post-tension, ou une résistance à la compression de 200Mpa après un traitement thermique adapter. (Dr A. Spasojevic, Décembre 2008)

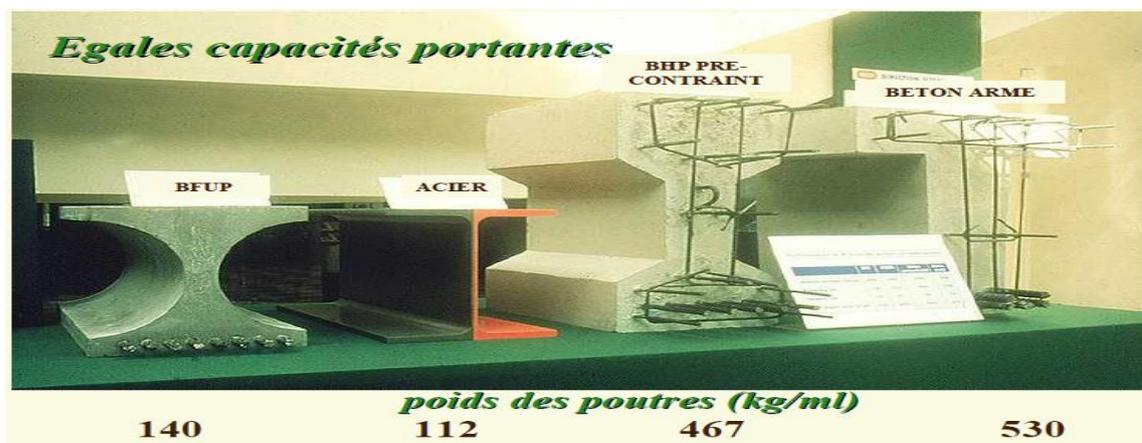


Figure 1. 1 Les poids des poutres en différents matériaux (site web 2)

2.4 Ciments

Le ciment pur (ou clinker) est obtenu par la cuisson entre 1400 et 1500 °C d'un mélange de calcaire (CaCO_3) et d'argile. Après un ajout de 5% de gypse, le clinker est broyé afin d'obtenir le ciment que nous connaissons.

Le mode de fabrication du ciment génère des quantités importantes de dioxyde de carbone (CO_2). Tout d'abord par l'énergie nécessaire à la cuisson indispensable à la fabrication des matériaux, ensuite, parce que, dans le processus de fabrication, la décarbonatation de calcaire est fatalement source de CO_2 , cette part étant incompressible les fabricants de ciments, contraints par la nécessité (coût de l'énergie, quotas de CO_2) mais aussi par une

conscience environnemental, ont entamés une politique de diminution importante des émissions par tonne de ciment notamment on optimisant les processus(récupération de chaleur). Les cimenteries brûlent également des déchets dans leur fours (pneus déchiquetés, huiles usagées, boues de station d'épuration). Enfin, les cimentiers incluent de plus en plus dans les ciments des additions qui peuvent remplacer une partie de clinker.

2.5 Les granulats (sable, gravillons)

Constituent le squelette du béton. Ils doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Les formations géologiques à partir desquelles il est possible de produire des granulats à béton peuvent être d'origine détritique (essentiellement alluvionnaire), sédimentaire, métamorphique ou éruptive. Selon leur origine, on distingue les granulats roulés, extrait de ballastières (ou sablières) naturelles ou dragués en rivière ou en mer et concassés, obtenus à partir de roches exploitées en carrière.

On utilise en général, pour les ouvrages courants, des granulats constitués uniquement par du sable et des gravillons. On emploie également des granulats légers qui sont le plus souvent artificiels et fabriqués à partir de matière minérales, comme les argiles, les schistes (argiles expansées) et les silicates (vermiculite et perlite). Les premières permettent la fabrication de bétons de structure légers, dont la résistance peut atteindre de 40 à 50 Mpa. Les seconds servent à la fabrication de parois en béton très léger, à fort pouvoir d'isolation thermique. Le poids volumique apparent de ces granulats varie d'environ 0.6 à 8 KN/m³. Malgré leur intérêt technique, leur coût énergétique de fabrication est réduit l'emploi à des applications particulières. Les granulats lourds sont soit des riblons ou de la grenaille de fer, soit des minéraux naturels comme la magnétite, la limonite ou la barytine. Ils sont utilisés dans les bétons destinés à assurer une protection contre les rayonnements atomiques. Leur poids volumique apparent varie de 30 à 50 KN/m³.

Les granulats les plus utilisés		
Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm

Tableau 1 : Les dimensions et les caractéristiques des granulats (site web 1)

2.6 L'eau

De façon générale, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. Il est exclu d'employer de l'eau de mer, qui contient environ 30 g/l de chlorure de sodium, pour la fabrication de bétons armés ou précontraintes.

2.7 Les adjuvants

Ajoutés en faible quantité (moins de 5% de la masse des ciments), les adjuvants sont devenus des ingrédients courants de la fabrication des bétons. Les normes de la série NF EN 934 définissent les différents types d'adjuvants :

2.7.1 Les plastifiants réducteurs d'eau et les superplastifiants :

En défloculant les grains de ciment, ils améliorent de façon spectaculaire le comportement du béton frais et de sa maniabilité. Ils diminuent la quantité d'eau utilisée, c'est la clé pour obtenir des résistances élevées.

- **Augmentation de la consistance** : affaissement ≥ 120 mm par rapport aux 30 \pm 10 mm initiaux ; étalement ≥ 160 mm par rapport aux 350 \pm 20 mm initiaux.
- **Maintien de la consistance** : 30 minutes après l'ajout, la consistance du béton adjuvanté doit être supérieure ou égale à la valeur initiale de la consistance du béton témoin.
- **Résistance à la compression** à 28 jours $\geq 90\%$ du béton témoin.
- **Réduction d'eau** : $\geq 12\%$ par rapport au béton témoin.
- **Résistance à la compression** : à 24 heures $\geq 140\%$ du béton témoin ; à 28 jours $\geq 115\%$ du béton témoin.
- **Maintien de la consistance** : après 60 minutes, \geq à la valeur initiale du béton témoin.
- **Résistance à la compression** : à 28 jours $\geq 90\%$ du béton témoin.
- **Retard de prise** : début de prise \geq début de prise du mortier témoin + 90 minutes ; fin de prise \leq fin de prise du mortier témoin + 360 minutes.
- **Réduction d'eau** : $\geq 12\%$ par rapport au béton témoin.
- **Résistance à la compression** : à 7 jours $\geq 100\%$ du béton témoin ; à 28 jours $\geq 115\%$ du béton témoin.

2.7.2 Les accélérateurs de prise :

Diminution de temps de prise avec une grande résistance à court terme

- **Temps de début de prise** : à 20°C ≥ 30 minutes ; à 5°C $\leq 60\%$ du mortier témoin.
- **Résistance à la compression** : à 28 jours $\geq 80\%$ du béton témoin ; à 90 jours \geq à la résistance à 28 jours.

2.7.3 Les retardateurs de prise :

Ils augmentent les temps de prise et ralentissent le développement des résistances à court terme du béton. Les retardateurs sont utiles lors du transport du béton sur de longues distances lors du bétonnage de pièces très massives.

- **Temps de prise** : début de prise \geq début de prise du mortier témoin + 90 minutes ; fin de prise \leq fin de prise du mortier témoin + 360 minutes.
- **Résistance à la compression** : à 7 jours \geq 80% du béton témoin ; à 28 jours \geq 90% du béton témoin.

2.7.4 Les entraîneurs d'air :

Augmentent la quantité d'air occlus dans le béton, il améliorent la durabilité des bétons situés dans les zones où les hivers sont froids et donc soumis à des cycles de gel-dégel ou aux sels déverglaçage, le réseau de bulles d'air occlus autorise les mouvements d'eau qui ont lieu dans le béton en cas du gel.

- **Teneur en air du béton frais** : \geq 2,5 % en volume au dessus du béton témoin ; teneur en air totale entre 4% et 6%.
- **Caractéristiques de vide d'air dans le béton durci** : facteur d'espacement dans le béton adjuvanté \leq 0,200 mm.
- **Résistance à la compression** : à 28 jours \geq 75% du béton témoin.

2.8 Les additions minérales

La norme européenne EN 206-1 (NF P 18-325) de Février 2002 définit les additions comme des « matériaux minéraux finement divisés utilisés dans le béton afin d'améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières ».

L'action des additions concerne aussi bien l'état frais que l'état durci du béton. En premier lieu, à l'état frais, la présence des additions modifie la structure du squelette granulaire du matériau et les frictions entre les composants de la suspension solide dans la phase liquide. En second lieu, au cours de la prise et du durcissement, les particules des additions interagissent dans le processus d'hydratation du ciment et peuvent modifier la structuration des produits hydratés. En troisième lieu, certaines additions ont la capacité de réagir chimiquement en milieu cimentaire pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant additionnel à celui résultant de l'hydratation du ciment et que les anglo-saxons précisent sous le terme de «supplementary cementitious matériels». De plus, ces différents aspects de l'action des additions peuvent intervenir de manière simultanée, rendant particulièrement difficile l'évaluation de la contribution des additions minérales aux performances des matériaux cimentaires. Toutefois, pour une première analyse de l'action des additions minérales, nous pourrions distinguer trois principaux effets

- un effet granulaire engendré par la capacité d'empilement des particules de l'addition et par l'intensité des frictions entre les particules de l'addition avec les autres grains solides du mélange. Cet effet agit essentiellement sur les propriétés rhéologiques et la compacité des matériaux cimentaires à l'état frais et peut influencer sur le développement et l'intensité des deux autres effets des additions.

- un effet physico-chimique et microstructural engendré par les interactions entre les particules de l'addition et l'évolution du processus d'hydratation du ciment ainsi que par les modifications de la structuration de la matrice cimentaire. Il agit sur l'évolution du processus d'hydratation du ciment et sur les propriétés physiques et microstructurales des matériaux cimentaires.

- un effet chimique engendré par la capacité de certaines additions caractérisées par des propriétés pouzzolaniques et/ou hydrauliques à réagir en milieu cimentaire. Il agit sur le volume et la nature des produits hydratés formés. Cet effet est complémentaire à l'effet physico-chimique et microstructural. Ils peuvent donc être associés dans une notion unique plus large qui est celle de la contribution des additions à l'activité liante du ciment

2.8.1 Les fillers (norme NF p18-501) :

Les fillers calcaires sont des ajouts cimentaires non hydrauliques (inertes), mais qui peuvent se révéler d'une grande efficacité dans l'utilisation pour les bétons de masse. Par effet filler, ils peuvent en effet améliorer la compacité du squelette granulaire dans les bétons, et par leur relative inertie chimique ils peuvent contribuer à diminuer sensiblement la température dans les bétons de masse.

La norme AFNOR (NF P 15-301) permet de substituer jusqu'à 35 % de filler calcaire au ciment portland.

(Aitcin et al, 1998) estiment qu'en plus de son rôle principal, qui est de densifier la matrice de mortier, le filler calcaire aurait une certaine réactivité chimique qui contribuerait à augmenter les résistances en compression par la formation de carboaluminates

(De larrard F. 1988) ont observé que l'ajout de $(CaCO_3)$ au (C_3S) accélère l'hydratation du ciment. (De larrard et al.1987), estiment aussi que les fillers fins comme le calcaire, accélèrent les premières réactions d'hydratation. Ces dernières études confirment l'effet non négligeable des fillers calcaires sur l'hydratation du ciment au jeune âge.

2.8.2 Cendres volantes (norme NF 450-1) :

Elles sont récupérées dans les filtres des centrales thermiques à charbon qui produisent de l'électricité, leur taille varie de la micrométrie à quelques dizaines de micromètres. Selon le type de charbon et de chaudière ont des propriétés pouzzolanique. L'emploi de cendres volantes en quantité limitée, permet d'obtenir des bétons résistant aux ambiances agressives.

2.8.3 Les métakaolins (norme NF p18-513) :

Ils sont obtenus de la Kaolinite, ce qui permet d'obtenir un silicate d'alumine amorphe qui a des propriétés pouzzolaniques élevés.

2.8.4 Les laitiers de haut-fourneau (norme NF.E 15167-1) :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la fabrication de la fonte dans le haut fourneau à partir de minerai de fer (les oxydes FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ en proportions variables), de coke et éventuellement d'un fondant. On le recueille liquide vers 1550°C au-dessus de la fonte (gravitation de la fonte en fusion).

2.8.5 Les fumées de silice (EN 13 263-1 et NF P 18-502) :

Également appelées « fumées de silice » ou « poussières de silice » ou encore « microsilice », les fumées de silice sont un sous-produit de l'électrometallurgie du silicium et de ses alliages.

On charge un four avec du quartz, de la houille et parfois des copeaux de métal. L'ensemble est porté à une très haute température (1500-2000°C) par des arcs électriques. On obtient d'une part le silicium liquide et d'autre part des gaz chargés de poussières dont certains s'oxydent à l'air libre pour donner des fumées de silice.

En tant que sous-produits industriels, leur nature ne fait l'objet d'aucun contrôle lors de sa fabrication. Leurs caractéristiques physico-chimiques peuvent être assez dispersées, non seulement d'une usine à l'autre mais encore à l'intérieur même d'une unité de fabrication : la fumée de silice est un matériau très variable.

2.9 Fibres

Les bétons peuvent également contenir des fibres des différents types :

2.9.1 Fibres métalliques (acier, inox et fonte amorphe) :

D'une longueur de quelques centimètres, elles sont utilisées dans le béton de manière à les microfissures qui peuvent se créer.

2.9.2 Fibres de polypropylène :

Elles ne sont pas assez rigides pour avoir un effet sur le béton durci, en revanche, elles permettent de couvrir des fissures dans le béton frais.

2.9.3 Fibres de verre :

Elles constituent un excellent renfort mécanique pour les bétons, toutes fois, le verre contact de chaux est l'objet d'une réaction pouzzolanique.

2.9.4 Fibres d'alcool polyvinylique (CH₂-CH-OH)_n :

Ces fibres organiques sont utilisées dans les BFUP elles permettent la réalisation d'éléments préfabriqués mince résistant aux chocs liés aux manipulations.

2.9.5 Fibres aramides :

De nature (polyamide aromatique constituent une alternative aux fibres métalliques car elles ont un module d'élasticité très élevé et une bonne résistance à la traction, elles sont constituées d'une dizaine de micron de diamètre assemblés en fils. Il convient de vérifier la durabilité de ces fibres dans un milieu alcalin.

3 Travaux antérieurs

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) sont apparus il y a environ une vingtaine d'années. De résistance caractéristique à 28 jours supérieure à 70 MPa, ils présentent un squelette granulaire conventionnel noyé dans une matrice de compacité accrue grâce à l'utilisation de superplastifiants (réducteurs d'eau) et des produits ultrafins amorphes ou cristallisés jouant à la fois un rôle de complément granulaire et pouzzolanique. En plus de la fumée de silice jusqu'alors reconnue comme jouant le mieux ce rôle, d'autres ultrafins (laitier, méta kaolin, cendres volantes ...) peuvent être utilisés (MALIER, 1992).

Avant 1980, les (BHP) Bétons à Hautes Performances ou BHR (Bétons à Hautes Résistances) étaient uniquement produits en laboratoire. Cette situation a beaucoup évolué vers les années quatre-vingt, avec l'arrivée des superplastifiants et des fumées de silice. En effet, vers 1970, les restrictions environnementales ont contraint les industries de Ferrosilicium à collecter la poussière de leurs cheminées. Comme conséquence, ces fumées se sont retrouvées dans l'industrie du béton (MALIER, 1992).

De nos jours, la production de bétons de résistance caractéristique à 28 jours supérieure à 100 MPa est très fréquente dans bon nombre de laboratoires dans le monde et, leur utilisation sur les chantiers commence à se développer (MALIER, 1992).

L'emploi des BHP permet d'envisager la réalisation d'ouvrages ou d'éléments en béton de sections réduites ou de plus grandes portées et donc des gains en poids et en matières intéressants. Elle permet aussi d'envisager dans certains cas, le remplacement d'autres matériaux tels que le bitume, l'acier ou le bois par le béton et d'ouvrir de nouveaux marchés à ce dernier (constructions multi-étagées en Amérique du Nord, viaducs sophistiqués en France, revêtements routiers aux États-Unis) (Aïtcin.P-C, 2001).

D'autres aspects non liés à la résistance et la durabilité (propriétés très connues des BHP) ont été soulignés par Aïtcin pour l'utilisation bénéfique de BHP dans le futur. En effet, les BHP offrent des propriétés recherchées, avec peu de matériaux. Ils sont donc plus économiques en matériaux naturels que les bétons classiques. Cependant l'utilisation des ultrafines dans la fabrication des BHP est devenue alternative indispensable pour l'amélioration de la microstructure et de la résistance mécanique, ainsi que la durabilité de ces bétons (Aïtcin.P-C, 1983).

Ces particules ultrafines, généralement des fumées de silice condensées sont des sphères de petites dimensions (granularité entre 0.02 et 1µm, diamètre moyen d'environ 0.4µm)

comparées à celles des grains de ciment (granularité entre 1 et 80µm, diamètre moyen d'environ 15µm) (Aitcin.P-C, 1983).

Le remplacement d'une partie de ciment par la fumée de silice permet d'augmenter la compacité, et particulièrement dans la zone de transition entre la pâte durcie et les granulats parce qu'elle comble les vides d'empilements entre les composants granulométriques plus grossiers du mélange (Aitcin.P-C, 1983).

L'incorporation des fumées de silice permet d'une part, de réduire fortement la porosité initiale de la pâte de ciment du béton ; qui est un effet de remplissage, et d'autre part elles ont un effet pouzzolanique qui est dû à leur réaction avec Ca(OH)_2 (Aitcin.P-C, 1983).

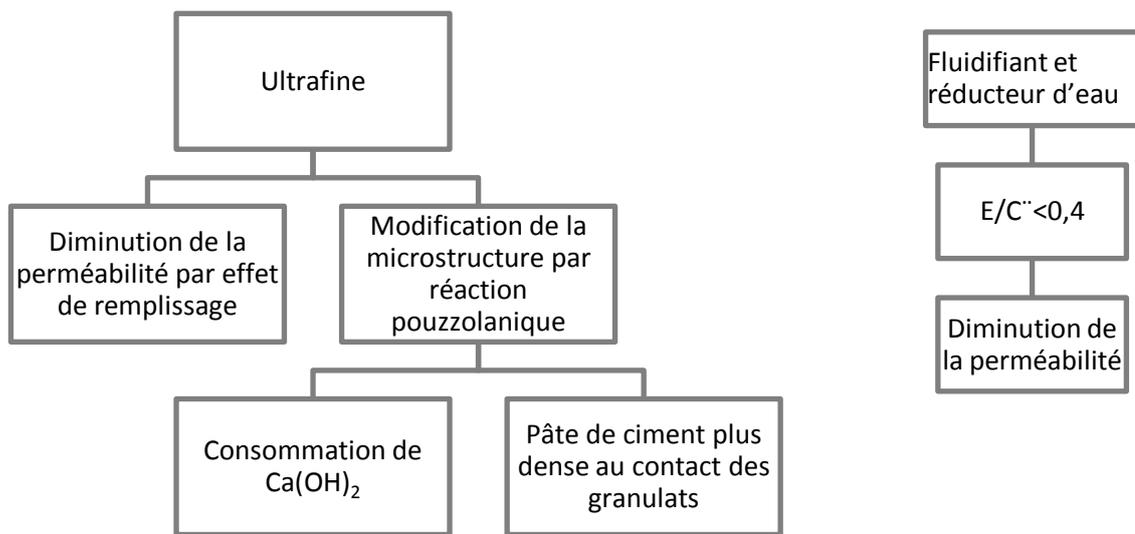


Figure 1. 2Caractéristiques microstructurales du BHP par rapport au béton ordinaire

Les ultrafines, et particulièrement les fumées de silice, représentent un constituant majeur et indispensable dans les bétons à haute performance, et par conséquent ces matières fines, sont très coûteuses dans le marché de Génie Civil.

Les ajouts minéraux inertes et actifs représentent une bonne alternative pour jouer ce rôle. Cette tendance a été confirmée par plusieurs auteurs dans d'autres pays; P.C AITCIN a conclu que l'utilisation des ajouts minéraux dans la fabrication des bétons à haute résistance est une alternative préférable, car l'introduction d'une certaine quantité d'ajout minéral (laitier, cendre volante, calcaire ,pouzzolane ...), qui est toujours moins réactif à très courts terme, facilite le maintien des propriétés rhéologiques du béton frais, et la perte des résistances que l'on observe à court terme, est largement compensée par les gains de

maniabilité que l'on note à très courts terme.

En poussant au maximum le broyage (7500-10000 cm²/g), ces ajouts peuvent être extra ultrafines, et jouent un rôle très proche de celui des fumées de silice non disponibles dans notre pays.

En Algérie, la technologie des BHP demeure encore à l'état embryonnaire et l'utilisation de ce matériau n'a pas encore dépassé le 7% (Benamara D. et col., avril, 2010). Cependant les horizons et les perspectives de l'évolution de ce matériau sont encourageantes.

On peut encore citer les travaux antérieurs sur les points suivants :

- Au début des années 60 de siècle précédent dans la région de Chicago, les bétons à haute résistance ont, quelque sorte, vu le jour et ont commencé à être utilisés en quantité non négligeable dans plusieurs structures majeurs (Freedman, 1971).
- Vers la fin des années 1970, les seules bétons à hautes résistances à air entrainé qui ont été développés étaient ceux utilisés dans la zone de marnage des plates-formes pétrolières (Ronneberg et Sandvik, 1990).
- Vers la fin des années 1980, plusieurs pays ont lancé des projets de recherche spécifique sur le BHP. Parmi ceux-ci on retrouve les Etats-Unis (Hoff, 1993), la Norvège (Holland, 1993), le Canada (Aïtcin et Baalbak, 1996), la France (de Larrard et coll., 1987 ; Malier, 1990,1991,1992 ; de Larrard, 1993), la Suisse (Alou et coll.,1988), l'Australie (Burnett, 1989 ; Potter et Guirguis, 1993), l'Allemagne (König, 1993), le Japon (Aoyama et coll., 1990), la Corée (Sung-Woo Shin, 1990), la Chine (Zhu Jinquan,1993) et Taiwan (Chern et coll., 1995).
- Colombe et Quellet en 1994 disons que le béton à haute performance, qui sont simplement des bétons de faible rapport E/C ou E/L, sont aussi béton économique du point de vue de cout initial, car il est possible de construire une structure équivalente avec moins de coffrage, moins de béton à mettre en place et moins d'armatures. (Colombs.L, et al., 1994)
- Les méthodes de coulis sont basés sur deux outils semi-empiriques. La résistance à la compression des bétons est prédite par une formule qui est en fait une extension de la formule originale de Feret en 1892 dans le quelle on utilise un certain nombre de

$$\text{paramètres : } F C = \frac{K g \times R c}{1 + \frac{3.1 \times E / C}{1.4 - 0.4 \left(\frac{11 S}{C} \right)}}$$

Fc : résistance à la compression du béton mesuré sur cylindre à 28 jours

E, C, S : la masse d'eau, de ciment, de fumée de silice par unité de volume de béton frais

Kg : paramètre qui dépend du type du granulat

Rc : résistance du ciment utilisé à 28 jours

- Guettala et col. en 2007 ont dit que les résistances en compression augmente est lors de substitution de sable de dune finement broyé traduisait aussi l'amélioration de la compacité de la pâte du ciment par double effets fillers et pouzzolanes. (Gettala.S, et al., 2007)
- Dahli Mohammed sous la thèse de magister en physique et mécanique des matériaux à l'université de Boumerdes a dit que la perméabilité est directement lié au caractéristiques des réseaux poreux (forme, dimension, distribution, ...), la perméabilité des matériaux cimentaires varie avec la progression de l'hydratation d'un point de vue chimique, elle est relative à l'échelle moléculaire sous l'effet de gradient de concentration, elle ne dépend pas de leur taille des pores mais de leur inter connexion.
- Rezig Djebaili en juin 2012 a dit que les BHP sont des bétons durables dont la diminution de la porosité rendue possible par le choix d'un spectre d'un mélange granulaire par l'ajout d'élément ultrafine éventuellement par l'ajout de superplastifiant qui diminuent la teneur en eau nécessaire pour l'obtention d'une maniabilité suffisante. Ces bétons présentent une faible perméabilité et une bonne protection mécanique et chimique.
- Dans une réunion d'ingénieurs « matériaux de construction » 3 ème éditions, ils ont dit que l'attaque chimique du béton consiste en une altération des hydrates de ciment sous l'effet de certains agents chimiques. On peut combattre cette action on utilise des liants appropriés et des produits spéciaux ou encore on adoptant pour le béton une compacité très élevée qui empêche le cheminement des agents agressifs.
- Petrov.N en Avril 2003 a dit que l'eau de gâchage est un ingrédient de béton, il joue deux fonctions principales : confère au béton maniable à l'état frais et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau ou plus précise le rapport E/C a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure, la cinétique d'hydratation. (Petrov.N, 2003)
- Les superplastifiants ont été utilisés dans le béton vers la fin des années 1960, leur introduction sur le marché débutant presque simultanément au Japon et en Allemagne (Mayer, 1981 ; Hattori, 1979).
- L'utilisation d'un superplastifiant constituant quand même un grand avantage par rapport aux réducteurs d'eau ordinaires quand on comparait les performances de ces superplastifiants à celle de réducteurs d'eau à base de lignosulfonate qui étaient utilisés pour livrer des bétons usuels ayant des affaissement de 75 à 100 mm (Malier,1990 ; Albinger et Moreno, 1991 ; de Larrard et Malier, 1992 ; Jaugey,1990 ; Aïtcin, 1992).
- Vers la fin des années 1960, l'utilisation des superplastifiants dans les bétons avait plutôt pour but de fluidifier les bétons de 20 à 30 MPa que de réduire leur rapport eau/ciment (Ronneberg et Sandvic, 1990).

- Durant les années 1980, on a commencé à augmenter petit à petit les dosages en superplastifiants au-delà des dosages normalement recommandés par les manufacturiers pour fluidiser les bétons usuels (Ronneberg et Sandvik, 1990).
- Dalila Benamara et Bouzidi Mezghiche de l'université de Djelfa et Biskra en Avril 2010 ont dit que la difficulté dans la compositions de BHP est de choisir le couple liant/superplastifiant le plus efficace pour une réduction maximale de l'eau et tout ça est basé sur l'essai du cône de Marsh. (Benamara.D, et al., Avril 2010)
- Au début des années 1970, il était impossible de faire un béton prêt à l'emploi ayant une résistance supérieure à 60 MPa parce que les réducteurs d'eau commerciaux n'étaient pas suffisamment puissants pour diminuer encore plus le rapport eau/liant (Blick et coll., 1974 ; Aïtcin, 1992).
- Au début des années 1980, la fumée de silice a commencé à être utilisée dans les bétons en Amérique de Nord (Aïtcin, 1983 ; Malhotra et coll., 1987) et ailleurs en Europe et dans le monde.
- L'utilisation des fumées de silice, on a pu montrer qu'on pouvait fabriquer des bétons ayant des résistances à la compression comprise entre (Jaugey, 1990) (Jaugey, 1990)100 et 150 MPa (Detwiler, 1991), chose qu'il est impossible de faire en n'utilisant que du ciment portland à l'heure actuelle.
- Esping (2007) a montré que lorsque le fumée de silice est employée comme addition, le retrait endogène devient plus important en jeune age. Par contre la fumée de silice a diminué le temps de la période plastique.
- Au milieu des années 1960, en Amérique du Nord l'industrie du béton prêt à l'emploi commençait tout juste à utiliser des cendres volantes (Albinger et Moreno, 1991 ; Detwiler, 1991).
- de Larrard en 1988 dit que la phase présente la pate liant (ciment, superplastifiant, eau et ajouts) est optimisée par des coulis expérimentaux. (deLarrard.F, Mai 1988)
- A.Komor en 1978 est dit que la durabilité le pouvoir d'un matériau est en service de résister à l'action commune des facteurs atmosphériques et autres. Ceci peut être une variation de température, d'humidité et l'action des différents gaz contenu dans l'air ou des solutions salines qui se trouvent dans l'eau. La durabilité peut être définie comme le maintien de la qualité de l'ouvrage sur une longue durée. (Komor.A, 1978)
- Le béton fait présent une bonne ouvrabilité liée au superplastifiant entrant dans sa composition.la valeur d'affaissement en cône d'Abrams (ϕ 10,20 et 30) supérieur à 15 cm (d'environ 20 cm en sortie de malaxeur) (MALIER, 1992)
- Rezig Djebaili de l'université de Ouargla en juin 2012 adit que la texture et la forme géométrique des granulats distinguent par deux catégories essentielles :

- Granulats roulés : ils sont plus faciles à mettre en place, ne nécessitant pas de moyen de serrage important, glissant bien entre les armatures et convient particulièrement aux bétons armés.
- Granulats concassés : ils ont une mise en place difficile par contre, ils adhèrent bien à la pâte de ciment et procurent au béton une plus grande résistance notamment à la traction.

Dans le laboratoire de recherche de coulis après des essais de référence, ils ont trouvés que les granulats et le ciment chac'un des derniers à un coefficient d'absorption de l'ordre de 1.5 % de masse de chac'un.

4 Conclusion

Dans cette partie de la recherche bibliographique on a présenté l'historique et les principales propriétés des BHP et son utilisation mondiale ainsi que les diverses solutions proposées pour améliorer les caractéristiques de ces matériaux. Donc on peut dire dans ce chapitre que :

- Le rapport E/C des bétons à haute performance est beaucoup plus faible (0,25 à 0,35) que celui des bétons ordinaires (0,50 à 0,70).
- Lorsqu'on désire fabriquer un béton à hautes performances, il est très important de sélectionner avec soin les différents ingrédients que l'on utilisera. Lorsqu'on cherche à optimiser la composition d'un béton à hautes performances en un lieu donné, il s'agit donc de trouver le ciment ayant la plus faible réactivité rhéologique, c'est à dire celui qui fixera le moins d'eau de gâchage dans les instants qui suivent le malaxage, et de l'utiliser avec le fluidifiant qui entrera le moins en compétition avec les cristaux d'ettringite qui se forment dès que le ciment entre en contact avec l'eau. Malheureusement il n'existe aucun moyen théorique qui permette de prédire l'un ou l'autre de ces deux comportements.
- Le gros granulats idéal pour un béton à très haute résistance doit être très résistant à l'écrasement, avoir un module d'élasticité aussi voisin que possible de celui du mortier, de façon à minimiser les déformations différentielles au niveau de l'interface granulats/mortier, qui présente une surface favorisant l'adhérence du mortier et enfin, il ne faut pas diminuer la maniabilité du béton frais.
- On peut aussi atteindre des hautes résistances en compression en substituant une certaine fraction du ciment par des matériaux cimentaires supplémentaires. En plus a intérêt économique, cette option permet un meilleur contrôle des pertes d'affaissement puisque ces matériaux cimentaires sont beaucoup moins réactifs que le ciment portland surtout durant les premières heures qui suivent le malaxage, il sera préférable d'utiliser de la fumée de silice, mais jusqu'à 70 MPa, on peut s'en passer à la rigueur.

- La résistance du béton augmente en général avec : le module d'élasticité, et la concentration des granulats. Par contre elle diminue avec l'augmentation de la taille des agrégats. L'effet de ces propriétés est généralement négligé, par contre la surface caractéristique des agrégats qui ont une grande influence sur la résistance de l'interface pâte – agrégat ainsi que la résistance en compression du béton et plus ou moins sa résistance à la flexion.
- Le futur béton sera plus durable et sera plus développé pour satisfaire les besoins socioéconomiques réels avec le moindre impact possible sur l'environnement. Le coût d'un projet dans l'avenir devra incorporer non seulement les coûts économiques actuels que nous utilisons dans nos calculs actuels, mais aussi les coûts sociaux et environnementaux qui vont de l'extraction de la matière première, à son utilisation et aussi à son élimination à la fin de la durée de vie des structures.

CHAPITRE 2

DOMAINES D'APPLICATION

1. Introduction

Les bétons à hautes performances sont des bétons durables qui donnent une résistance à la compression supérieure à 50 MPa.

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé, il permet de réaliser des prouesses technologiques telles que les barrages, les ponts, les immeubles, les tunnels et les centrales nucléaires. Son intérêt vient de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance à la compression, sa durabilité, son faible coût et d'autres qualités.

2. Réalité des bétons HP

2.1 Les ouvrages d'art

2.1.1 Le pont de Mila



2.1.2 Le métro d'Alger (Mai 2009)

Dans le cadre de la modernisation et du renforcement des moyens de transport urbains à Alger et ses environs et la prise en charge complète des préoccupations des populations dans ce domaine, l'Entreprise du métro d'Alger (EMA) a encore lancé jeudi dernier, un appel d'offres national et international pour la réalisation des études d'exécution et des travaux de génie civil des tunnels et stations, de l'extension de la première ligne du métro de la capitale, de Hai El Badr à Aïn Naâdja.

Les candidats intéressés, peuvent soumissionner seuls ou en groupements, et doivent avoir déjà réalisé des tunnels de métro d'au moins 4 km, pour les chefs de file de groupements, ou de 400 m pour les membres du groupement. Par ailleurs, il faut rappeler qu'en mai 2009, l'EMA a lancé un avis d'appel d'offres pour plus d'un milliard de dinars afin que les prestations d'études de conception et d'ingénierie des extensions concernant quatre lignes reliant El Harrach-Bab Ezzouar, Place des Martyrs-Bab El Oued, Bab El Oued-Chevalley et Aïn Naâdja-Baraki soient réalisées.

2.1.3 Le pont sur l'Elorn (entre Relecq-Kerhuon et Plougastel-Daoulas, France. 1994)

Le pont sur l'Elorn, qui relie Quimper à Brest, comprend une travée centrale de 400 m pour une longueur totale du pont de 800 m. C'est un record mondial pour un pont haubané à nappe centrale.

Les 104 haubans répartis en quatre nappes mesurent de 37 à 240 m et sont ancrés à deux pylônes de 115 m de hauteur réalisés en B 60.



Figure 2. 1 Le pont sur l'Elorn

2.1.4 Le pont de Joigny (Bourgogne, France.1989)

Le pont de Joigny est un pont expérimental en béton de hautes performances, s'intégrant au projet national « Voies nouvelles du matériau béton ».

Pour la première fois en France, les performances du béton HP ont été prises en compte dans le dimensionnement du pont sur la base d'un béton de 60 MPa de résistance à la compression à 28 jours, sans fumées de silice.

L'ouvrage comporte trois travées (34 m, 46 m, 34 m) et est à deux nervures de 2,20 m de hauteur, avec précontrainte longitudinale totalement extérieure.

Cette technique de précontrainte permet d'alléger la structure (nervures à volume diminué aussi grâce à la résistance du béton) et rend possible le remplacement ultérieur de l'ensemble de précontrainte, intéressant pour un ouvrage auquel le matériau apporte une grande longévité.

Les 1060 m³ de béton du tablier ont été coulés en continu, pendant vingt-quatre heures seulement, en plein mois de décembre.

Le béton HP étant de texture très fermée, il en résulte un aspect de surface très lisse, glacé, presque vitrifié. L'esthétique y gagne, la durabilité aussi.



Figure 2. 2 Le pont de Joigny

2.1.5 Le pont de Normandie (Le Havre, France.2007)

Avec sa travée centrale de 856 m (nouveau record pour les ponts à haubans) et ses pylônes de 214 m de hauteur en BHP, le pont de Normandie est un ouvrage d'art exceptionnel.

Du fait de sa particularité, il fait appel, pour sa mise en œuvre, à des bétons spécialement conçus pour chacune de ses parties :

- le béton de hautes performances (BHP 60 MPa), utilisé pour les voussoirs des rampes d'accès, permet le décoffrage rapide, la mise en tension accélérée des câbles de précontrainte et le poussage de la travée au rythme d'une longueur de voussoir tous les deux jours. Ceci grâce à la conjugaison du superplastifiant et d'un fort dosage en ciment.

- le béton de hautes performances est encore mis en œuvre pour réaliser les deux pylônes. Il s'agit du même béton que celui décrit précédemment. En effet, il rend possible le déplacement des coffrages autogrimpants dans des délais minimums pour des températures pouvant descendre à 5° C.



Figure 5. 3 Le pont de Normandie

2.1.6 Le pont de l'île de Ré (Charente-Maritime, France 1988)

Les délais imposés à l'entreprise pour cet ouvrage de près de 3 000 m de long (construit en moins de 16 mois) ont été déterminants dans le choix du béton HP.

Alors que le cahier des charges ne prévoyait qu'un béton B 40 pour les voussoirs, les cadences d'exécution de ces 798 pièces imposaient un démoulage à 15 heures, donc une résistance minimale de 12 MPa. Le béton réalisé qui présentait une résistance à 15 heures de plus de 20 MPa, atteint à 28 jours plus de 60 MPa. L'emploi des fumées de silice en association avec un superplastifiant a également nettement amélioré la maniabilité du béton.

Le tablier de ces ouvrages, de conception originale, comporte quatre âmes inclinées triangulées par des X précontraints.

Ces X sont réalisées séparément avant d'être mis en place dans une cellule où sont coulés les hourdis avec lesquels ils constituent l'ensemble d'un voussoir.

Pour respecter les cadences de production et permettre une mise en tension précoce, un BHP à 65 MPa a été utilisé.

La qualité du béton est également la garantie de la durabilité de ces ouvrages soumis à des conditions hivernales rigoureuses.



Figure 5. 4 Le pont de l'île de Ré

2.1.7 Le deuxième pont « Stichtse » au Pays-Bas

Le deuxième pont 'Stichtse', achevé en 1997, est le premier grand pont construit aux Pays-Bas en béton à haute résistance.

D'une longueur totale de 320 m, ce pont est composé de trois travées. La travée principale mesure 160 m. La hauteur de construction de ce pont varie entre 2,50 m et 6,75 m. Sa superstructure a été réalisée au moyen d'une méthode de construction en saillie libre. Les voussoirs, d'une longueur de 4 à 5 m, ont été coulés en une seule fois, ce qui a nécessité le respect d'exigences très strictes en termes d'ouvrabilité du béton. L'énorme quantité de ciment et la petite quantité d'eau de gâchage pouvaient en outre générer un recul rapide de l'ouvrabilité et des fluctuations de consistance.

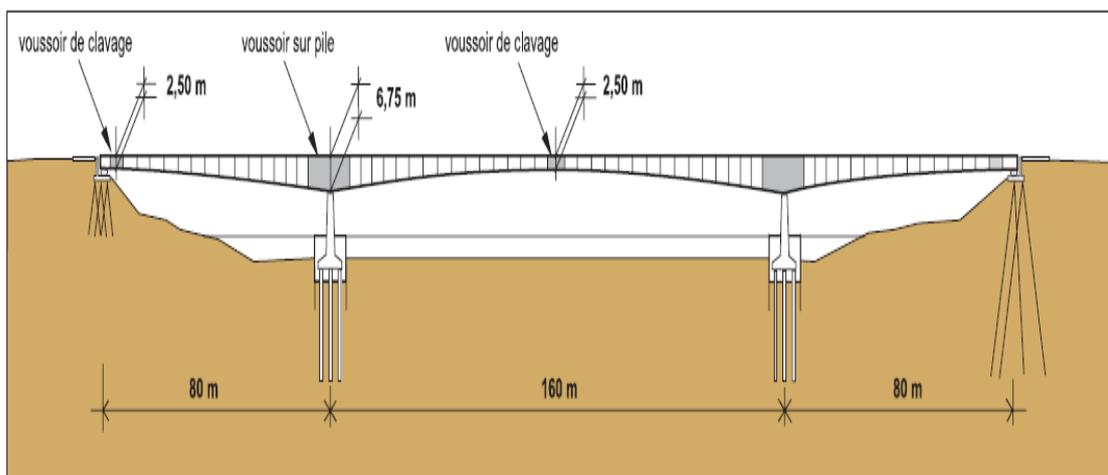


Figure 5. 5 Le deuxième pont ' Stichtse' au Pays-Bas

2.2 Le bâtiment

2.2.1 Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (Mucem, 2010)

Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (Mucem à Marseille) est situé en milieu urbain, d'où un accès au chantier complexe dans un environnement très dense. Il a ouvert ses portes en Juin 2013 pour coïncider avec Marseille capitale de la culture en 2013. Le bâtiment de la parcelle J4 conçu par l'architecte Rudy Ricciotti est une somme de prouesses techniques, qui ont pour point commun l'utilisation du béton fibré à ultra haute performance (BFUHP).

En l'occurrence, c'est le Ductal de Lafarge qui a été mis en œuvre. Le matériau a servi à la préfabrication des poteaux précontraints par post-tension qui supportent l'édifice en périphérie. Il a également été mis en œuvre dans les résilles qui forment un brise-soleil largement ajouré sur trois façades de l'édifice et en toiture. Enfin, ce béton très particulier forme également les potences qui soutiennent ces résilles en toiture, ainsi que la passerelle qui relie le nouveau bâtiment au fort Saint-Jean sur une portée de 77 m libres d'appuis. Tous ces éléments ont été préfabriqués dans l'usine Bonna Sabla de Vendargues (Hérault) à proximité de Montpellier. Des moules verticaux ont été utilisés pour réaliser les résilles et les potences afin d'assurer la meilleure répartition des fibres métalliques et polypropylène dans le béton. « Le polypropylène était obligatoire pour tenir compte de la sécurité incendie. Ce matériau fond et permet ainsi à l'ensemble de se dilater », explique Patrick Mazzacane, directeur activité BFUHP de Bonna Sabla.

Le bâtiment de 25 m de hauteur inscrit dans un carré de 72 m de côté comporte 3700 m² d'espaces d'exposition ainsi qu'un auditorium de 401 places. Démarré en juillet 2010, le chantier aura duré trois ans et représente un budget de 55 millions d'euros HT.

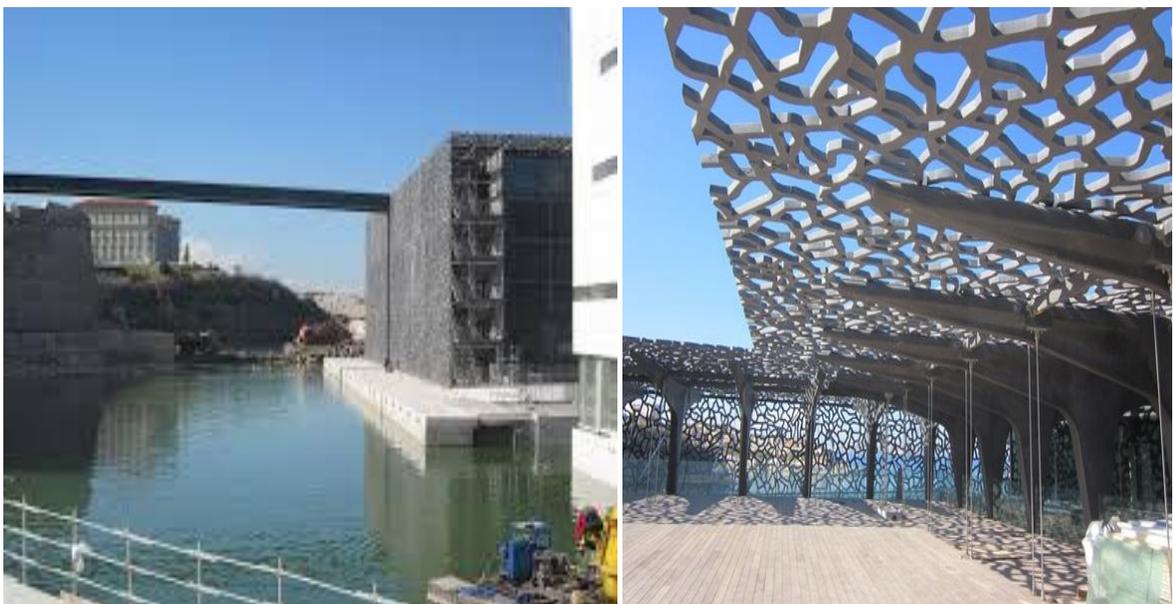


Figure 5. 6 Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (Mucem)

2.2.2 La Grande Arche (Paris, France 1990)

Le béton utilisé pour couler la partie supérieure de la Grande Arche de La Défense présente des résistances supérieures à 65 MPa et un slump de 22 à 25 cm, le béton utilisé a apporté à la fois la résistance exceptionnelle souhaitée et l'ouvrabilité rendue indispensable par un pompage sur une hauteur de plus de 100 m.



Figure 5. 7 La grande Arche

2.2.3 La Pacific Tower (France)

La Pacific Tower à La Défense a été l'occasion d'une nouvelle avancée des BHP dans le domaine du bâtiment.

Pour la première fois en France, la structure verticale d'une tour a été réalisée avec un béton hautes performances de classe B 60, mis en oeuvre industriellement sur le chantier.

Grâce à ce choix technologique, les sections des éléments porteurs ont pu être substantiellement diminuées et permettre à la fois un gain de surface utile, ainsi que des économies d'acier et du temps de décoffrage. Par ailleurs, le choix du BHP a été fait dans le but de réaliser un ouvrage qui résiste mieux aux agressions climatiques et atmosphériques polluées. Un plan qualité imposait une sélection rigoureuse des granulats en une seule trémie, ainsi qu'une vérification régulière, tous les 150 m³, de la résistance fixée à 72 MPa à 28 jours, du BHP prélevé à la sortie de la centrale.



Figure 5. 8 La Pacific Tower

2.2.4 La Grande Mosquée Hassan II (Casablanca, Maroc. 1986)

Ce bâtiment de 175 000 m² édifié à Casablanca, en bordure de l'Océan Atlantique, est en contact direct avec les flots. Le bâtiment Mosquée, de 200 m x 100 m, d'une hauteur de 60 m, couronné par une toiture ouvrante de 2 400 m² (charpente de 800t), est constitué par une nef de prière pouvant recevoir 25 000 fidèles. Le minaret est une tour de 200 m de hauteur.

Les bétons de hautes performances ont fait l'objet d'études spécifiques pour résister (100 MPa) aux contraintes dues aux efforts sismiques, ainsi qu'à celles de la houle et aux effets de corrosion sur les armatures en milieu marin.



Figure 5. 9 La grande mosquée Hassan II

2.2.5 Les tours cœur –Défense (Courbevoie, France 1999)

Ce projet, conçu par le cabinet Jean-Paul Viguier est constitué de deux tours fines décalées, de trente-neuf niveaux, arrondis à leurs extrémités et de trois bâtiments bas qui donnent de l'ampleur à la façade sur l'esplanade. L'ensemble représente 220000m² de bureaux. Le noyau central de chaque tour et les poteaux de 1.10 m de diamètre ont été réalisés en béton HP de type B80.



Figure 5. 10 Les tours cœur-Défence

2.2.6 La tour PB6 (Bearing Point, France.2001)

Cette tour est un immeuble à usage de bureaux de quarante étages soit 147 m de hauteur au-dessus du niveau d'accès situé sur le parvis de la Défense, trois niveaux de parking en sous sol, un niveau technique et deux niveaux d'infrastructures de 3.40 m.

L'emprise en plan de la tour est constituée de deux ellipses de 74.84×31.18 m.

Les efforts sont repris d'une part par un noyau central de 31×14.10 m et d'autre part par seize poteaux de façade et deux poteaux inférieurs.

L'usage d'un béton BHP de type B80 a permis de limiter le diamètre des poteaux les plus chargés à 1.30 m.



Figure 5. 11 La tour PB6

2.3 Les ouvrages maritimes

En site maritime sont spécifique pour plusieurs raisons, leurs spécificités est d'abords liée à la variété des types de structures .En suite, la réalisation de ces ouvrages est soumises à des contraintes de mise en œuvre particulières. Enfin, ces ouvrages sont exposés à un environnement qui cumule souvent les facteurs favorisant la détérioration des bétons et de l'acier qu'il peut contenir. L'agression spécifique celle de l'eau de mer elle est multiplié : chimique de par la composition minérale des milieux, mécanique de fait de ses déplacement en masse et locaux que sont les courants et la houle. De plus les effets climatiques telles les variations locales de la température ambiante, l'ensoleillement et le vent, indépendamment de leur nocivité propre, peuvent inhiber ou catalyser les réactions entre l'eau de mer et les constituants de béton.

2.3.1 Le port de Lorient (France)

Le port de Lorient est localise au nord de la rade de Port Louis et immédiatement a l'est de la ville. Il est constitue des zones distinctes suivantes : l'avant port, le port de commerce, le port de pêche et le port militaire au sud. Installe sur le site de Kergroise, le port de commerce est en 2007 le premier port de commerce de la région Bretagne et le treizième

port de France en termes de tonnage annuel (2 860 000 tonnes de marchandises échangées en 2007). Son activité de transport se concentre principalement autour de deux marchandises : les hydrocarbures et l'agroalimentaire. Devenu compétence de la région depuis Aout 2004, le port est aujourd'hui une concession gérée par la Chambre de Commerce et d'Industrie du Morbihan.

Au vu de l'accroissement de la taille des navires, la région Bretagne, en qualité de maître d'ouvrage, s'est récemment engagée dans un large projet d'extension des quais commerciaux de Kergroise. Il s'agit en effet de permettre l'accès au port à toute marée pour un navire cargo de type panamas en pleine charge, mais aussi d'augmenter la capacité de chargement et de déchargement du port.



Figure 5. 12 Le port de Lorient

2.3.2 Barrage de la caserne du Mont Saint Michel



Figure 5. 13 Barrage de la caserne du Mont Saint Michel

2.4 Autres applications

Les travaux en BHP ne s'arrêtent pas à ces types de projets cités, ils sont utilisés dans plusieurs autres domaines tel que les travaux souterrains (tunnels, ...), les plates forme de forage de pétrole, les passerelles telle que les aéroports... Les architectes ont ajouté une nouvelle technique de conception tel que les façades en BHP qui sont lisses, durables et donnent une bonne esthétique.

Tour Petronas Malisie

Les tours Petronas ont été construites en 1993 par un architecte américain. Elles mesurent 452 mètres de hauteur et se composent de 88 étages chacune. Le nombre n'est pas un hasard étant donné que le chiffre huit représente la chance. Les Chinois sont très superstitieux ! Ces tours sont les plus hautes de la ville de Kuala Lumpur. Elles sont immenses et se révèlent magnifiques de nuit : une fois illuminées, elles offrent un superbe spectacle, coloré d'or et d'argent. Au pied des deux tours se trouve le centre commercial Suria KLCC (Kuala Lumpur City Center). Ce centre regroupe, sur six étages, la plupart des marques occidentales ainsi que de quoi se restaurer. A proximité de là, une piscine publique extérieure est entourée d'un parc verdoyant

Les tours jumelles Petronas de Kuala Lumpur en Malaisie ont été conçues par l'architecte argentin Cesar Pelli et inaugurées en 1998. Avec 452 mètres et 88 étages, ces tours furent les plus hauts immeubles du monde jusqu'à ce que soit inaugurée la tour Taipei 101 en 2004.

Une passerelle d'acier accessible aux visiteurs relie les deux tours à 170 mètres du sol au niveau des 41^e et 42^e étages.

En plus des bureaux du [géant pétrolier malais Petronas](#), cet édifice contient plus d'un million de m² de boutiques et lieux de divertissement, une salle de concert, une mosquée, un centre de conférence multimédia et une salle de bowling.

Les tours étant construites en béton armé, il a fallu trouver une formule de béton qui puisse résister au poids de la tour (environ deux fois plus élevé que si elles avaient été construites en acier), une formule spéciale a donc été développée (à base de [silice](#))

Situées au Centre ville de **Kuala Lumpur** (KLCC), les **tours jumelles de Petronas**, s'élevant à une hauteur de 451,9 mètres, sont une icône à renommée mondiale de la **Malaisie** moderne.

Elles ont été conçues par l'architecte Cesar Pelli et inaugurées en 1998 après 6 ans de travaux.



Chapitre 3

Identification des matériaux utilisés

1 Introduction

La qualité de béton dépend de ces composants. C'est pour cela qu'il est nécessaire de bien les caractériser. La provenance des composants a aussi un grand rôle dans le coût économique du béton et dans sa durable. Aussi, nous favorisons plutôt les matériaux locaux.

Le béton est composé majoritairement de granulats. Ainsi, la quantité de ces derniers joue bien évidemment un rôle dans la qualité du composite et bien les choisir devient par conséquent indispensable.

2 Caractéristiques des granulats

2.1 Propriétés dimensionnelles [EN 933-1 et EN 933-2]

Pour mieux caractériser le béton, il faut d'abord identifier les propriétés des granulats. C'est pour cela qu'ils seront soumis aux essais suivant : analyse granulométrique et calcul des masses volumiques apparente et absolue.

2.1.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été faite selon la norme NA 2607.



Figure 3. 1 Tamiseuse électrique

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés dans les tableaux de l'annexe 1

Modules de finesse des sables utilisés dans cette étude

Sable	Terga	Bouihi	ENG
Module de finesse	1.21	2.06	3.05
Remarque	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier

Tableau 3. 1Module de finesse des différents types de sable

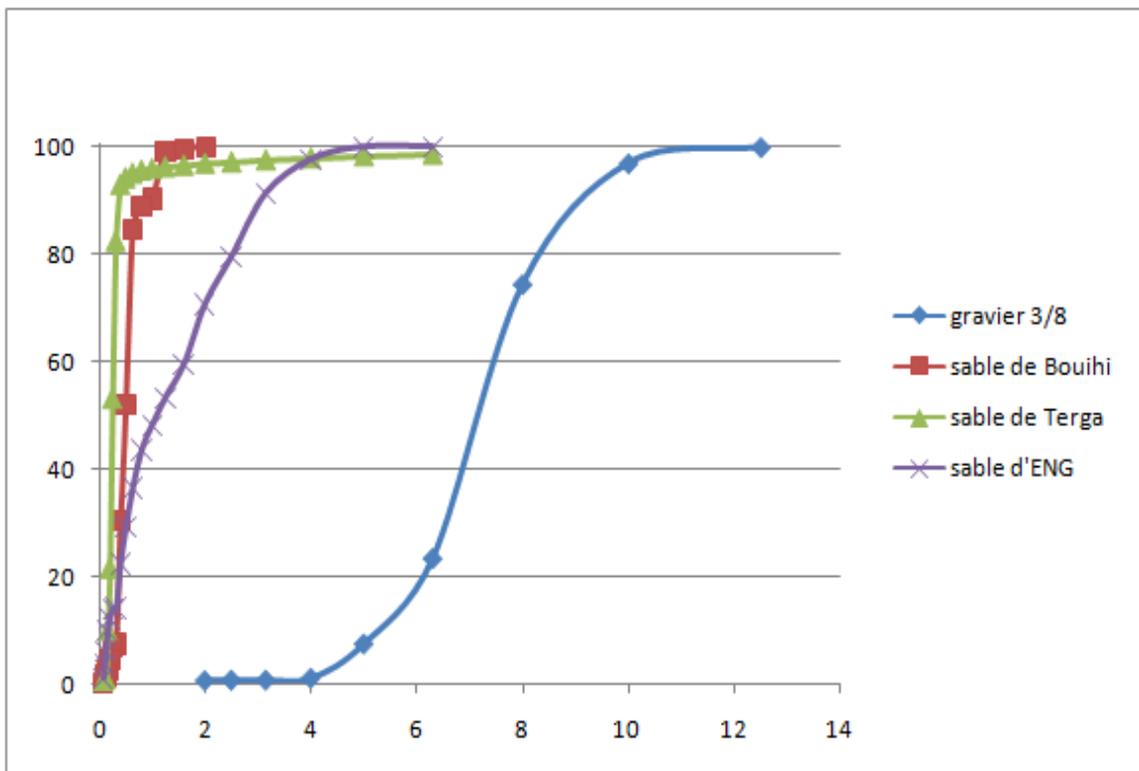


Figure 3. 2 Analyse granulométrique des différents granulats

2.1.2 Masse volumique absolue et apparente

Les masses volumiques absolues et apparentes sont déterminées selon la norme NA 255.

Les valeurs présentées dans les tableaux suivant sont la moyenne de trois essais.

Echantillon	<i>Sable Terga</i>	<i>Sable Bouihi</i>	<i>Sable ENG</i>	<i>Gravier 3/8</i>
$\rho_{app} = M/V_{app} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1347	1283	1596	1330

Tableau 3. 2Masse volumique apparente (terga, bouihi, eng, gravier 3/8)

Echantillon	<i>Sable Terga</i>	<i>Sable ENG</i>	<i>Sable Bouihi</i>	<i>Gravier 3/8</i>
$\rho_{abs} = M/V_{abs} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	2500	2479	2542	2543

Tableau 3. 3 Masse volumique absolue (terga, bouihi, eng, gravier 3/8)

Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (apparente et absolue) qui répondent aux spécifications de la norme NF EN 12620.

2.2 Propreté des granulats

2.2.1 Propreté des graviers

Mesurer l'impureté des graviers nous permet de vérifier si cela ne perturbe pas l'hydratation du ciment ou l'adhérence granulats-pâte, ce qui peut induire l'affaiblissement de la résistance du béton. Cet essai consiste à déterminer comme le précise la norme NA 463, le pourcentage d'éléments fins inférieurs à 0.5 mm.

2.2.2 Equivalent de sable

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins inférieur à 0.5 mm contenues dans le sable (Figure 3.3).

Une procédure normalisée selon la norme NAH 63 permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

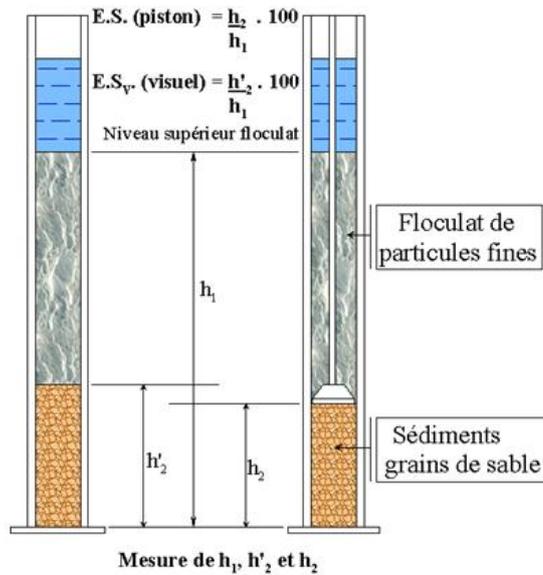


Figure 3. 3 Essai d'équivalent de sable

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants

<i>Echantillon de sable</i>	<i>Sable de terga</i>	<i>Sable de Bouihi</i>	<i>Sable d'ENG</i>
<i>Esv</i>	94	94	85
<i>Esp</i>	93	90	83

Tableau 3. 4 Résultats de l'essai équivalent des sables (Terga, Bouihi, ENG)

2.2.3 Foisonnement de sable

Principe

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau.

Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

Les résultats de l'essai de foisonnement sont récapitulés dans les graphes suivants :

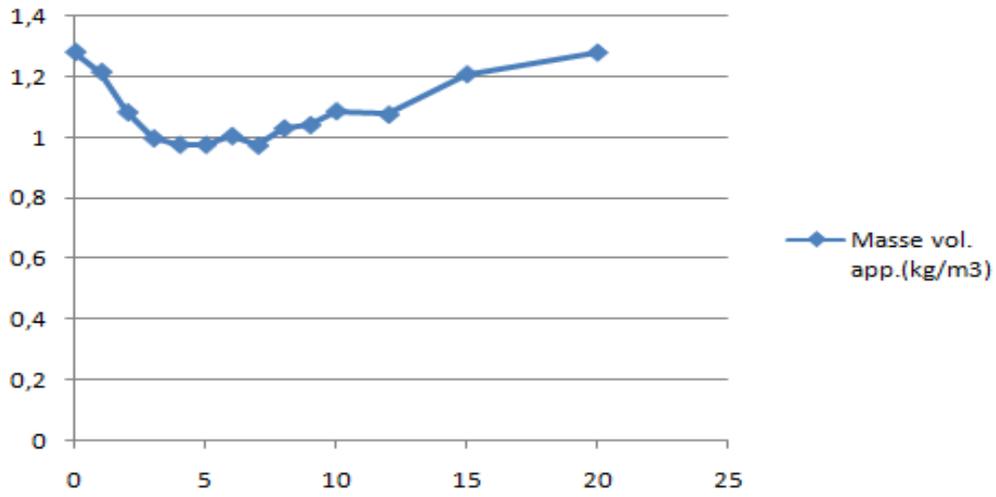


Figure 3. 4 Foisonnement de sable de Bouihi

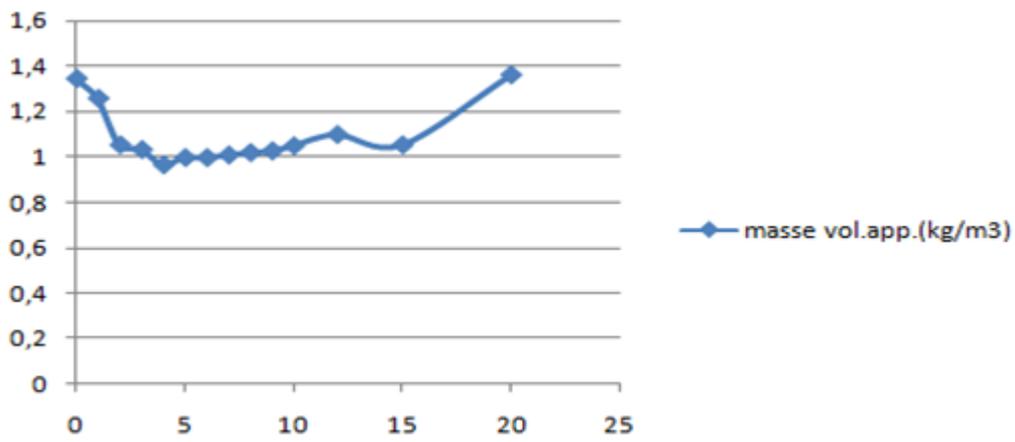


Figure 3. 5Foisonnement de sable de Terga

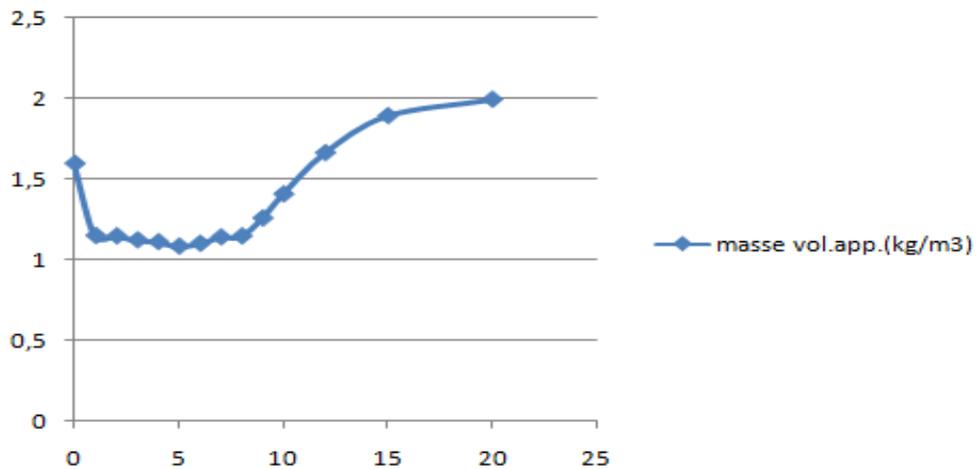


Figure 3. 6 Foisonnement de sable d'ENG

2.3 Propriétés mécaniques

2.3.1 Essai Micro Deval

Cet essai permet de déterminer la résistance à l'usure, par frottement réciproque, des éléments d'un granulat.

Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns avec les autres sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets à sec.



Figure 3. 7 La machine de micro-Deval Figure 3. 8 Les billes de la machine

Les résultats sont consignés dans le tableau 3.5

2.3.2 Essai LOS ANGELES

Cet essai permet de déterminer la résistance à la fragmentation par le coefficient de LOS ANGELES. L'essai consiste à mesurer les éléments inférieurs à 1.6 mm engendrés par la soumission des matériaux au choc des boulets pendant 15 minutes.



Figure 3. 9 La machine de Los Angeles

Les résultats sont résumés dans le tableau 2.3

Désignation	Gravier (3/8)	Sable (terga)
Los Angeles (%)	30.97	-
Micro Deval (%)	10.80	9.64

Tableau 3. 5 Coefficient Micro-Deval et Los Angeles

Les granulats que nous avons utilisé sont acceptables pour la confection de béton :

- pour le coefficient Los Angeles de gravier 3/8 < 35%
- pour le coefficient Micro Deval de sable et de gravier sont < 25%

2.4 Caractérisation du ciment

2.4.1 Présentation

Le type de ciment utilisé dans ce projet provient de la cimenterie de Béni Saf. Il est dénommé : CPJ-CEM II /A 42.5 selon la norme NA 442/2000 est constitué de minimum de 80% de clinker et $15 \pm 5\%$ de pouzzolane naturelle.

2.4.2 Masse volumique apparente et absolue

Conformément à la norme NF P 18-558, la masse volumique apparente a été déterminée en utilisant la méthode du pycnomètre.



Figure 3. 10 Détermination de la masse volumique apparente



Figure 3. 11 Le toluène pour déterminer la masse volumique absolue de ciment

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux 3.16 et 3.17

Echantillon	<i>Ciment Béni Daf</i>	<i>Ciment Béni Saf</i>
$\rho_{app} = M/V_{abs}$ moyenne (kg/m ³)	1012	1013
$\rho_{abs} = M/V_{abs}$ moyenne (kg/m ³)	3084	3003

Tableau 3. 6 Masse volumique apparente et absolue du ciment de Béni Daf et de Béni Saf

Les masses volumiques et apparentes du ciment utilisé sont incluses dans l'intervalle imposé par la norme NA 231, compris entre 900-1100 Kg /m³ pour la masse volumique apparente et 2900-3150 Kg/m³ pour la masse volumique absolue.

2.4.3 Essai cône de Marsh

Différents cône de Marsh sont utilisés depuis longtemps dans plusieurs industries pour apprécier la fluidité de différents types de coulis telle que les boues de forage dans l'industrie de pétrole. Le cône utilisé est un cône de plastique normalisé par l'industrie pétrolière pour mesurer l'écoulement de 1.2 l de boues de forage. Ce cône particulier a été sélectionné parce qu'il est commercialement disponible à un très bas prix et qu'il est bien adapté au besoin des études portant sur la compatibilité entre les ciments et les superplastifiants.

Le temps d'écoulement est lié à la fluidité de la pâte. Plus le temps d'écoulement est long, plus la fluidité diminuée (A. El hilali, 2009).

La préparation de l'échantillon comprend les étapes suivantes :

- Peser l'eau et le superplastifiant dans le contenant ou sera effectués le malaxage
- Démarrer le malaxage tout en introduisant progressivement la quantité de ciment en moins d'une minute et 90 secondes.
- Arrêter le malaxage pendant 15 secondes de façon à nettoyer avec une spatule le ciment qui reste coller sur les bords de contenant
- Malaxer pendant 60 secondes
- Mesurer la température
- Placer le coulis dans une bouteille de plastique qui sera en suite placée entre deux rouleaux de façon à maintenir le coulis homogène et à simuler le transport de béton.
- Mesurer le temps d'écoulement à différents instants jusqu'à 60 ou 90 min (Aitcin.P-C, 2001).

Chaque fois on mesure la température de coulis.



Figure 3. 12 Essai de cône de Marsh

Les résultats de l'essai de cône de Marsh sont résumés dans le tableau

Dosage de sp (%)	Temps d'écoulements de remplissage(min)	Temps d'écoulement (min)	Température (°C)
0.8	5.44	44.45	21.4
1.0	4.22	25.74	21.4
1.2	3.32	15.63	21.4
1.4	1.44	10.93	21.4
1.6	1.32	10.44	21.4
1.8	1.25	10.23	21.4
2.0	1.22	10.25	21.4
2.2	1.24	10.22	21.4

Tableau 3. 7 Les résultats d'écoulement de ciment par pourcentage de superplastifiant

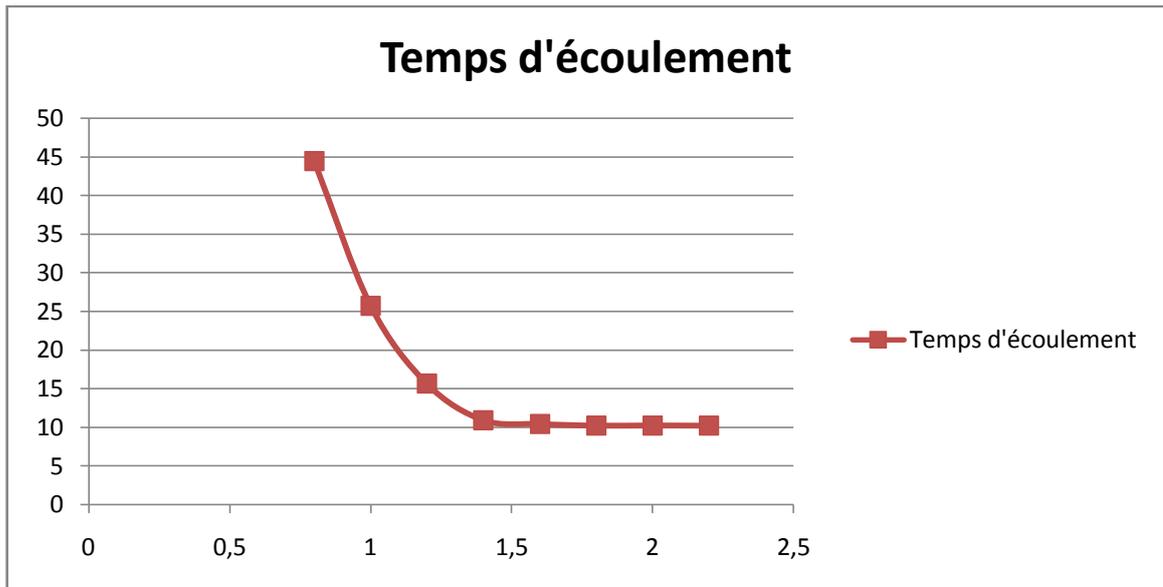


Figure 3. 13 Les graphs d'écoulement de ciment au cône de Marsh

Le dosage de saturation est de 1.4%.

2.4.4 Essai de Vicat (NF EN 196-3)

Actuellement, le test de Vicat représente l'essai standard de suivi de la prise. L'information obtenue à partir de cet essai (temps de début et de fin de prise) est largement suffisante pour juger par exemple du temps pendant lequel le matériau est maniable ... Le matériel utilisé est une aiguille Vicat classique représenté par la figure 3.14.



Figure 3. 14 L'appareil de Vicat

Les résultats de l'essai de Vicat sont récapitulés dans le tableau 3.8

Le rapport E/C (%)	Consistance (mm)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
27.2	6.5	110	127

Tableau 3. 8 Les résultats de l'essai de Vicat

2.4.5 Composition chimique et minéralogique

Les tableaux 3.9 illustrent la composition chimique et minéralogique du ciment.

Composition chimique	Teneur en pourcentage (%)
SiO ₂	20.00
Al ₂ O ₃	1.06
Fe ₂ O ₃	5.04
CaO	65.16
MgO	1.47
SO ₃	3.03
CaO libre	0.80

Tableau 3. 9 Composition chimique du ciment de Béni Saf CEM II/A 42.5 (site web 3)

2.5 Les ajouts

2.5.1 Fumée de silice

Sikacrete – HD haute durabilité (Annexe 3)

Produit contenant de la silice micronique

Conforme aux normes EN 13 263-1 et NF P 18-502 classe A

La fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre 0.1 µm et 1 ou 2 µm, de telle sorte que la dimension moyen des sphères de fumée de silice est 100 fois plus faible que celle d'une particule de ciment moyen. Il faut donc utilisée un microscope électronique à balayage au par transmission des particules de fumée de silice.



Figure 2. 15 Sac de 15 kg de fumée de silice

2.5.1.1 Masse volumique absolue et apparente

Conformément à la norme NF P 18-502, la masse volumique apparente a été déterminée en utilisant la méthode du pycnomètre.

Les résultats récapitulés dans le tableau 2.22 sont le moyen de trois essais.

Echantillon	Fumée de silice
$\rho_{abs} = M/V_{abs}$ moyenne (kg/m ³)	0.649
$\rho_{abs} = M/V_{abs}$ moyenne (kg/m ³)	1.334

Tableau 3. 10 La masse volumique absolue et apparente de fumée de silice

2.5.2 Les adjuvants

Dans le but de réduire la quantité d'eau de gâchage, un adjuvant haut réducteur d'eau appelé "SIKA VISCOCRETE TEMPO 12" a été utilisé (Annexe 2).

2.5.2.1 Présentation

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.



Figure 3. 16 Le superplastifiant SIKAVISCORETE TEMPO 12

2.5.2.2 Caractéristiques générales

Les propriétés de ce produit sont consignées dans le tableau 2.11

Etat	liquide
Couleur	Brun clair
Densité à 20°C	1.06 ± 0.01
PH à 20 °C	4.5 – 6.5
Teneur en Cl	≤ 0.1 %
Teneur en Na ₂ O	≤ 1 %

Tableau 3. 11 Caractéristiques du superplastifiant ” SIKAVISCORETE TEMPO 12”

2.6 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable fournie au laboratoire de génie civil alimentée par la commune de Chetouane (Tlemcen).

Les résultats de l'analyse de cette eau sont présentés dans le tableau 3.12

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃	NO ₃	PH	T (°C)
74.4	49	40	5	95	170	300	42.3	7.5	17.1

Tableau 3. 12 Composition de l'eau de gâchage (ml/l) (Boukli,2010)

L'ensemble de résultats de l'analyse chimique répondent à la norme XP-18 303, qui nous conduit à l'utilisation de celle-ci pour la confection d'un béton.

3 Conclusion

Nous avons fait des essais d'analyse et d'identification des matériaux utilisés dans ce projet suivant les normes en vigueur.

Les résultats obtenus sont conformes à des matériaux pouvant être introduits dans la composition des bétons de haute performance.

Tous les critères de sélection qui ont été présentés dans ce chapitre sont appliqués avec soin.

Après avoir considéré la sélection des matériaux les plus appropriés pour fabriquer un BHP, on présente dans le chapitre suivant les différentes façons de sélectionner les proportions adéquates pour obtenir les propriétés désirées.

CHAPITRE 4

Fabrication du Béton Haute Performance

1 Introduction

La fabrication du béton haute performance (BHP) nécessite un mélange judicieux de ses différents composants (ciment, sable, gravier, eau, adjuvants et autres additions).

D'après le livre d'Aitcin 2001 « Béton à Haute performance » Pour atteindre une résistance importante du béton durci tout en ayant pour le béton frais une certaine ouvrabilité, il faut d'une part réduire le rapport E/C et d'autre part utiliser des adjuvants comme des superplastifiants pour obtenir la maniabilité recherchée.

Dans notre projet nous avons essayé d'atteindre la plus grande résistance en fonction des matériaux locaux utilisés pour une certaine maniabilité.

Les étapes de composition et fabrication de ce béton ont été comme suit :

Etape 1 : Recherche d'un dosage optimum en eau pour un mortier composé de sable de Terga + ciment + eau.

Etape 2 : Recherche d'un dosage optimum en fumée de silice pour un dosage en eau fixe de E/L avec L : quantité du liant (ciment + fumée de silice).

Etape 3 : Réduction de la quantité d'eau en fonction de dosage en superplastifiant pour le même mortier (sable terga + eau + adjuvant + ciment).

Etape 4 : Utilisation du sable de terga pour d'autre dosage en fumée de silice et en superplastifiant.

Etape 5 : Introduction d'un autre sable (sable de Bouihi) pour la continuation des essais suivant les mêmes procédures que l'étape 4.

Etape 6 : Introduction d'un nouveau type de sable (sable concassé de l'ENG) avec un dosage approprié en adjuvant et en fumée de silice. Ce mélange a donné de loin le meilleur résultat.

Etape 7 : Introduction de gravier 3/8 avec les mêmes composants que ceux de l'étape 6.

Etape 8 : passage à un autre type de malaxage pour d'autres dimensions des éprouvettes en gardant les mêmes composants que ceux de l'étape 7.

Il est à noter que pour les étapes de 1 à 7, les échantillons utilisés sont des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Pour l'étape 8, nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$

Le choix de ces étapes a été dicté par les matériaux mis à notre disposition au fur et à mesure de notre avancement dans le projet.

2 Composition de mortier normal

La composition du mélange sable + ciment + eau a été inspiré pour le démarrage de cette étude des proportions des constituants d'un mortier normal à savoir :

- 1350 g de sable (étuvé à 105°C)
- $1/3$ de la masse de sable équivalent à la masse de ciment (450g)
- $1/2$ de la masse de ciment équivalent à la masse de l'eau (225g)

Le malaxage a été mené dans un malaxeur normalisé spécifique au mortier normal (Figure 4.1). Le procédé de mise en œuvre est conforme à la norme EN 196-1 relative à :

- Mettre dans le bol du malaxeur la quantité d'eau pesée et $1/3$ de dose de superplastifiant.
- Malaxer à petite vitesse (position 1)) pendant 15 secondes.
- Verser le ciment et déclencher le chronomètre (t_0), malaxer à petite vitesse pendant 30 secondes.
- Verser le sable pendant les 30 secondes suivantes en laissant le malaxeur tourner à petite vitesse.
- Malaxer à grande vitesse (position 2) pendant 30 secondes.
- Arrêter le malaxage pendant 30 secondes et racler le bol avec une spatule en caoutchouc pendant les 15 première secondes de l'arrêt.
- Introduire les $2/3$ restants de l'adjuvant.
- Reprendre le malaxage à petite vitesse pendant 15 secondes, puis à grande vitesse pendant 1 minute et 45 secondes.



Figure 4. 1 L'appareil de malaxage

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques normalisées $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ (Figure 4.2).



Figure 4. 2 Le moule de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$

Le mode de serrage et de mise en œuvre

Appareil à chocs

Après chaque essai d'affaissement dans un moule de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$, nous avons vibré notre mortier avec l'appareil à chocs (Figure 4.3) en deux étapes identiques de remplissage et soumises à une série de 60 chocs à chaque fois, après quoi le moule est arasé.

Après 24 heures on démoule ces éprouvettes et on les pose dans un bassin rempli de l'eau dans une température ambiante d'environ 20°C.



Figure 4. 3 La table à secousses

La table vibrante

C'est une petite table de 80x80 cm (figure 4.4). Nous avons vibré notre mortier en deux étapes identiques de remplissage pendant le temps nécessaire un bon compactage, après quoi le moule est arasé.

Après 24 heures de la vibration on démoule les éprouvettes comme d'habitude et on les pose dans un bassin de 20°C en moyenne.



Figure 4. 4 La table vibrante

La cure du béton

Neville en 1995 a dit que les bétons usuels doivent être mûris à l'eau, personne n'en doute, mais cela ne veut pas dire qu'ils sont toujours bien mûris, et même s'ils le sont. Il faut mûrir les bétons usuels à l'eau pour une hydratation la plus élevée et une perméabilité la plus faible. Un béton qui n'est pas mûri sèche plus ou moins vite selon son rapport E/C et il n'atteint jamais sa résistance et sa durabilité potentielles. Un mûrissement initial est

toujours plus bénéfique qu'un mûrissement tardif, mais un mûrissement tardif vaut évidemment mieux que pas de mûrissement du tout (Figure 4.5).



Figure 4. 5 Le mûrissement des éprouvettes

Essai de compression (NFP 18-406)

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton. L'éprouvette est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

La machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriée à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des normes NF P 18-411 et NF P 18-412.



Figure 4. 6 Machine d'essai de compression

Conformément à la norme NF P 18-416, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne pourra pas assurer une planéité des surfaces de contact et leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette.

Pour l'étape 1 : 6 essais ont été nécessaires dans un premier temps pour comprendre le comportement du béton de sable (sable de terga + eau + ciment) vis-à-vis du dosage en eau.

Lors de la mise en œuvre de ces éprouvettes, nous avons remarqué que le serrage à l'appareil à chocs ne semblait pas efficace pour une bonne compacité.

A cet effet, nous avons fait varier la teneur en eau de $E/C = 0,5$ à $E/C = 0,75$ par pas de 0,05.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat. L'intervalle considéré dans notre étude varie de 14 mm pour la plus grande plasticité à 26 mm pour la plus petite plasticité.

Pour cette étape nous n'avons utilisé ni adjuvant ni fines.

Les résultats obtenus pour cette première phase ont révélé un optimum de $E/C = 0,75$.

Essai	E/C	p (mm)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr7 (MPa)	tr28 (MPa)
01	0.5	5	4.63	5.8	0.06	0.31
02	0.55	1	6.13	6.25	0.19	0.82
03	0.6	9	8.19	8.13	0.31	0.38
04	0.65	12	9.34	10.72	0.38	1.32
05	0.7	10	17.53	20.3	0.44	1.32
06	0.75	23	21.44	29.1	0.5	1.56

Tableau 4. 1 Les résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de E/C

avec p : la pénétration de sonde de Vicat

Pour l'étape 2 : 4 essais ont été nécessaires pour connaître l'effet de dosage en fumée de silice sur la variation de la résistance.

Lors de la mise en œuvre de ces éprouvettes, nous avons remarqué que le serrage à l'appareil à chocs ne semblait pas efficace pour une bonne compacité.

A cet effet, nous avons essayé de minimiser le rapport E/L pour cela nous avons fixé le rapport E/C à 0,7 suite aux résultats précédemment donnés puis nous avons fait varier le dosage en fumée de silice $F_c = 5\%$, 10% , 15% et 20% .

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat. L'intervalle considéré dans notre étude varie de 14 mm à 26 mm.

Les résultats obtenus pour cette phase ont été récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	Fc (%)	p (mm)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr7 (MPa)	tr28 (MPa)
01	5	22	11.63	11.86	0.75	2.19
02	10	23	20.13	21.38	1	1.75
03	15	30	22.16	23.94	0.88	1.56
04	20	37	18.75	21.13	1	1.63

Tableau 4. 2 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de fumée de silice

Pour l'étape 3 : 09 essais ont été nécessaires pour voir l'effet de variation de dosage en superplastifiant.

A cet effet, nous avons fait varier le dosage en superplastifiant par rapport au ciment, en plus on a varié aussi le rapport E/C.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	E/C (g)	Sp (%)	p (mm)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr 7 (MPa)	tr 28 (MPa)
01	0.60	1.4	2	8.91	11.56	0.5	0.56
02	0.60	1.6	3	13.97	15.69	0.75	0.75
03	0.65	1.4	3	17.5	21.48	1	1.31
04	0.65	1.6	18	21.34	23.29	1.06	1.38
05	0.60	1.8	7	11.5	18.47	0.82	1.44
06	0.60	1.6	4	13.44	17.5	1.19	1.31
07	0.55	1.6	14	8.88	20.03	1.5	1.56
08	0.55	2.2	3	9.06	19.08	1.44	3.19
09	0.55	2.4	3	8.97	16.75	1.31	2.31

Tableau 4. 3 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours sous la variation de dosage en superplastifiant

Pour l'étape 4 : 11 essais ont été nécessaires pour savoir l'effet de dosage en fumée de silice et en dosage en superplastifiant sur la variation de la résistance.

A cet effet, nous avons varié au premier lieu le dosage en fumée de silice et en fixant le dosage en superplastifiant, et en deuxième lieu en variant le superplastifiant.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat.

Lors de la mise en œuvre de ces éprouvettes, nous avons changé le serrage pour passer de l'appareil à chocs à la table vibrante pour avoir une bonne compacité.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	E /L	Fc (%)	Sp (%)	p (mm)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr7 (MPa)	tr28 (MPa)
01	0.55	5	1.6	1	13.86	26.45	1.25	2.13
02	0.55	7,5	1.6	6	24.5	35.05	1.5	1.69
03	0.55	10	1.6	5	18.28	25.15	1.18	1.62

04	0.55	5	1.8	5	15.86	29	2.06	1.69
05	0.55	7.5	1.8	6	15.63	33.5	1.68	2.38
06	0.55	10	1.8	6	14.31	28.6	1.56	2.44

07	0.50	5	1.8	2	22.09	26.95	1.81	1.81
08	0.50	7.5	1.8	1	17.25	27.35	1.62	2.56
09	0.50	10	1.8	1	18.59	34	1.68	2.25

10	0.50	5	1.6	2	24.28	32.15	1.5	2.5
11	0.50	7.5	1.6	3	20	34.6	1.75	2.13

Tableau 4. 4 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours

$$\text{liant (L)} = \text{Fc} + \text{C}$$

$$\text{Fc (\%)} = \text{Fc/L}$$

Pour l'étape 5 : On a changé le type de sable pour deux raisons :

- Le sable de tergua n'a plus été disponible car prohibé à la vente.
- Pour avoir une idée sur l'effet de changement de sable sur la résistance et la maniabilité.

Le sable de Bouihi est un sable fin de granulat roulé prélevé de carrière de Bouihi (Tlemcen)) tamisé à 2mm et étuvé à 105°C.

Nous avons aussi changé le type de ciment de Béni Daf au ciment de Béni Saf, toujours pour la raison de disponibilité.

9 essais ont été nécessaires pour mesurer en terme de résistance, l'effet d'une part du changement de sable et de ciment et d'une autre part l'effet du dosage en fumée de silice et du dosage en superplastifiant.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat.

Nous avons utilisé un serrage à la table vibrante.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	E /L	Fc (%)	Sp (%)	p (mm)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr7 (MPa)	tr28 (MPa)	Masse (g)
01	0.5	5	2	1	21.3	28	2.12	1.69	559
02	0.5	7.5	2	3	23.7	38.45	1	2.56	570
03	0.5	10	2	1	21.45	26.3	1.56	2.44	561.8

04	0.5	5	2.2	3	20.05	29.35	1.81	1.56	553.5
05	0.5	7.5	2.2	3	19	24.2	1.62	2.13	553
06	0.5	10	2.2	1	21.35	29.6	1.81	1.69	572

07	0.5	5	2.4	3	24.2	30.25	1.75	2	566.8
08	0.5	7.5	2.4	3	26.85	28.4	1.75	2.87	539.4
09	0.5	10	2.4	3	24.2	22.8	1.81	2	527.2

Tableau 4. 5 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours

Nous avons réduit le rapport E/L jusqu'à 50%, mais à quelque part nous avons tombé dans un problème de mauvaise maniabilité, à ce cause là nous avons augmenté le dosage en superplastifiant.

Pour l'étape 6 : tout d'abord on a changé le type de sable roulé pour un sable concassé prélevé de la carrière de Sidi-Abdelli (ENG) (Tlemcen) . Le sable de bouihi avait donné de très mauvais résultats de la résistance de béton de sable.

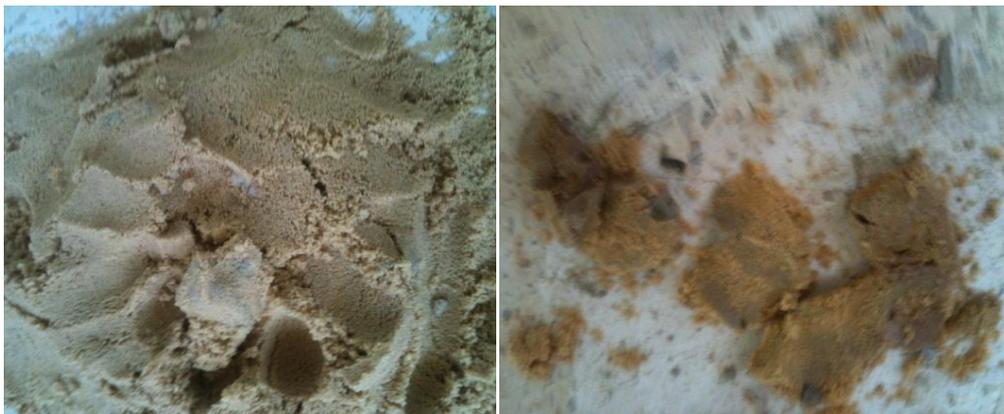


Figure 4. 7 Les fines d'argile en sable de Bouihi

Nous avons fait un tamisage à sec de 2mm, en plus un tamisage humide de 0.08 mm, c'est-à-dire nous avons lavé notre sable pour éliminer les fines qui ont des dimensions inférieure à 0.08 mm pour améliorer la résistance, en fin, nous avons étuvé ce sable à 105°C.

13 essais ont été nécessaires pour savoir l'effet de changement de type de sable (roulé et concassé) et l'effet de dosage en fumée de silice et en dosage en superplastifiant sur la variation de la résistance.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	C (g)	E /L	Fc (%)	Sp (%)	p (mm)	fc7 (MPa)	tr7 (MPa)	fc28 (MPa)	tr28 (MPa)	Masse (g)
01	405	0.65	10	2	40	19.3	2.25	28.1	3.50	559.2
02	405	0.60	10	2	40	19.7	1.43	26.0	3.70	551.2
03	405	0.50	10	2	37	26.5	1.81	40.1	5.90	585.8
04	450	0.45	10	2	37	47.25	2.31	61.3	3.94	596.8
05	450	0.40	10	2	36	47.05	2.43	69.6	3.38	610.4
06	450	0.35	10	2	35	60.1	2.81	75.3	3.69	622.6

07	450	0.35	10	1.4	5	45.7	2.12	70.2	3.63	594.4
08	450	0.35	10	1.6	00	51.3	2.75	64.4	4.87	605.2
09	450	0.35	10	1.8	9	45.3	2.5	57.7	3.75	601.8
10	450	0.30	10	2.2	2	46.15	2.81	68.3	3.94	604.4

11	462.5	0.35	7.5	1.6	15	56.65	3.25	67.9	3.81	628.0
12	462.5	0.35	7.5	1.8	4	49.35	3.06	60.0	4.06	611.8
13	462.5	0.35	7.5	2	1	54	2.38	83.5	3.81	614.6

Tableau 4. 6 Résultats de l'essai de traction par flexion et de compression de 7 et 28 jours

3 Composition de béton

Pour l'étape7 : Dans cette étape nous avons introduit un nouveau matériau de construction (gravier 3/8) pour compléter les constituants du béton.

6 essais ont été réalisés par ce nouveau matériau malaxé avec le sable de l'ENG + ciment + fumée de silice + superplastifiant + eau.

Pour chaque composition nous avons mesuré l’ouvrabilité de l’échantillon en termes de pénétration de la sonde de Vicat.

Nous avons utilisé un serrage à la table vibrante.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	E/L	Fc (%)	Sable d’ENG(g)	Gravier (3/8)(g)	Sp (%)	fc7 (MPa)	tr7 (MPa)	fc21 (MPa)	tr21 (MPa)	Masse (g)
01	0.35	10	700	600	2	56.9	2.38	70.6	3.75	632.6
02	0.35	10	600	700	2	52.7	2.25	74.0	3.06	632.0
03	0.35	10	700	650	2	51.25	2	67.8	3.19	632.6
04	0.35	10	650	700	2	71.05	2.69	74.1	2.88	630.8
05	0.3	10	650	700	1.8	63	2.63	84.05	2.63	624.4

Tableau 4. 7 Les résultats de traction par flexion et de compression des éprouvettes de béton de 4x4x16 cm³

À la même étape et pour avoir une idée sur le béton fibré nous avons fabriqué une éprouvette de 4x4x16 cm³ de même constituant en ajoutant un dosage des fibres métalliques (Figure 3.9).



Figure 4. 8 Les fibres métalliques

Les résultats de cet essai sont récapitulés dans le tableau suivant :

E/L	Fc (%)	Sable d’ENG(g)	Gravier (3/8)(g)	Sp (%)	Fibre métallique(%)	fc7 (MPa)	tr7 (MPa)	Masse (g)
0.3	10	650	700	2	1	64.9	2.69	634.2

Tableau 4. 8 Le résultat de traction par flexion et de compression de l’éprouvette de béton de 4x4x16 cm³ en un pourcentage de fibre métallique

Pour l’étape8 : à cette étape on a changé le type de malaxage et le prisme de l’échantillon. pour d’autres dimensions des éprouvettes en gardant les mêmes composants que l’étape 7.

Confection des éprouvettes 10×10×40 cm³ (figure 4.10)

Nous avons fait une transformation des résultats de composition de béton des éprouvettes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ en des éprouvettes de $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$, on garde le même pourcentage de dosage de sable et de gravier varions les autres pourcentages (eau, fumée de silice, superplastifiant).



Figure 4. 9 Les éprouvettes de $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$

Malaxage de béton

Howard.NL et Leatham.D.M 1989, Reck.R et Casey.K 1991 ont dit que la sélection des matériaux qu'il faut utiliser pour fabriquer un BHP résulte d'un processus de sélection très élaboré.

Par conséquent, il est essentiel de s'assurer que les matériaux qui sont dans les bennes pour fabriquer le BHP ont bien les propriétés des matériaux qui ont été choisis durant le processus de sélection.

Notre procédure de malaxage que nous avons fait :

- Poser les granulats (gravier, sable) secs dans le malaxeur, puis on fait un malaxage à sec de ces deux derniers de 60 secondes.
- Poser le ciment et la fumée de silice dans le malaxeur puis on fait un malaxage à sec (granulats, liant) à l'ordre de 2 min.
- Poser l'eau dans le malaxeur et démarrer le malaxage à l'ordre de 30 secondes puis on ajoute le superplastifiant de but de défloculation des grains. On fait un malaxage à l'ordre de 5 min.
- Arrêter le malaxage, on fait directement un essai d'affaissement dans le cône d'Abrams.

D'après le cône d'Abrams (Figure 4.11) nous avons trouvé que le premier essai de composition par ce malaxage est donne un béton ferme. Pour cela Nous avons pensé de changer les étapes de malaxage. On a suit les étapes suivantes :

- Poser l'eau dans le malaxeur
- Poser le ciment et la fumée de silice
- Malaxer les trois composantes à 60 secondes

- Poser le superplastifiant et faire un malaxage jusqu'à une défloculation des grains visuel avec un changement de vitesse (lors de 2 minutes)
- Poser le sable et le gravier 3/8 et faire un malaxage de 3 minutes



Figure 4. 10 Le cône d'Abrams

6 essais ont été réalisés par ce nouveau matériau malaxé avec le sable de l'ENG + ciment + fumée de silice + superplastifiant + eau.

Pour chaque composition nous avons mesuré l'ouvrabilité de l'échantillon en termes de l'affaissement de cône d'Abrams.

Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau suivant :

Essai	E/L	Fc (g)	Sable d'ENG(g)	Gravier (3/8)(g)	Sp (%)	fc7 (MPa)	fc21 (MPa)	Masse (Kg)
01	0.3	647	8408	9055	2	45	54.4	9.95
02	0.35	647	8408	9055	2	32.4	45.7	9.75
03	0.35	517.5	8408	9055	2	30	40.1	9.90
04	0.3	517.5	8408	9055	2	32.4	48.8	10.1
05	0.35	647	8408	9055	1.8	38.9	58.0	10.0

Tableau 4. 9 Les résultats de compression de 7 et 28 jours

Pour finir notre travaille nous avons faire un essai pour arrivé à une très haute résistance d'un dosage en fibre lors de 1% avec une formulation suivant : E/L = 0.35, fumée de silice = 10%, superplastifiant = 1.8%.

Les résultats de cet essai sont remplis dans le tableau suivant :

E/L	Fc (g)	Sable d'ENG(g)	Gravier (3/8)(g)	Sp (%)	Fibre métallique(%)	fc7 (MPa)	fc28 (MPa)	Masse (Kg)
0.35	647	8408	9055	1.8	1	36.1	45.6	9.8

Tableau 4. 10 Les résultats de compression de l'éprouvette de 10x10x40 cm³ en béton fibré

CHAPITRE 5

INTERPRETATION DES RESULTATS

1 Introduction

L'interprétation des résultats des essais présentés au chapitre 3 sera conduite suivant deux phases.

Dans la première phase, une interprétation générale sera donnée en fonction des effets intrinsèques aux sables utilisés et aux moyens de malaxages et serrages disponibles.

La deuxième phase concerne l'interprétation des résultats en termes de résistance à 7 jours et 28 jours.

2 Interprétation générale

Les paramètres qui ont attirés notre attention sur la confection de notre béton concernent le malaxage, serrage et cure pour différents sables utilisés.

Les BHP sont quelque fois très sensibles à de légères variations dans leurs proportions, surtout en ce qui concerne leur teneur en eau. Une augmentation de la teneur en eau de malaxage de 3 à 5 l/m³ de béton peut représenter une perte de 10 à 20 MPa de la résistance à la compression et une variation non contrôlée du dosage en superplastifiant peut amener à une ségrégation des granulats.

La présence de grosses bulles d'air peut être considérée comme une hétérogénéité microstructurale qui peut diminuer la résistance dans les BHP.

Par des moyens appropriés de consolidation on peut atténuer l'effet créé par ces bulles.

La tendance naturelle des particules de ciment à flocculer doit être aussi éliminée. L'entraînement de très petites bulles d'air (2 – 3%) peut être engendré lors de la mise en œuvre.

La cure des échantillons de béton a une efficacité remarquable sur la résistance caractéristique de béton mais il faut que cette cure pour le BHP dans l'eau soit le plus longtemps possible d'une période qui va du début de prise à presque la fin de prise du ciment, parce que la cure diminue le retrait endogène.

L'absence de tout mûrissement ou cure à l'eau peut être catastrophique du point de vue de la fissuration.

Aitcin et Neville en 1993 disent que, le besoin d'un mûrissement à l'eau des BHP est un sujet qui commence à être discuté (Aitcin.P-C, et al., 1993).

3 Interprétation des résultats en termes de résistance

3.1 Sable de Terga

Les résultats donnés dans le tableau 3.1 sont marqué sur la figure 4.1 représentant les résistances à la compression en fonction de la variation du rapport E/C pour une pénétration mesurée par la sonde de Vicat.

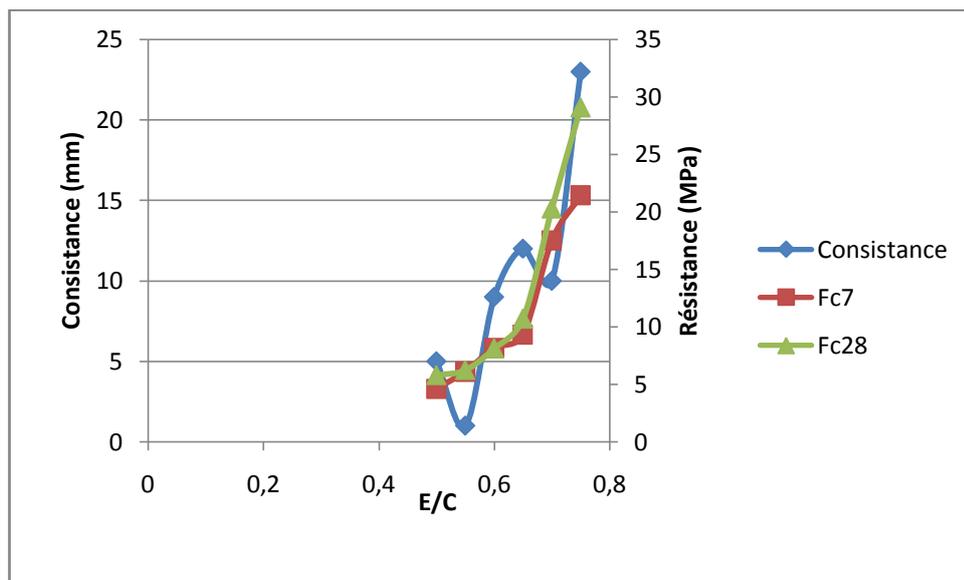


Figure 5. 1 Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du rapport E/C

On remarque que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du dosage en eau. Ce qui paraît complètement opposé à un comportement normal d'un béton.

Ce résultat a été confirmé par plusieurs essais et il s'est avéré que le sable de Terga particulièrement présente un optimum en dosage en eau qui se situe au alentour de 0,75.

Ce qui confirme d'autres travaux utilisant le béton de sable où le dosage en eau était de 0,71 (Dib.N, et al., Juillet 2011).

On doit noter que la résistance à 28 jours maximum est de 29 MPa et que celle de 7 jours est de 21 MPa. Ce qui donne un rapport de 1,38. Ce rapport est de loin le plus grand par rapport aux autres dosages en eau.

Le sable fin de Terga est connu pour ses aptitudes à absorber beaucoup plus d'eau pour obtenir un meilleur serrage qui amène à une plus grande résistance.

Les résultats donnés dans le tableau 3.2 sont représentés à la figure 5.2 représentant les résistances à la compression en fonction de la variation du dosage en fumé de silice.

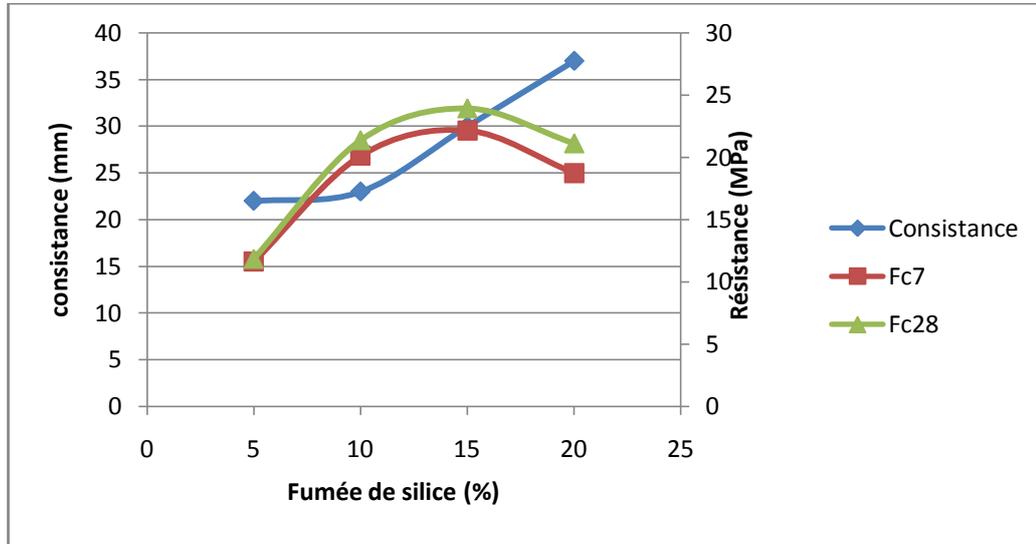


Figure 5. 2 Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 24 MPa pour un dosage en fumée de silice de 15%. La variation de la résistance entre 7 et 28 jours reste très minime.

La pénétration du béton de sable mesurée par la sonde de Vicat donne une augmentation en fonction du dosage en fumée de silice.

Les résultats donnés dans le tableau 3.3 représentent les résistances à la compression en fonction du dosage en superplastifiant.

On remarque que la résistance à la compression varie entre 11 et 23 MPa pour différents dosages en eau et en superplastifiant. L'idée était de rechercher un minimum de dosage en eau pour une grande résistance.

Le dosage minimum en eau est au alentour d'un E/C = 0.5, ce qui donne une résistance insuffisante pour notre BHP.

Les résultats donnés dans le tableau 3.4 donnent les résistances à la compression dans deux types de graphes en fonction de la variation du dosage en fumée de silice et du dosage en superplastifiant pour des rapports E/C de 0.55 et 0.5.

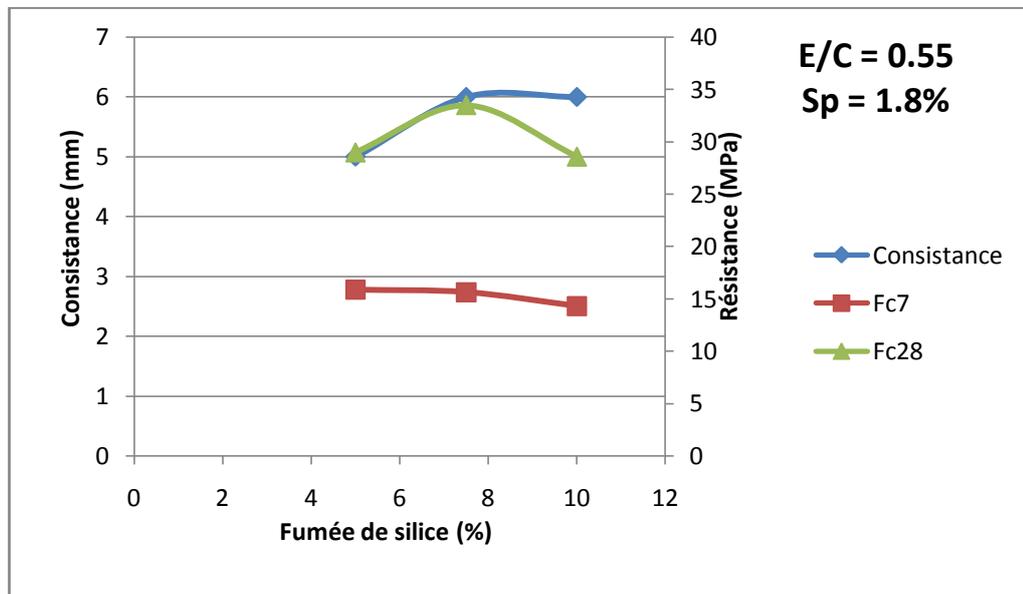
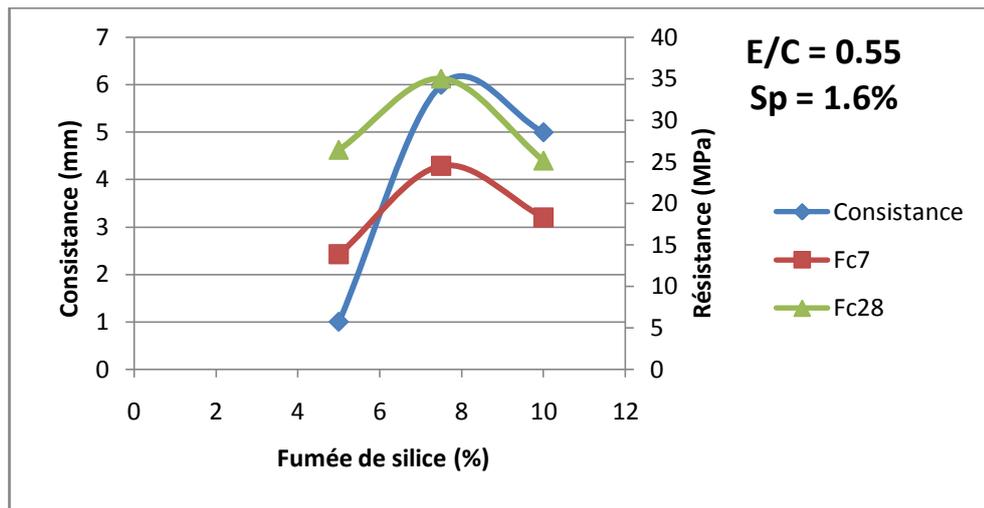


Figure 5. 3 Les résistances à la compression en fonction du dosage en fumée de silice (E/C = 0.55, SP = 1.6 % , 1.8 %)

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 35 MPa en 28 jours pour un dosage en fumée de silice de 7.5% et un dosage en superplastifiant de 1.6% avec un rapport entre la compression de 28 et 7 jours est de 1.45. D'autres rapports de résistance entre 28 et 7 jours ont atteint le double (2)

La variation de superplastifiant entre les deux graphes n'a pas une grande influence sur les résultats de résistance ce qui explique que le dosage en saturation est le meilleur dosage avec un coût minime.

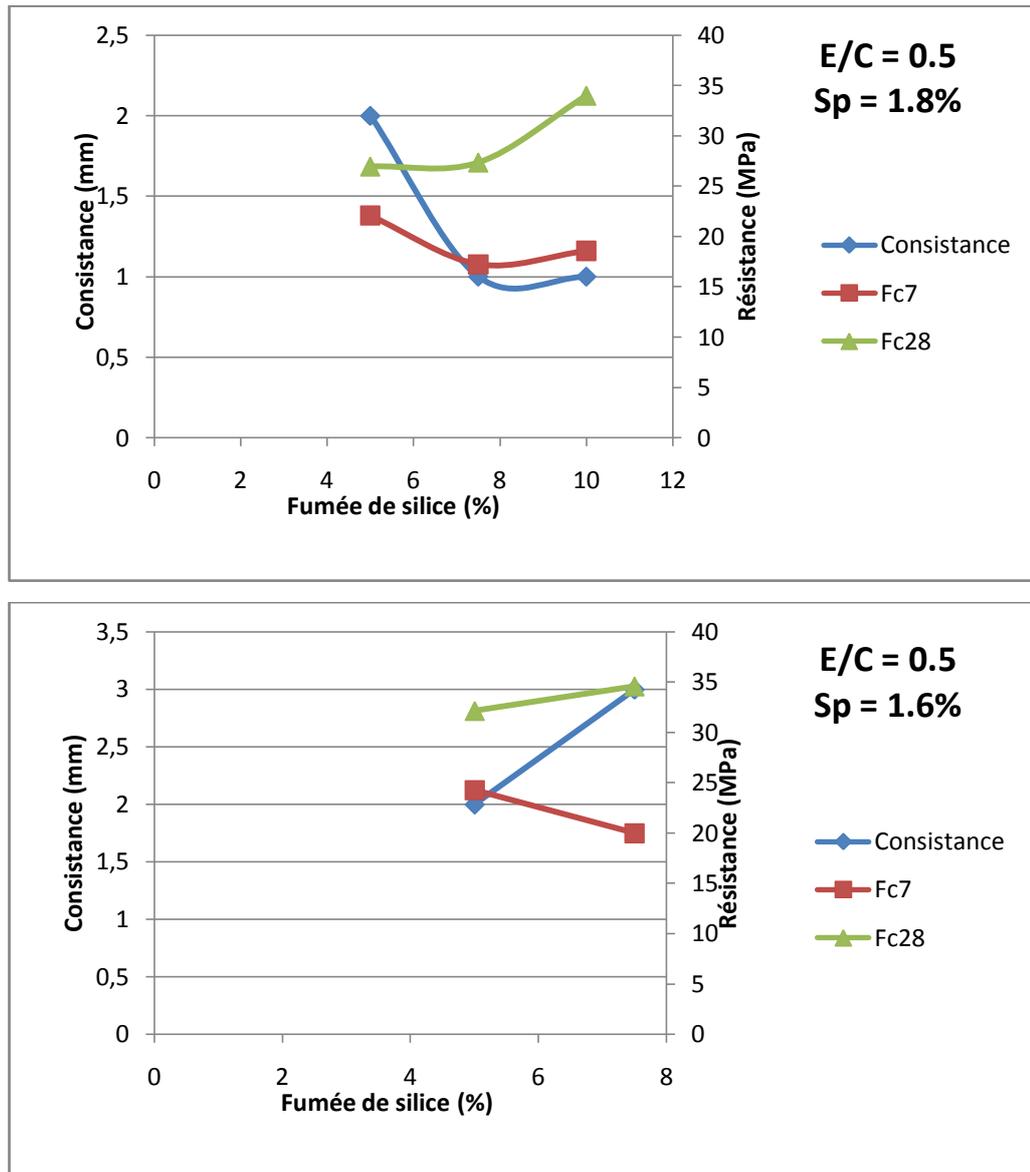


Figure 5. 4 Les résistances en compression en variation de fumée de silice (E/C = 0.5, SP = 1.6 % , 1.8 %)

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 34.6 MPa en 28 jours pour un dosage en fumée de silice de 7.5% et un dosage en superplastifiant de 1.6% avec un rapport entre la compression de 28 et 7 jours est de 1.73.

Malgré que nous ayons changé le dosage en eau passant de 0.55 à 0.5 les résultats de compression sont presque les mêmes. Nous avons noté que dans les deux graphes le dosage en superplastifiant qui donne les meilleurs résultats de compression est celui de 1.6%.

A E/L = 0.5 nous avons atteint une réduction maximale de dosage en eau, et on ne peut pas aller plus loin pour augmenter la résistance.

3.2 Sable de Bouihi

Le sable de Bouihi comme nous l'avons déjà présenté est un sable à granulats roulés, à un module de finesse fin.

Les résultats donnés dans le tableau 3.5 donnent les résistances à la compression dans trois graphes en fonction de la variation du dosage en superplastifiant et de dosage en fumée de silice pour un rapport E/C constant égale à 0.5

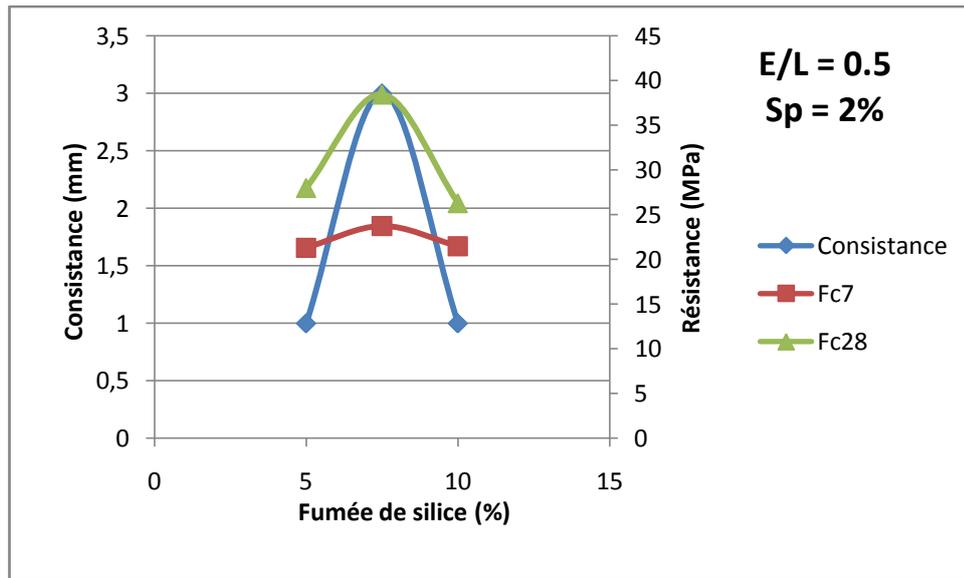


Figure 5. 5 Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2%)

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 38.45MPa en 28 jours pour un dosage en fumée de silice de 7.5% et un dosage en superplastifiant de 2% avec un rapport entre la compression de 28 et 7 jours est de 1.62.

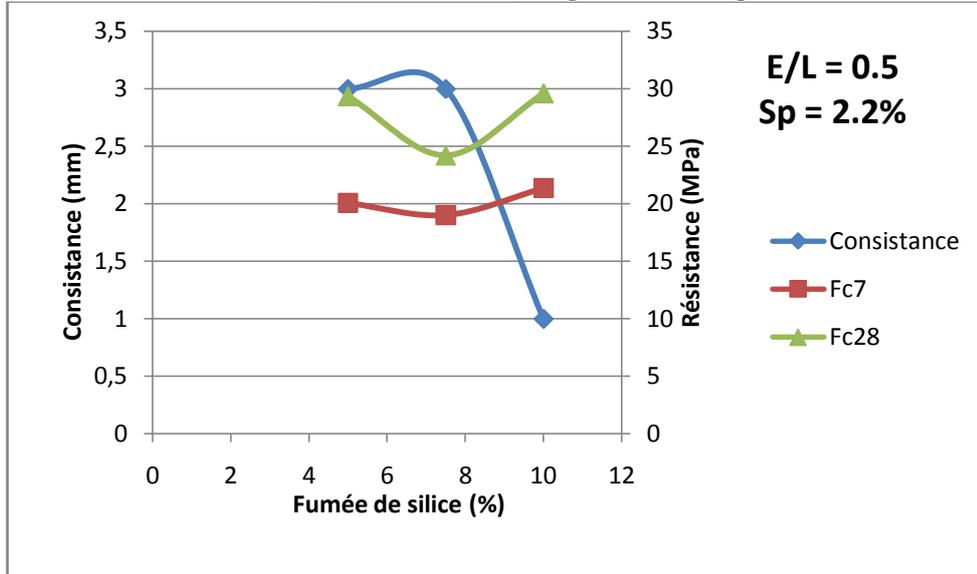


Figure 5. 6 Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2.2%)

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 29.6 MPa en 28 jours cette fois pour un dosage en fumée de silice de 10% et un dosage en superplastifiant de 2.2% avec un rapport entre la compression de 28 et 7 jours est de 1.38.

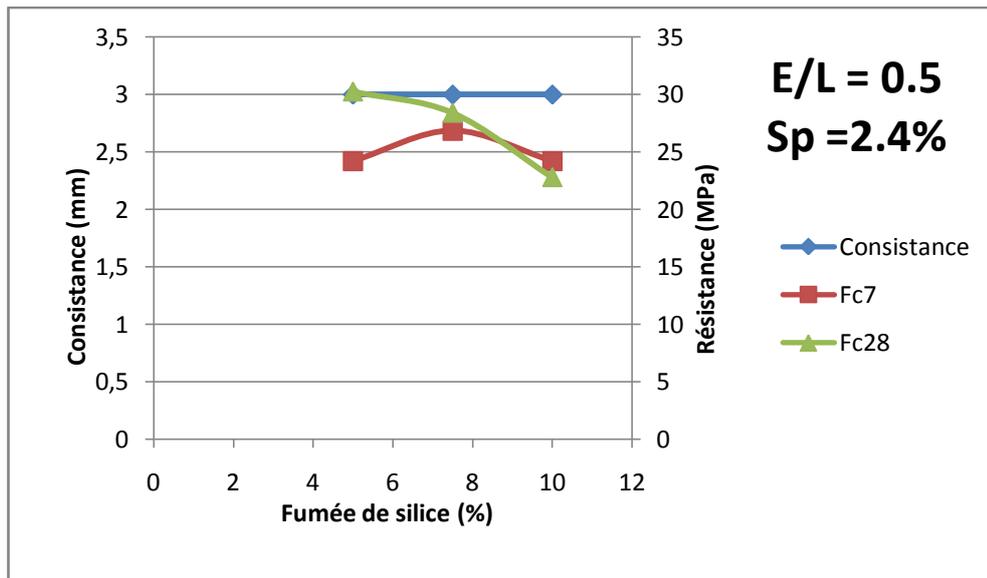


Figure 5. 7 Les résultats de résistance de compression en fonction de variation du fumée de silice (E/L = 0.5, Sp=2.4%)

On remarque que la résistance à la compression atteint un optimum de 30MPa en 28 jours pour un dosage en fumée de silice de 5% et un dosage en superplastifiant de 2.4% avec un rapport entre la compression de 28 et 7 jours est de 1.25.

Nous avons fait un tamisage de sable de Bouihi à 2mm comme d’habitude mais cette fois ci nous avons trouvée une quantité très importante de l’argile de forme des boule, ce qui dénote de la mauvaise qualité de ce sable.

Les résultats de 7 jours ce sont des résultats insuffisants pour un BHP qui varient entre 19 et 27 MPa. Même les résultats de compression de 28 jours ne dépasse pas les 38 MPa

Ce sable nous a éloigné de notre objectif.

Nous avons donc opté pour un autre type de sable en utilisant le sable concassé de l’ENG disponible au niveau de notre laboratoire et très utilisé dans la confection du béton local.

3.3 Sable de l’ENG

Cette fois nous avons changé la procédure en plus de tamisage sec à 2 mm, nous avons éliminé les fines par un tamisage humide à 0.08 mm et faire étuver à 105°C.

Nous avons utilisé un ciment de Béni Saf avec le superplastifiant de SIKA. On a remarqué que ce couple donne une bonne viscosité de pate de ciment, eau et superplastifiant lors du malaxage parce que ce sable ayant des caractéristiques différentes que les autres sables précédents. Nous avons fait des nouvelles compositions en se basant sur les résultats obtenus précédemment.

Les résultats donnés dans le tableau 3.6 donnent les résistances à la compression dans trois graphes en fonction de la variation du dosage en superplastifiant, de dosage en fumée de silice et de rapport E/L.

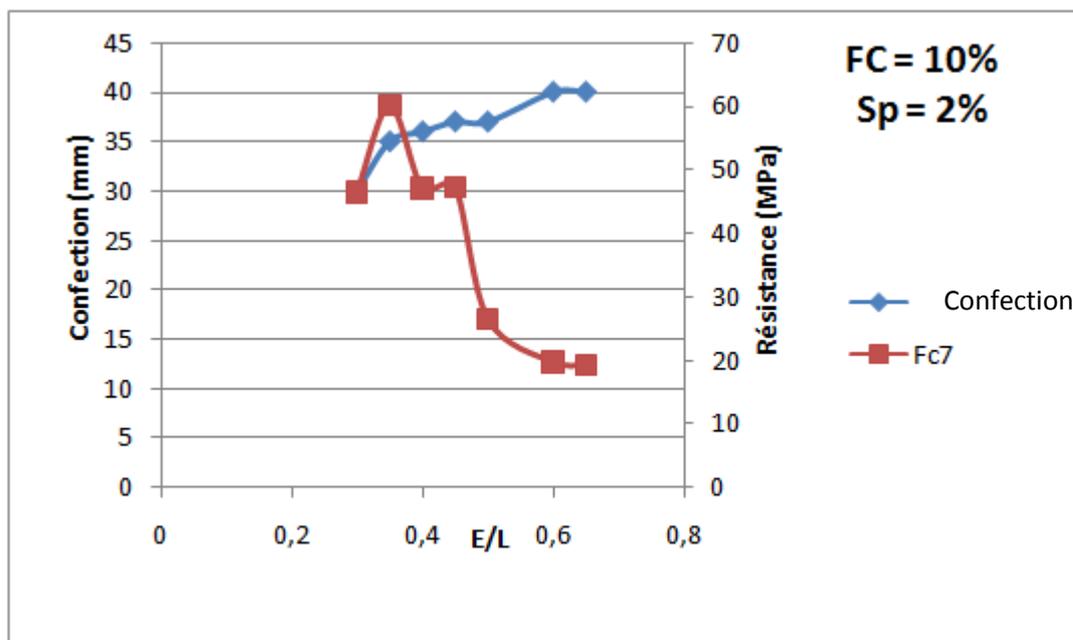


Figure 5. 8 Les résultats de compression en variation de rapport E/L(Fc=10%, Sp=2%)

D'après la première confection de béton de sable qui a un rapport E/L de 0.65 nous avons trouvé une consistance de 0mm (h-d = 40 mm) avec un béton de sable qui est fluide moulé directement sans vibration. Cette consistance nous encourage à diminuer le rapport E/L alors qu'avec les autres sables, il fallait encore augmenter le dosage en eau pour atteindre une telle consistance.

Nous avons diminué le rapport E/L à 0.6 (avec un dosage de 10% de fumée de silice, 450g de ciment, 2% de superplastifiant, 1300g de sable de l'ENG) et notre béton de sable reste fluide avec un moulage facile sans utiliser la table vibrante, cette fois ci nous avons réduit le rapport E/L jusqu'à un dosage de 0.5 de E/L avec une fluidité similaire.

Nous avons continué cette réduction d'eau de E/L= 0.45 à 0.30, la consistance de béton de sable donne un résultat de 5 mm (p =35 mm).

Plus on diminue le dosage en eau, plus la densité de l'échantillon augmente.

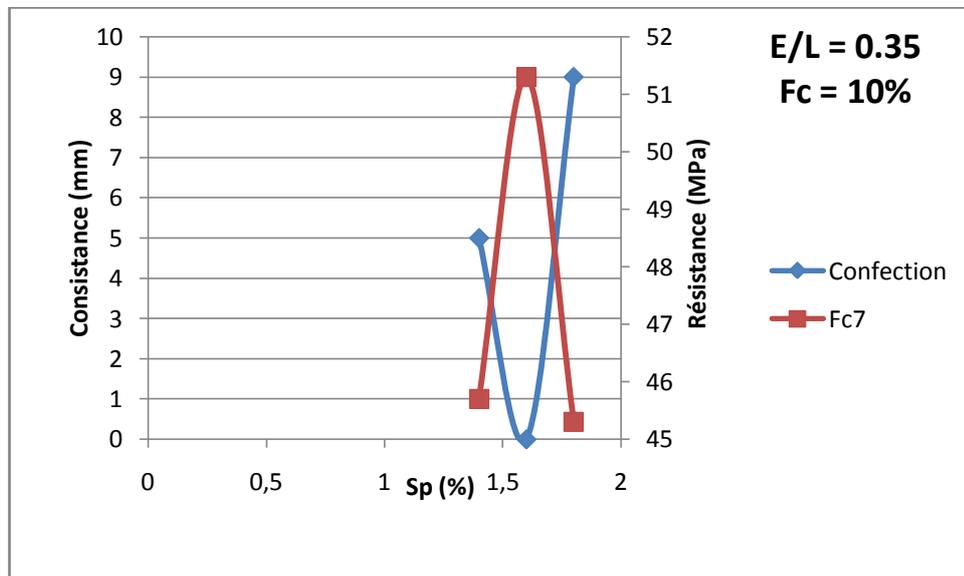


Figure 5. 9 Les résultats de résistance de compression en fonction de variante du superplastifiant (E/L=0.35, Fc=10%)

Nous avons fixé le dosage de E/L en 0.35 et le dosage en fumée de 10% et on avarié le dosage en superplastifiant.

Les résultats de compression donnent un maximale de résistance de 51 MPa à 7 jours et 70 MPa à 28 jours.

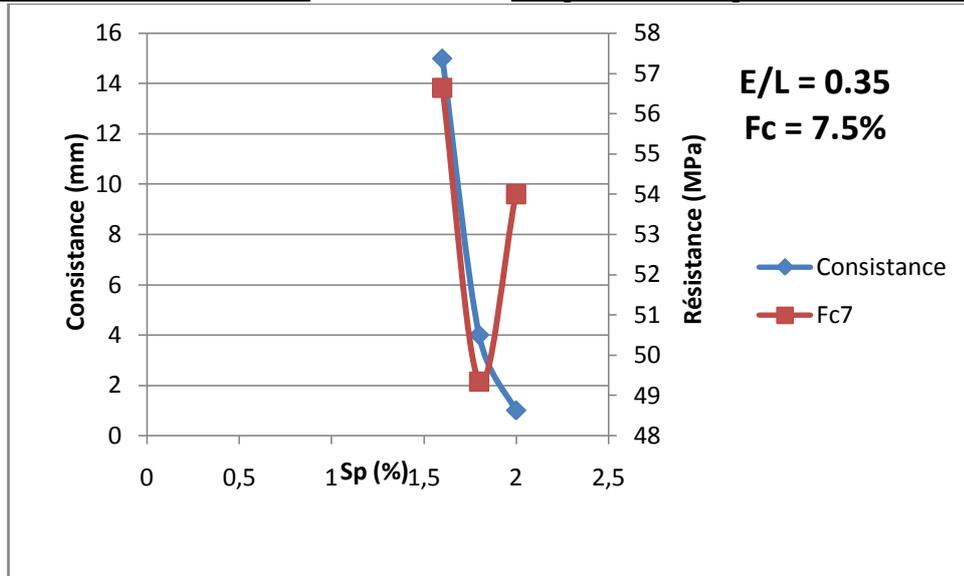


Figure 5. 10 Les résultats de résultats de compression en fonction de variante du superplastifiant (E/L=0.35, Fc=7.5%)

Nous avons fixé le dosage de E/L en 0.35 et le dosage en fumée de silice lors de 7.5% et on a varié le dosage en superplastifiant.

Nous avons mesuré la masse de chaque éprouvette juste avant les essais de compression pour apprécier la densité.

Le premier essai de rapport E/L = 0.4 nous a donné une résistance à 7 jours de 47.25 MPa ce qui nous rapproche des hautes résistances.

Pour un dosage de E/L = 0,35 , nous avons atteint une résistance de 60.1 MPa à 7 jours et 83 MPa à 28 jours.

Avec ce dernier résultat, on peut dire que le sable de l'ENG présente les meilleurs performances pour un béton du type BHP et d'autres essais sont nécessaires pour mieux maîtriser ce résultats.

La masse des éprouvettes est passée de 580 g pour les premières éprouvettes à presque 628 g soit un gain de poids de plus de 8%.

3.3.1 Interprétation des résultats de béton (4x4x16 cm³)

La confection des éprouvettes de 4x4x16 cm³ avec la composition de béton de sable toute en gardant le même rapport E/L et le même dosage en superplastifiant, on fait varier le dosage en sable et en gravier 3/8.

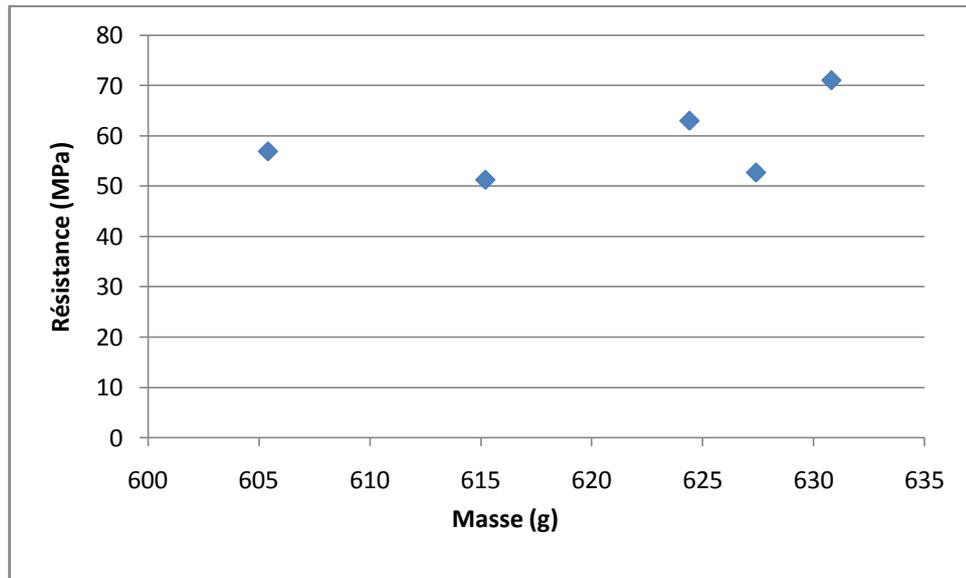


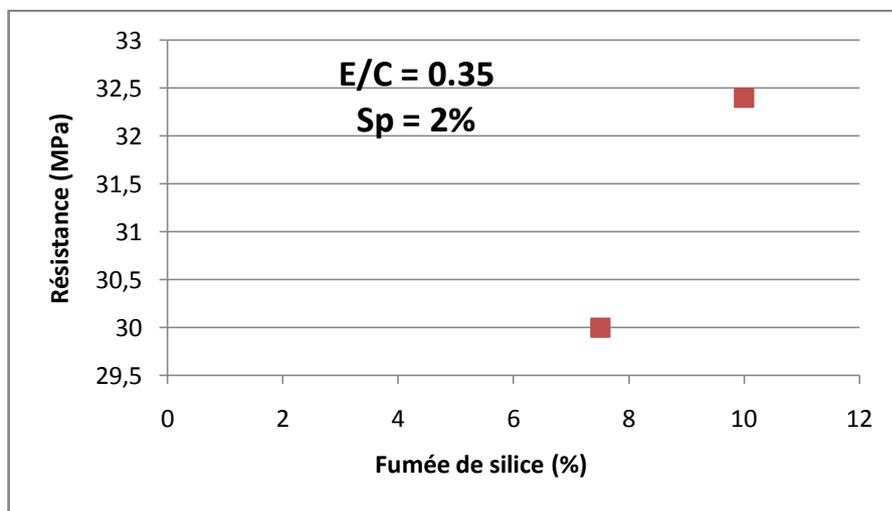
Figure 5. 11 Les résultats de résistance de compression des éprouvettes de 4x4x16 cm³ en fonction de la masse

Nous avons remarqué que les fractions des granulats (sable, gravier) ne donne pas une grande influence sur la consistance et la maniabilité mais en terme de masse des éprouvettes on note une légère augmentation.

Les résultats des écrasements à 7 jours de ces éprouvettes varient entre des valeurs moyennes entre 50 et 71 MPa, et à 28 jours entre 67 et 84 MPa.

3.3.2 Confection des éprouvettes de 10x10x40 cm³

La confection des éprouvettes de 10x10x40 cm³ avec la composition de béton de sable toute en gardant le même rapport E/L et le même dosage en superplastifiant, on fait varier le dosage en sable et en gravier 3/8.



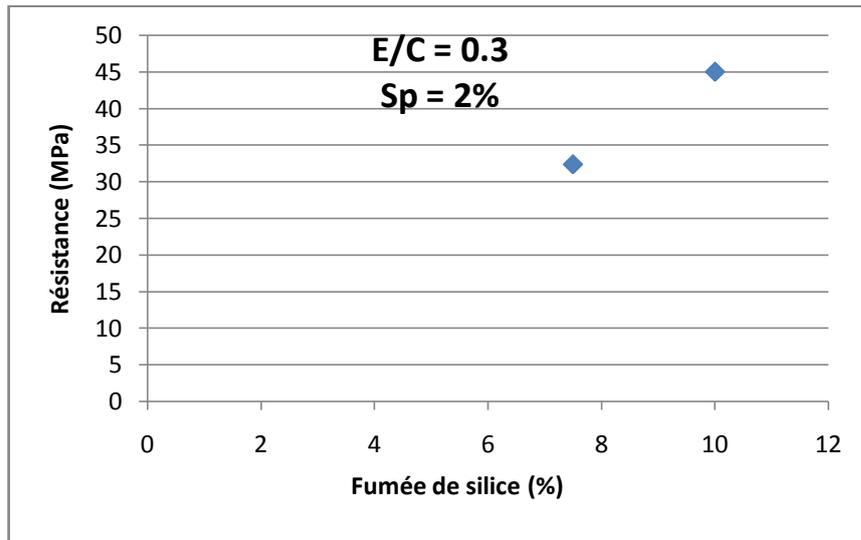


Figure 5. 12 Les résultats de résistance de compression des éprouvettes de 10x10x40 cm³ en fonction de variation de dosage en fumée de silice

Lorsqu'on est passé à une échelle plus grande des échantillons (éprouvettes 10x10x40), le mode de malaxage n'était pas adapté. En effet l'utilisation de la bétonnière ne nous permettait pas de contrôler la vitesse de malaxage ce qui est un élément important pour lutter contre la floculation des grains sachant que dans ce cas de composition, le dosage en eau est très minime.

La première formulation est dans un rapport E/L de 0,3 à la fin de malaxage nous avons remarqué un grand colmatage des grains. D'après l'essai de cône d'Abrams l'affaissement est de 4 cm, donc c'est un béton ferme avec une maniabilité difficile.

La mise en œuvre a été faite avec un serrage puissant. La résistance a atteint à 7 jours 38 MPa et à 28 jours 58 MPa.

En adaptant le mode de malaxage précédemment, on a pu obtenir une meilleure ouvrabilité (affaissement de plus de 20 cm).

Conclusion et recommandations

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'obtenir une résistance à la compression plus ou moins égal à 60 MPa a 28 jours correspondant à un BHP, avec l'utilisation des matériaux locaux.

Dans le travail élaboré nous avons passé de composition de mortier normal à un béton de sable, finalement à une composition de béton pour avoir les différentes influences des paramètres de chaque étape :

- Le dosage de saturation de superplastifiant c'est le meilleur dosage pour un maximum de réduction de dosage en eau.
- Le sable concassé tamisé à 2mm lavé à 0.08mm donne une bonne résistance à la compression avec une maniabilité acceptable.
- Le malaxage a un effet remarquable sur la maniabilité et la résistance.
- L'ajout des éléments ultrafines (fumée de silice) a un effet remarquable sur l'augmentation de la compacité qui a déduit de l'augmentation de la résistance.
- Les deux surfaces de compression doivent être parallèles pour assurer une bonne résistance à la compression.
- L'erreur augmente en fonction de l'augmentation de dimension des moules utilisés.

Nous avons atteint un maximum de résistance à la compression de béton de 58 MPa

Il existe plusieurs variantes pour la formulation d'un BHP. Il sera donc très intéressant d'étudier la possibilité de confectionner un BHP à partir des matériaux locaux pour pouvoir par la suite réaliser une étude technico-économique.

Ces études nous permettront de définir les avantages d'utilisation du BHP dans le domaine de construction en Algérie.

Le domaine des BHP étant très vaste.

- Application aux éléments de préfabrication
- Application aux éléments de structures soumis à des agressions environnementales.

Bibliographie

Aitcin, P-C et Baalbaki, M. 1996. *Canadian experience in producing and testing.* ACP SP-159.

Aitcin.P-C. 1998. *High performance concrete.* Hrdcover. ISBN-10: 0419192700.

Aitcin.P-C. 2001. *beton a haute performance.* paris : eyrolles.

Aitcin.P-C. 1983. *Condensed Silica Fume.* Québec, Canada : Editions de l'université de Sherbrook. p. 52. ISBN 2-7622-0016-4.

Aitcin.P-C et Neville.A.M. 1993. *high performance concrete shrink or does it swell.* concrete international.

Aitcin.P-C. 1992. *Le développement des bétons à haute performance en Amérique du Nord.* [éd.] Y.Malier. s.l. : Les presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, dans Les bétons à haute performance- caractérisation, durabilité, applications. ISBN 2-85978-187-0.

Albinger, J et Moreno, J. 1991. *High-Strength Concrete.* Chicago.

Allou.F, Charif.H et Jaccoud.J. Septembre1988. *Bétons à hautes performances - Chantiers.* Suisse .

Aoyama.H, et al. 1990. *Outline of the Japanesse National project en advenced reinforced concrete buildings with high-strength and high-quality matériaux.* ACI SP-121.

Benamara.D et Bouzidi.M. Avril 2010. *VERS UN BETON DE HAUTE PERFORMANCE ELABORE DE MATERIAUX LOCAUX «BHP».* université de Djelfa et Biskra .

Benmansour.M et Benhamidat.M. 2011. *Influence de la teneur en fillers sur les performances des BAP.* master 2 en génie civil. p. 117.

Blick, R.L, Petersen, C.F et Winter, M.E. 1974. *Proportioning and controlling high-strenght concrete.* ACI SP-46.

Boukli.S.M.A. 2010. *Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen.* thèse de doctorat, université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen - ALGERIE .

Burnett.I. Avril 1989. *High-strength concrete in Melbourne.* AUstralia : Concrete International.

Chern.J.C, Hwang.C.L et Tsai.T.H. Octobre1995. *Research and developpement of HCP inTaiwan.* Concrete International.

Colombs.L et Quellet.E. 1994. *The montée St- remi overpss grossing autoroute 50in Miroble, the savings achieved by using Hpc.* Canada : concrete Canada newsletter. Vol. vol-2, N°1.

de Larrard,F. et Malier, Y. 1992. *Propriétés constructives des bétons à hautes performances.* ISBN 82-519-0797-7.

de Larrard, F. 2008. *Structures granulaires et formulation des bétons*. Nantes, France : IST - Difusion des Editions.

deLarrard.F. 1993. *A survey of recent reseach performed in French LCP Network on high-performance concrete*. [éd.] I.Holland et E.Sellevoid. Oslo, Norvège : Norwegian concrete association. ISBN 82-91341-00-1.

deLarrard.F. Mai 1988. *Formulation et propréité des bétons à très hautes performances*. thèse de doctorat de l'ENPC. France , rapport de LCP n°149.

deLarrard.F. 1988. *Formulation et propriétés des bétons à très hautes performances*. Rapport de recherche. LCP, N°149.

deLarrard.F, Acker.P et Malier.Y. 1987. *Very high strength concrete : from the laboratory to the construction site, comptes rendus, Utilization of high strength concrete*. [éd.] Tapir. Trondhein, Norvège. ISBN 82-519-0797-7.

Detwiler, G. 1991. *High-strength Silica fume Concrete*. Chicago : Concrete International.

Dib.N et Belarbi.S. Juillet 2011. *Effet des fines de sable concassé sur la résisatance des bétons*. master 2 en génie civil.

A. Spasojevic, et al. Décembre 2008. *Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-Hautes Performances aux ponts*. Svizzera, Suisse : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

De Schutter G., et al. Juillet 2007. *Le bétons à hautes performances*.

Gabrysiak F. 05-02-2005. *Matériaux-Les Bétons- Chapitre 04*.

Fevre.C. *Projet National BHP2000, Les Bétons à Hautes Performances*.

Freedman, S. 1971. *High-Strength Concrete. Association du ciment Portland*. Skokie , p. 19.

Gettala.S, Mezghiche.R et Chebili.R. 2007. *interest and effectiveness of the addition of the sand of dune finely crushed to ciment, on the properties of the concrete*. s.l. : Sun light publishing Canada.

Hattori, K. 1979. *experience with mighty superplasticizer in Japan*. ACI SP-62.

Hoalland.I. 1993. *High-strength concrete in Norway- Utilisation an rexarch, utilization of high-strength concrete*. [éd.] I.Holland et E.Sellevoid. Oslo, Norvège : Norwegian concrete association. ISBN 82-91341-00-1.

Hoff, G. 1993. *Utilisation of high-strength concrete in North America*. [éd.] I.Holland et E.Sellevoid. Oslo,Norvège : Norwegian Concrete Association. ISBN 82-91341-00-1.

Howard.N.L et Leathan.D.M. Avril 1989. *The production and delevery of high-strength concrete*. Concrete International.

Jaugey, P. 1990. *Les bétons a haute performance du laboratoire aux chantiers*. [éd.] Y.Malier. s.l. : Les presses de l'école nationale des ponts et chaussées. ISBN 2-85978-138-2.

Komar.A. 1978. *Matériaux d' éléments de construction.*

Konig.G. 1993. *Initialization of high-strength concrete in Germany.* [éd.] I.Holland et E.Sellevoid. Oslo, Norvège : Norwegian concrete association. ISBN 82-91341-00-1.

Malhotra, M, et al. 1987. *Condensed Silica Fume in concrete.* Boca Raton,USA . ISBN 2-8497-5657-1.

Malier, Y. 1990. *présentation de projet national " Voies nouvelles du matériau béton".* [éd.] Y.Malier. s.l. : les presses de l'école nationale des ponts et chaussées. ISBN 2-85978-138-2.

MALIER, Y. 1992. *Les bétons à haute performance (caractéristique, durabilité , applications).* Paris .

Malier.Y. 1992. *L'experimentation : la clé d'une stratégie de recherche - développement en génie civil, dans les bétons à hautes performances - caractérisation, durabilité, applications.* [éd.] Y.Malier. s.l. : Les presses de l'école nationale des ponts et chaussées. ISBN 2-85978-187-0.

Malier.Y. Juillet1991. *The French approach to using HCP.* s.l. : Concrete International.

Mayer, A. 1979. *Experiences with the use of superplasticizers in Germany.* ACI SP-62.

Mohammed Lamine, HAMIDA. 2010. *EFFET DE L'HUMIDITE SUR LES CARACTERISTIQUES THERMIQUES ET MECANIQUES DE MATERIAUX UTILISES DANS LA CONSTRUCTION.* Constantine : thèse de magister d'etat.

Neville.A.N. 1995. *Propréties of concrete.* [éd.] Pitman. 4 édition. Londres. p. 844. ISBN 0-582-23070-5.

Olivier, Myriam. Septembre 2005. *Les bétons dans la construction.* Boulevard de Villefontaine, France : CUSIN - 38300 Meyrié.

Petrov.N. 2003. *effet combinés de différents facteurs sur l'expension des bétons causée par la formulation différée de l'ehringité.* Thèse de doctorat à l'université de Sherbrooke, Canada.

Potter.R et Guirguis.S. 1993. *High-strength concrete in Australia, Utilization of high-strength concrete.* [éd.] I.Holland et E.Sellevoid. Oslo, Norvège : Norwegian concrete association. ISBN 82-91341-00-1.

Prot, Guillaume. 15 Avril 2011. *Le Moniteur. Games de bétons.* Uzès 75108 Paris cedex 02, Vol. 44.

Reck.R et Lasey.K. Mars 1991. *At over of strength ,* concrete international.

Ronnerberg, A et Sandvik, M. Janvier,1990. *High-strength concrete for north Sea platforms.*

Sung-Woo.Shin. aout 1990. *High-strength concrete in Korea. Engineered concrete structures.* Skokie, USA : Association du ciment portland.

Taleb.O. 2009. *Optimisation de la formulation des bétons autoplaçant à base de matériaux locaux.Mémoire de Magister*, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen : s.n., 2009.

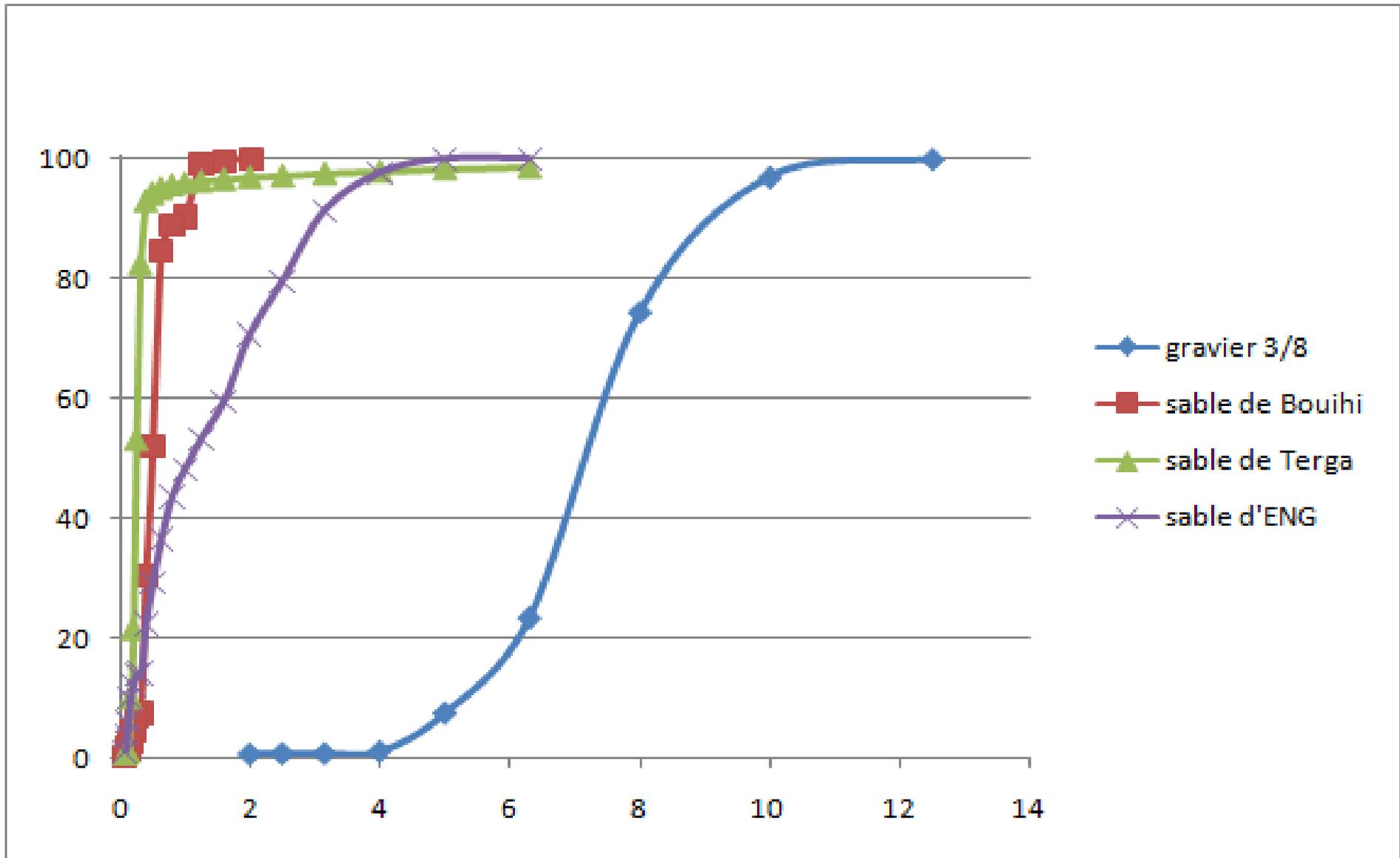
Zhu.Jinquan et Hu.Quingchang. 1993. *High-strength concrete in China, Engineered concrete structures.* Skokie, USA : Association du ciment portland.

Site internet

site web 1 : www.google.com/ béton fibré à ultra haute performance écrite par Gaston D. et col.

site web 2 : [www.google .com/](http://www.google.com/)béton fibré écrite par Bayard O.

site web 3 : www.google.com/composition chimique de ciment de Béni Saf 42.5



ANNEXE 1

Nature de l'échantillon : gravier			Classe granulaire 3/8	
Masse sèche : M=1.6kg > 0.2D (D en mm)			Tamis cumulée	Pr des TC %
12.5	0	0	1600	100
10	0	0	1600	100
8	409	409	1191	74.44
6.3	817.2	1226.2	373.8	23.36
5	254.4	1480.6	119.4	7.46
4	102.4	1583	17	1.06
3.15	5.5	1588.5	11.5	0.72
2.5	0.3	1588.8	11.2	0.70
2	1.4	1590.2	9.8	0.61
fond	9.6	1599.8	0.02	0

L'analyse granulométrique de gravier 3/8

Nature de l'échantillon : sable			Classe granulaire 0/2	
Masse sèche : M=1000kg			Pr de refus cumulée%	Pr des TC %
2	0	0	0	100
1.6	3.2	3.2	0.32	99.69
1.25	5.6	8.8	0.88	99.22
1	87	95.8	9.58	90.42
0.8	14.8	110.6	11.06	88.94
0.63	42.2	152.8	15.28	84.72
0.5	326.2	479	47.9	52.1
0.4	218	697	69.7	30.3
0.315	229.7	926.7	92.67	7.33
0.25	6	932.7	93.27	6.73
0.2	22.9	955.6	95.56	4.44
0.16	19	974.6	97.46	2.54
0.125	10.4	985	98.5	1.5
0.1	7	992	99.2	0.8
0.08	6.4	998.4	99.84	0.16
Fond	0.6	999	99.9	0.1

L'analyse granulométrique de sable de Bouihi

ANNEXE 1

Nature de l'échantillon : sable			Classe granulaire o /d	
Masse sèche : M=1000kg			Pr de refus cumulée%	Pr des TC %
6.3	14.5	14.5	1.45	98.55
5	3.5	18	1.8	98.2
4	4	22	2.2	97.8
3.15	3	25	2.5	97.5
2.5	4	29	2.9	97.1
2	2.5	31.5	3.15	96.85
1.6	3.5	35	3.5	96.5
1.25	3	38	3.8	96.2
1	3.5	41.5	4.15	95.85
0.8	3	44.5	4.45	95.55
0.63	5.5	50	5.0	95
0.5	8.5	58.5	5.85	94.15
0.4	12.5	71	7.1	92.9
0.315	105	176	17.6	82.4
0.25	393	569	56.9	53.1
0.2	215	784	78.4	21.6
0.16	116	900	90.0	10
0.125	89.5	989.5	98.95	1.05
0.1	1.5	991	99.1	0.9
0.08	2.5	993.5	99.35	0.65
Fond	4.5	998	99.8	0.2

L'analyse granulométrie de sable de Terga

Nature de l'échantillon : sable			Classe granulaire o /d	
Masse sèche : M=1000kg			Pr de refus cumulée%	Pr des TC %
6.3	0	0	0	100
5	0.5	0.5	0.05	99.95
4	23.5	24	2.4	97.6
3.15	62.5	86.5	8.65	91.35
2.5	117.5	204	20.4	79.6
2	88	292	29.2	70.8
1.6	111.5	403.5	40.35	59.65
1.25	62	465.5	46.55	53.45
1	51	516.5	51.65	48.35
0.8	46	562.5	56.25	43.75
0.63	70.5	633	63.3	36.7
0.5	73.5	706.5	70.65	29.35
0.4	67.5	774	77.4	22.6
0.315	82.5	856.5	85.65	14.35
0.25	1.5	858	85.8	14.2
0.2	18	876	87.6	12.4
0.16	21	897	89.7	10.3
0.125	40.5	937.5	93.75	6.25
0.1	24	961.5	96.15	3.85
0.08	26.5	987	98.7	1.3
Fond	10	997	99.7	0.3

L'analyse granulométrique de sable de l'ENG

Notice technique
Edition avril 2004
Numéro 2.82
Version n°68.2004
SIKA S95 DM

SIKA S95 DM

Fumée de silice densifiée pneumatiquement pour bétons hautes performances et haute durabilité

Conforme à la norme NF P 18-502 et pr NF EN 13263-1

Présentation	La fumée de silice SIKA S95 DM est une silice ultra fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium.
Domaines d'application	La fumée de silice SIKA S95 DM permet de fabriquer des : <ul style="list-style-type: none"> ■ BHP et BTHP ■ Bétons résistants aux milieux agressifs : <ul style="list-style-type: none"> - domaines agricoles : ensilage, stockage d'engrais, aires de stabulation, ... - milieu industriel : industriels chimiques et agro-alimentaires, sucreries, conserveries, laiteries, bacs de retentions, ... - stations services : béton en contact d'huiles et de carburants - aires de lavage - milieu marin : digue, aménagement portuaire, ... - zone de montagne : présence d'eau pure ou de sels de déverglaçage - stations d'épuration, égouts, caniveaux, ... ■ Bétons pompables ■ Bétons projetés
Caractères généraux	La fumée de silice SIKA S95 DM confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ améliore les performances mécaniques à longs termes : résistances en compression, flexion et traction ■ augmente le module d'élasticité ■ réduit le fluage ■ améliore la résistance à l'abrasion et à l'érosion ■ améliore la durabilité en milieux agressifs ■ diminue les risques d'expansion dus aux phénomènes d'alcali-réaction ■ diminue la perméabilité aux gaz et aux liquides ■ facilite le pompage de tous les bétons mêmes peu dosés en ciment, ■ réduit les risques de ségrégations
Caractéristiques	
Coloris	Gris
Conditionnement	Big bag de 1010 kg
Stockage	Dans un local à l'abri de l'humidité
Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans.

Construction

Sika®

Données techniques	
Densité apparente	0,40 à 0,45
Densité réelle (hélium)	2,34
Teneur en SiO ₂	95% (≥ 92%)
Teneur en Na ₂ O éq	0,60% (≤ 1,0%)
Teneur en SiC	1,50% (≤ 3,0%)
Teneur en C libre	1,50% (≤ 3,0%)
Teneur en S total	0,10% (≤ 0,20%)
Surface spécifique BET (m ² /g)	23 (20 à 26)
Teneur en Oxydes (Fe, Al, Mg, Ca)	1,00% (≤ 1,50%)
Teneur en Cl	0,06% (≤ 0,20%)
Conditions d'applications	
Consommation/Dosage	Le dosage habituel est de 5 à 10 % du poids du ciment (pour tout autre dosage nous consulter).
Mise en œuvre	
	La fumée de silice SIKA 895 DM doit être introduite avec le ciment. Afin de tirer toutes les performances de la fumée de silice SIKA 895 DM, il est indispensable de défloculer complètement les micro-particules de silice. Pour cela, la fumée de silice SIKA 895 DM doit être systématiquement associée avec un superplastifiant/hautes réducteur d'eau de type SIKA VISCOCRETE.
Précautions d'emploi	
	La fumée de silice SIKA 895 DM étant un produit pulvérulent, l'emploi d'un masque est préconisé lors de son utilisation.
Mentions légales	
	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquise à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazir,
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger ALGERIE

Tel: 213 (0) 21 50 21 04
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 00
www.sikaalgerie.com
Email: sika.commercial@dz.sika.com



Notice produit
Edition 05/2010
Numéro 2.11
Version n°2010.087
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.



Présentation	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.						
Domaines d'application	<ul style="list-style-type: none"> ■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés. ■ Dans les bétons autoplacants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants. ■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait). 						
Caractères généraux	<p>SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ longue rhéologie (>2h), ■ robustesse à la ségrégation, ■ qualité de parement. 						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="background-color: #FFD700;">RHEOLOGIE</td> <td style="background-color: #FFD700;">RESISTANCES INITIALES</td> <td style="background-color: #FFD700;">REDUCTION D'EAU</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FF0000; color: white; text-align: center;">5</td> <td style="background-color: #FF0000; color: white; text-align: center;">3</td> <td style="background-color: #FF0000; color: white; text-align: center;">4</td> </tr> </table>		RHEOLOGIE	RESISTANCES INITIALES	REDUCTION D'EAU	5	3	4
RHEOLOGIE	RESISTANCES INITIALES	REDUCTION D'EAU					
5	3	4					
Caractéristiques							
Aspect	Liquide brun clair						
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fûts de 230 kg ■ CP de 1000 L ■ Vrac 						
Stockage	<p>Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.</p> <p>En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.</p>						
Conservation	1 an en emballage intact						
Données techniques							
densité	1,06 ± 0,01						
pH	4,5 à 6,5						
Teneur en Na₂O Eq.	≤ 1 %						
Extrait geo	28,0 à 31,0 %						

Construction

Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %
Conditions d'application Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité sur internet www.sika.fr
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKAB a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



SIKAB France S.A.
84, rue Edouard Vaillant – BP 104
93351 La Bourget Cedex
France

Tel. : 01 49 92 80 00
Fax : 01 49 92 80 21
www.sika.fr

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensac
93271 Saint-Denis La Plaine cedex
France