



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Etude du comportement d'un béton à hautes
performances à base de déchets de brique.**

Dirigé par :

Pr: RAHMOUNI ZINE EL ABIDINE

Dr : TEBBAL NADIA

Présenté par :

LAICHI AMAR

TERKI TAHAR

Promotion : 2018/2019.

Résumé

Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui une bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables contribuent dans le processus de la construction dans le domaine du génie civil et ainsi protéger l'environnement. Les déchets de briques rouges (DBR) constituent une alternative intéressante dans ce cas vue que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau des chantiers.

Pour atteindre ces objectifs on à travers ce travail, d'ordre expérimental de valoriser les DBR en les utilisant comme constituant dans le béton à haute performance (BHP). L'incorporation de DBR s'effectue par la substitution du ciment par trois teneurs 10%, 15% et 20%.

La procédure expérimentale mise en place vise à déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des BHP confectionnés à partir de DBR et de les comparées avec celles du BHP témoin sans DBR afin d'exprimer la rentabilité de ce genre de déchets. Les caractéristiques à étudiées sont : la densité à l'état frais et à l'état durci, l'affaissement, la résistance à la compression et à la traction à l'âge de 7 et 28 jours. Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation de déchet de brique avec une substitution de 10% du poids du ciment est très avantageuse dans les BHP soit à l'état frais ou à l'état durci.

Mots clés : recyclage, déchet de brique, béton à haute performance, résistance mécanique, super plastifiant.

Abstract

Waste recycling has now become the right solution that can provide new renewable and sustainable resources that contribute to the process of construction in the civil engineering field and thus to protect the environment. Red brick waste (RBW) is an interesting alternative in this case as these wastes are available and abandoned at construction sites.

To reach these targets one trial across this job of experimental order to promote brick waste by using them as constituent in the concrete with high performance. The enlistment of brick waste is made by the substitution of cement by three contents 10 %, 15 % and 20 %.

The experimental procedure set up aims to determine the physico-mechanical characteristics of the HPC made from RBW and compared with those of the control BHP without DBR in order to express the profitability of this kind of waste. The characteristics to be studied are: fresh and hardened density, compressive and tensile strength at 7 and 28 days of age .The results of this study show that the use of brick waste with a 10% weight substitution of cement is very advantageous in the BHP either in the fresh state or in the cured state.

Key words: recycling, brick waste, high performance concrete, mechanical strength,super plasticizer.

ملخص

أصبحت إعادة تدوير النفايات هي الحل الأمثل الذي من خلاله يمكن أن توفر موارد جديدة ومستدامة قابلة للتجديد تساهم في حماية البيئة وكذا في عملية البناء في مجال الهندسة المدنية. وتعتبر نفايات الأجر الأحمر (DBR) بديلاً هاماً بالنسبة للحصى بسبب تواجدها بشكل عشوائي في الطبيعة كنفائات لمخلفات التهديم للبناءات .

للاوصول الى الأهداف نقوم عبر هذا العمل التجريبي بتعزيز استخدامهم في الخرسانة عالية الأداء باستبدال الاسمنت بمقدار ثلاثة محتويات 10% , 15% , 20%

يهدف الإجراء التجريبي الذي تم إعداده إلى تحديد الخصائص الفيزيائية الميكانيكية لـ الخرسانة عالية الأداء المصنوعة من رقائق الأجر المحطم ومقارنتها بخصائص الخرسانة الشاهد لتتضمن هذه الرقائق من الأجر. الخصائص التي تم دراستها هي: الكثافة في الحالة الصلبة واللينة والمصلبة ، الهبوط للخرسانة وقوة الضغط والشد عند عمر 7 و 28 يوماً.

اظهرت نتائج هذه الدراسة أن استخدام بقايا البنائات من الأجر كرقائق باستبدالها بنسبة 10 % من وزن الاسمنت اعطي تحسن في النتائج الميكانيكية فيالخرسانة عالية الأداء سواء في الحالة اللينة أو في الحالة الصلبة.

كلمات البحث: إعادة التدوير ، بقايا الأجر ، الخرسانة عالية الأداء ، المقاومة ، الملدنات .

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements à :

*Nous remercions **PR : RAHMOUNI Zine el abidine**, notre promoteur pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Dr : TEBBAL Nadia** de leur aide, leur soutien, d'avoir accepté de donner des instructions à ce travail.*

Notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous sommes reconnaissants à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'il trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueurs.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Généralité sur le BHP	
I.1.Introduction	4
I.2.Définition de BHP	4
I.3.Durabilité de BHP	5
I.4. Différents classes de BHP	5
I.5. Méthodes de formulation des BHP	5
I.5.1. Méthode de Dreux-gorisse.....	5
I.5.2. Méthode de baron-lesage.....	6
I.5.3. Méthode de LARRAD.....	6
I.5.4. La méthode de sherbrooke :.....	7
I.6.Choix des matériaux pour les BHP	7
I.6.1 Le ciments:	7
I.6.1.1 Définition.....	7
I.6.1.2 Produits de l'hydratation du ciment	7
I.6.2 Les granulats.....	8
I.6.3 L'eau.....	8
I.6.4 Les adjuvants	8
I.6.4.1 Les superplastifiants :	8
I.6.4.2. Domaines d'utilisation de super plastifiants.....	9
I.6.5. Les additions minérales	9
I.6.5.1. Les fumées de silice (EN 13 263-1 etNF P 18-502) :.....	9
I.6.5.2.Domaines d'application(La Norme NFP 18-502)	9
I.7.Caractéristiques des BHP	10
I.7.1.Caractéristique physique.....	10
I.7.1.1.Ouvrabilité	10
I.7.1.2.Porosité	10
I.7.1.3.Perméabilité	10
I.7.2.Propriétés physico-chimiques et mecaniques des BHP.....	11
I.7.2.1.Module d'élasticité :	11
I.7.2.2.Retrait :	11

I.7.2.3.Fluage	11
I.7.2.4.Carbonatation.....	11
I.7.3.Autres propriétés des BHP	12
I.7.3.1.Impérméabilité	12
I.7.3.2. Résistance aux agents agressifs	12
I.7.3.3.Tenueaux attaques gel/dégel	12
I.7.3.4. Migration des ions chlorure	12
I.8.Avantages des BHP	12
I.8.1.A l'état frais	12
I.8.2.A l'état durci.....	13
I.8.3. Autres avantages.....	13
I.9.Domaines d'application	13
I.10. Conclusion	14

CHAPITRE II: Déchets de brique

II.1.Introduction	16
II.2 Définitions	16
II.3. Sources de déchets utilises en génie civil	17
II.3.1. Les déchets de construction et de démolition :	17
II.3.2.Les sous-produits de l'industrie.	18
II.4.Déchets de brique	20
II.4.1.Définition de brique	20
II.4.2.Types de brique	20
II.4.2.1.Selon Leur Utilisation.....	20
II.4.2.2.Selon leur forme	21
II.4.3.Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques	21
II.4. 4. Valorisation des déchets inertes :	22
II.4. 4.1.Réutilisation :	22
II.4. 4.2.Recyclage :	22
II.4.5. Propriétés des bétons des déchets de brique.....	22
II.4.6.Utilisations des bétons des déchets de brique	23
II.4.6.1.Utilisations locales.....	24
II.4.7.Avantages et inconvénients d'utilisation des briques	24
II.4.7.1.Les avantages.....	24
II.4.7.2.Les inconvénients	25

II.4.7.2.1.Changement de température.....	25
II.4.7.2.2.Conditions météorologiques	25
II.4.7.2.3.Temps et cout	25
II.5.Conclusion.....	25

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

III.1.Introduction.....	27
III.2.Sable de dunes de Boussaâda	27
III.2.2.Characteristiques physiques des sables utilisés	27
III 2.3.Masse volumique (absolue)	27
III.2.4.Masse volumique apparente.....	28
III.2.5.Porosité (NF P18-554)	28
III.2.6.Compacité	29
III.2.7.L'indice des vides	29
III.2.8.Equivalent de sable NF P18-598.....	29
III.2.9.Teneur en eau NF P18-555	30
III.2.10.Degré d'absorption d'eau NF P18-555	30
III.2.11.Analyse granulométrique	31
III.2.12.Module de finesse EN 12620.....	31
III.3.Gravier	32
III.3.1.Gravier concassé	32
III.3.1.1.Classes granulaires	32
III.3.2.Characteristiques physiques du gravier utilisé.....	32
III.3.2.1.masse volumique apparente	32
III.3.2.2.masse volumique absolue.....	32
III.3.3.Porosité, compacité et indice des vides.....	33
III.3.4.Degré d'absorption d'eau	33
III.3.5.Analyse granulométrique	34
III.3.6.Les caractéristiques mécaniques des gravier utilisés	35
III.3.7.essai de résistance au choc (essai Los Angeles) NFP18-573.....	35
III.3.8.Essai micro-deval (NF P 18-576)	36
III.4.Ciment :	36
III.4.1. Analyses chimiques et minéralogique du ciment utilisé[54] :	36
III.4.1.1.Analyseschimiques.....	37
III.4.1.2. Composition minéralogique	37

III.4.1.3.Propriétés physiques.....	37
III.4.1.4.temps de prise A 20° (NA 230).....	37
III.4.1.5.Résistance A La Compression	38
III.5.L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAPLAST SP 40 [55]	38
III.5.1.Description	38
III.5.2.Dosage.....	38
III.5.3.Caractéristiques.....	38
III.6. L'eau de gâchage NF EN 1008	38
III.7.Conclusion	39

CHAPITRE IV : Analyse et discussion des résultats

IV.1.Introduction	41
IV.2.Formulation du béton	41
IV.2.1.Donnée de base	41
IV.2.2.Calcul de mélange.....	41
IV.2.3.Résultats de mélange	43
IV.2.4.Programme des essais	43
IV.2.4.1.Gâchage et malaxage	43
IV.2.4.2.Forme des éprouvettes	44
IV.2.4.3.Remplissage et vibration.....	44
IV.2.4.4.Surfaçage des éprouvettes.....	45
IV.2.4.5.Conservation des éprouvettes	45
IV.3.ETUDE DE BETON	46
IV.3.Discussion des résultats et analyse.....	46
IV.3.1.Etat frais.....	46
IV.3.1.1.Ouvrabilité	46
IV.3.1.2.Masse volumique	46
IV.3.2.Etat durci.....	50
IV.3.2.1.Masse volumique	50
IV.3.2.2.Résistance en compression	54
IV.3.2.3.Résistance en traction par flexion.....	58
IV.3.2.4.La porosité	62
IV.4. CONCLUSION.....	64
CONCLUSION GENERALEETPERSPECTIVES	65

Liste Des Figures

CHAPITRE III: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

Figure III.1 : détermination de la masse volumique absolue d'un matériau[site internet] .	27
Figure III.2 : l'essai l'équivalent de sable [site internet].....	30
Figure III.3 : les courbes granulométrique des sable et graviers 3/8 et 8/16mm	35

CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Figure IV.1 : Malaxeur	40
Figure IV.2 : Les éprouvettes utilisées	41
Figure IV.3 : Table de vibration	41
Figure IV.4 : Traitement de surface sur les moules	42
Figure IV.5 : Les différentes conservations des éprouvettes	42
Figure IV.6 : Variation de quantité d'eau utilisée	43
Figure IV.7 : Variation de quantité d'eau utilisée du BHP20.....	44
Figure IV.8 : Variation de quantité d'eau ajoutée du BHP.....	44
Figure IV.9 : Variation de la masse volumique à l'état frais	45
Figure IV.10 : Variation de la masse volumique du BHP20 à l'état frais	46
Figure IV.11 : Variation de la masse volumique du BHP à l'état frais	46
Figure IV.12 : Variation de la masse volumique après 7j dans l'eau	47
Figure IV.13 : Variation de la masse volumique après 28j dans l'eau	48
Figure IV.14 : Variation de la masse volumique dans l'eau après 7j et 28j	48
Figure IV.15 : Variation de la masse volumique du BHP20	49
Figure IV.16 : Variation de la masse volumique du BHP	50
Figure IV.17 : Evolution de la résistance de compression à 7j dans l'eau	51
Figure IV.18 : Evolution de la résistance de compression à 28j dans l'eau	52
Figure IV.19 : Evolution de la résistance de compression à 7j et 28j dans l'eau	52
Figure IV.20 : Evolution de la résistance de compression du BHP20	53
Figure IV.21 : Evolution de la résistance de compression du BHP	54
Figure IV.22 : Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j dans l'eau	55
Figure IV.23 : Evolution de la résistance en traction par flexion à 28j dans l'eau	56
Figure IV.24 : Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j et 28j dans l'eau	56
Figure IV.25 : Evolution de la résistance en traction par flexion du BHP20	57

Figure IV.26 : Evolution de la résistance en traction par flexion du BHP	58
Figure IV.27 : Variation de la porosité du BHP	59
Figure IV.28 : Evolution de la résistance de compression avec la porosité	60

Liste Des Tableaux

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE BHP

Tableau I.1: Les Différentes Classes De BHP.....	02
--	----

CHAPITRE II : DECHET DE BRIQUE

Tableau II.2: Composition Chimique De La Brique Réfractaire	19
---	----

CHAPITRE III: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

Tableau III.03 : Masse volumique absolue du sable Boussaâda.....	28
--	----

Tableau III.04 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda.....	28
---	----

Tableau III.05 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de Boussaâda	29
---	----

Tableau III.06 : Equivalent du sable de Boussaâda	29
---	----

Tableau III.07 : Teneur en eau du sable de Boussaâda	30
--	----

Tableau III.08 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda	31
---	----

Tableau III.09 : Analyse granulométrique du sable Boussaâda.....	31
--	----

Tableau III.10 : Masse volumique apparente du Gravier.....	32
--	----

Tableau III.11 : Masse volumique absolue du Gravier	33
---	----

Tableau III.12 : Porosité, compacité et indice des Vides.....	33
---	----

Tableau III.13 : Degré d'absorption d'eau du gravier.....	33
---	----

Tableau III.14 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	34
--	----

Tableau III.15 : Analyse granulométrique du gravier 8/16.....	34
---	----

Tableau III.16 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....	35
--	----

Tableau III.17 : Classification des roches en fonction du coefficient LA	36
--	----

Tableau III.18 : Micro deval	36
------------------------------------	----

Tableau III.19 : Composition chimique de ciment.....	37
--	----

Tableau III.20 : Composition minéralogique de ciment	37
--	----

Tableau III.21 : Propriétés physiques de ciment	37
---	----

Tableau III.22 : Temps de prise a 20° C de ciment.....	37
--	----

Tableau III.23 : Résistance a la compression de ciment	38
--	----

CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Tableau. IV.24 : Résultats de formulation de béton BHP	40
--	----

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton à haute performance est perçu comme un nouveau type de béton dont les propriétés, et les possibilités d'applications ne cessent de se répondre à la fois en volume et en diversité.

L'importance et l'utilisation du béton à hautes performances est très vaste ; elle recouvre tous les aspects qui lui rend différent du béton traditionnel, c-à-d des changements relatifs tant aux constituants, à la composition, et à la mise en oeuvre qu'aux propriétés, il ait été surtout utilisé dans des applications mettant en valeur leur résistance élevée, il est inévitable que, dans un avenir très proche, le BHP sera de plus en plus utilisé pour sa durabilité plutôt que pour sa résistance.

De ce fait il peut être le réceptacle de différents sous-produits (déchets) qui peuvent être « engloutis » en son sein contribuant ainsi à l'action environnementale devenue un enjeu majeur mobilisant la communauté internationale dans son ensemble.

Les déchets qui autrefois ne suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude, ont commencé à constituer un problème économique et écologique. Les quantités énormes des déchets qui sont générées sans cesse immobilisent de plus en plus de grandes surfaces pour le stockage et réduisent ainsi les disponibilités des terrains sans compter la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

La protection de l'environnement est une préoccupation majeure qui se traduit, dans le domaine du génie civil, par la recherche de nouveaux procédés de construction ou de nouveaux produits à faibles impacts environnementaux .Si, par ailleurs, ces écoproduits amélioreraient les propriétés d'usage des bétons actuels ou diminueraient la sinistralité, leur développement devrait requérir plus d'intérêt.

La production des granulats recyclés répond au besoin d'une source de granulats et à la réduction des volumes de déchets. Parmi ces derniers, la brique rouge qui peut être broyée et utilisés comme une addition cimentaire pour la fabrication du béton à haute performance.

L'une des applications envisageable est sa valorisation dans la fabrication des ciments et des bétons, Le recyclage de brique dans le domaine des matériaux de construction apparait être une nouvelle alternative comme réutilisation de brique.

Ce travail est une contribution d'utiliser ce genre de déchet (brique rouge) à différentes proportions dans la confection d'un béton à haute performance.

Le mémoire est structuré en deux grandes parties : une recherche bibliographique et une étude expérimentale.

La première partie qui est destinée à la recherche bibliographique, se divise en deux chapitres qui suivent :

INTRODUCTION GENERALE

Le premier est consacré à une étude sur le béton à haute performance, sa définition, ses différents types, ses constituants, ses propriétés, ainsi que ses avantages et ses domaines d'application.

Une partie sur les déchets, leurs définitions, origines, différents types, classification ainsi que les propriétés des bétons à base de déchet de brique ,leur avantages et inconvénients , on s'est limité dans le cadre du présent travail sur la valorisation de déchets de brique pour la fabrication du béton à haute performance étudié fait l'objet du deuxième chapitre.

La deuxième partie est dédiée à l'étude expérimentale ainsi qu'aux interprétations des résultats trouvés. Elle est présentée par les deux chapitres qui suivent :

Le troisième chapitre englobe l'identification des granulats, leurs origines et leurs caractéristiques générales, ainsi que la présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiées.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'ouvrabilité du béton en utilisant le cône d'Abrams et la masse volumique. Puis, des essais destructifs de compression, de traction par flexion, et des essais non destructifs tels que l'ultrason effectués sur des éprouvettes à l'âge de 7 et 28 jours. Les essais ont été effectués au niveau de laboratoire de génie civil de m'sila .

Enfin, le dernier chapitre présente les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur le béton frais et durci, suivis par des discussions et des interprétations.

Une conclusion clos ce travail en mettant l'accent sur les différents aspects de la problématique posée et en ouvrant des perspectives éventuelles sur le domaine de recherche investi.

CHAPITRE I :
GENERALITE
SUR LE BHP

I.1.Introduction

On appelle un Béton à Hautes Performances (BHP), les bétons hydrauliques ordinaire (sable + eau + graviers + ciment) auxquels on rajoute des adjuvants (fluidifiant et éventuellement des ultra fines) pour augmenter leur performances, dont la résistance, qui doit dépasser les 50MPa à 28 jours [01]. Cependant, la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des BHP, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

Le BHP apporte en outre des avantages multiples par rapport au béton ordinaire citons, à titre d'exemple :

- ❖ La maniabilité est accrue sans risque de ségrégation lors de la mise en œuvre ;
- ❖ La durabilité des structures est améliorée par la forte compacité du béton avec une perméabilité à l'air et à l'eau réduite, une résistance aux agressions et une meilleure résistance à l'alcali-réaction, une plus grande résistance à l'abrasion et une meilleure tenue aux cycles de gel/dégel ;
- ❖ Il permet de concevoir des structures plus minces grâce à l'augmentation des caractéristiques mécaniques (compression, traction, module d'élasticité) tant au jeune âge qu'à terme ;

Cependant, les propriétés améliorées des BHP ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées concernant :

- ❖ Les granulats doivent être de bonne qualité, la résistance du béton pouvant être limitée par celle des granulats eux-mêmes ;
- ❖ L'emploi d'adjuvants spécifiques, notamment des superplastifiant réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tel que la cendre volante, le laitier du haut fourneau, la fumée de silice... Etc ;
- ❖ L'emploi de ciments de classe élevée à des dosages compris entre 400 et 550 kg/m³. Ces dernières années ont vu l'utilisation de bétons de résistance en compression de plus en plus élevée pouvant aller de 50MPa jusqu'à 400MPa et même de 800MPa en utilisant des traitements thermiques et mécaniques appropriés et des produits spéciaux comme la poudre métallique [02]. De telles résistances élevées ont donné une nouvelle classification de bétons, ils sont actuellement appelés bétons à haute résistance (BHR), bétons à hautes performances (BHP), bétons à très hautes performances (BTHP), bétons à poudres réactives (BPR), et bétons fibrés ultra performants (BFUP) ;

I.2.Définition de BHP

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) se caractérisent par :

- ❖ Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPa ;
- ❖ Un rapport Eau efficace/liant équivalent inférieur à 0,4 [03] ;

Haute performance signifient aussi facilité de mise en oeuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages .En effet ,les BHP offrent aussi des résistances exceptionnelles à l'état frais (rhéologie, pompabilité, ect)et des performances aux jeunes ages,ce qui permet par exemple d'accélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier ou de pomper le matériau sur de longues distances.Ils confèrent une pérennitéarchitecturale aux ouvrages et augmentent considérablement leur durabilité en réduisant corrélativement les frais de maintenance et d'entretien[04].

Les BHP sont également, du fait de leur porosité extrêmes réduite, plus résistants aux agents agressifs et de façon générale, présentent une durabilité accrue. Ils permettent d'optimiser les structures, de réaliser des ouvrages soumis à des contraintes élevées ou subissant un environnement sévère (climat, agressions marines, effets du gel, attaques acides, etc... [05].

I.3.Durabilitéde BHP

Etant donné la structure plus dense des pores du béton de hautes performances, cematériau affiche un meilleur comportement face aux mécanismes d'agression. La plupart des processus de dégradation sont en effet causés par l'entrée de substances agressives, telles que des chlorures, du dioxyde de carbone, des acides,...etc. Si la pénétration de ces substances dans le béton est entravée, comme dans le cas du BHP, les processus de dégradation y afférant ne pourront bien évidemment se produire que bien plus tard. Quoi qu'il en soit, il convient toujours de veiller à la pureté des éléments constitutifs du béton, afin d'éviter toute agression par des mécanismes internes (présence de sulfates, d'alcalis, de granulats réactifs, ...etc) [06].

I.4. Différents classes de BHP

La division des BHP en cinq classes n'est pas aussi arbitraire qu'elle peut le paraitre à première vue, mais elle dérive plutôt de l'état actuel des connaissances. Les BHP sont divisés en cinq grandes catégories correspondant chacun à une plage de résistance de 25 MPA [07].

Le tableau suivante les défèrent classes du classes du BHP :

Tableau I.1les différentes classes de BHP.

Rc (MPa)	50	75	100	125	150
Classe des BHP	Classes I	Classes II	Classes III	Classes V I	Classes V

I.5.Méthodes de formulation des BHP

I.5.1. Méthode de Dreux – gorisse

La méthode de G. Dreux et L. Gorisse (1970) rassemble les différentes méthodes de l'époque (Valette, Faury, Joisel, etc.) et en déduit une méthode pratique et simplifiée

laformulation adaptée aux matériaux utilisés même actuellement, notamment les BHP avec quelques ajustements propres .Cette méthode est basée sur l'obtention d'une courbe granulométrique continue permettant de produire un squelette granulaire le plus dense possible, et d'optimiser le dosage en ciment et en eau des bétons ordinaires[08].

La courbe granulaire de référence est exprimée en échelle semi-logarithmique (échelle des analyses granulométriques), et le point de brisure est défini par :

- ❖ Son abscisse : $D_{\max}/2$ si $D_{\max} < 25$ mm et $(D_{\max}-5\text{mm})/2$ si $D_{\max} > 25$ mm, et son ordonnée : $Y = 50 - D_{\max} + K + Ks$.

Avec K un terme correcteur d'arrangement granulaire prenant en compte le dosage en fines (Ciment et fillers), l'angularité des granulats et la puissance de serrage ; Ks une fonction du module de finesse du sable [08].

I.5.2. Méthode debaron – lesage

L'approche classique adoptée en France est la méthode de Baron - Lesage tirée de l'expérimentation et développée au LCPC dans les années 1980.

Cette méthode pratique est basée sur des essais au maniabilimètre LCPC et permet avec cet outil de déterminer la maniabilité maximale du béton en fonction du rapport sable sur gravillons (S/G). Elle a l'avantage de mener à des bétons qui présentent des risques de ségrégation minimaux [08].

La théorie de Baron - Lesage est fondée sur les hypothèses suivantes qui ont été vérifiées par l'expérience (Rossi, 1998) :

- ❖ Pour un rapport E/C fixé, le béton le plus maniable est celui dont le squelette granulaire est le plus compact ;
- ❖ Le rapport S/G correspondant à cet optimum de compacité est indépendant de la quantité de pâte de ciment [08] ;

I.5.3. Méthode de LARRAD

Les modèles théoriques présentent l'intérêt majeur de réduire le nombre de gâchées effectuées au laboratoire. Le Modèle d'Empilement Compressible MEC a été développé par Sedran et de Larrard. L'avantage de ce modèle est qu'il décrit mathématiquement un empilement granulaire en prenant en compte le squelette granulaire dans son ensemble, depuis les particules micrométriques jusqu'aux particules centimétriques, tout en s'appuyant sur les notions de compacités virtuelles. Il vise à prévoir la compacité d'un mélange à plusieurs classes granulaires, à partir des caractéristiques des grains qui le composent (forme, distribution granulaire, compacités des tranches mono-dimensionnelles) et pour une énergie de mise en place de l'empilement granulaire décrite par un indice représentatif de son degré de serrage, traduisant l'énergie fournie pendant la mise en place. Cette méthode d'optimisation a l'avantage de prendre en considération la granulométrie des particules, leur forme et l'interaction entre les grains. Ce modèle a été utilisé avec succès pour la formulation de mélange de béton ordinaire, à haute performance et auto nivelant. Le logiciel René-LCPC

a été développé à la suite de ce travail et programme le MEC sur la base de l'optimisation granulaire. Il prédit la viscosité plastique, le seuil de cisaillement, l'affaissement au cône et différentes propriétés du béton (résistance, déformations différées, *etc.*) à partir de sa composition et du modèle granulaire. Cela permet d'évaluer l'importance d'un paramètre de formulation sur la performance du béton [08].

I.5.4. La méthode de sherbrooke:

La méthode de formulation développée à l'université de Sherbrooke permet de formuler un BHP sans air entrainé ; elle peut être aussi utilisée pour formuler un BHP à air entrainé à condition de tenir compte de la réduction de la résistance à la compression due à la présence du réseau des bulles d'air contenus dans le béton [09].

Cette méthodes très simple suite la même approche que la norme ACI 211-I. il s'agit d'une combinaison des résultats empiriques et de calcul basée sur la méthode des volumes absolus. La quantité d'eau contenue dans le super plastifiant est considérée comme faisant partie de la quantité d'eau de gâchage [09].

La procédure de formulation commence par le choix de cinq caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés :[09]

- 1) Le rapport eau/liant ;
- 2) Le dosage en eau ;
- 3) Le dosage en super plastifiant ;
- 4) Le dosage en gros granulats ;
- 5) La teneur en air ;

I.6.Choix des matériaux pour les BHP

I.6.1 Le ciments:

I.6.1.1 Définition:

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un pratiquement insoluble dans l'eau [10].

I.6.1.2 Produits de l'hydratation du ciment

Ce paragraphe présente les principaux composés produit par l'hydratation du ciment les plus important vis à vis de la microstructure et des propriétés mécaniques du béton.

L'hydratation des composés bi et tricalcique donne le gel tobermoritique et la portlandite. Le gel tobermoritique est un composé appartenant à la famille des silicates de calcium hydratés $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (ou C-S-H).

Comportement mécanique des BHP sous sollicitations multiaxiales ce composé représente environ 50 à 70% du volume de la pâte de ciment hydratée. C'est de lui dont dépendent les caractéristiques mécaniques du matériau. La portlandite (Ca(OH)_2) n'a pas un

rôle primordial en ce qui concerne la résistance mécanique ; elle n'a d'influence que sur la durabilité. Elle cristallise en plaquettes hexagonales empilées entre les grains de ciments.

On la retrouve en forte quantité dans l'auréole de transition ou en bordure de bulles d'air. L'hydratation du C_3A en présence de gypse forme de l'Ettringite primaire, ce composé joue le rôle de régulateur de l'hydratation du C_3A en évitant la précipitation des aluminates[11].

I.6.2 Les granulats

Les granulats utilisés pour la formulation du béton sont généralement d'origine naturelle et proviennent essentiellement de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques (quartz et quartzites), ou de roches éruptives (basaltes, les granites, porphyres). Indépendamment de leur nature, les granulats peuvent être alluvionnaires (granulats roulés) ou de carrières (granulats concassés). Dans les bétons, les granulats utilisés doivent avoir une bonne résistance mécanique et leur courbe granulométrique doit être optimisée afin de remplir le plus grand nombre de vides dans le béton [LE 2011][12].

I.6.3 L'eau

Elle doit conformer à la norme NF P 18-303. Le « gâchage » est l'opération irréversible de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C du mélange.

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton).

Ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables[13].

I.6.4 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 EN934-2** définissent les différents types d'adjuvants.

I.6.4.1 Les superplastifiants :

Les superplastifiants ont la propriété de défloculer les particules fines et les grains de ciment et d'améliorer leur répartition dans la matrice cimentaire. Ils permettent aussi de supprimer le seuil de cisaillement dans la pâte de ciment à l'état frais. Ainsi, les BHP bien qu'ayant un aspect visqueux et collant s'écoulent facilement. Ils sont en général dosés entre 1 et 3 % de la masse de ciment.

Il convient, lors de l'étude de formulation, de vérifier la comptabilité entre le ciment et les adjuvants afin de conserver une ouvrabilité satisfaisante pendant toute la durée de mise en place du béton[14].

I.6.4.2. Domaines d'utilisation de super plastifiants

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants:[14]

- ❖ Bétons à compacité, et donc durabilité ;
- ❖ Bétons à haute performance ;
- ❖ Bétons autoplaçants ;

I.6.5. Les additions minérales

Différentes additions minérales peuvent être ajoutées au béton, substituant ou non une partie du ciment, afin d'améliorer certaines de ses propriétés ou de lui conférer des propriétés particulières. Ce sont des matériaux finement divisés parmi les quelles nous citons les fillers, la fumée de silice, les cendres volantes et le laitier de haut fourneau qui proviennent principalement de l'industrie. Ces fines présentent plusieurs avantages dans l'industrie et la formulation des bétons [15].

I.6.5.1. Les fumées de silice (EN 13 263-1 etNF 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'électrométallurgie du silicium et de se salliages.

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 dontcertains 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 safabrication. Leurs caractéristiques physico-chimiques peuvent être assez dispersées, nonseulement 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.

I.6.5.2.Domaines d'application(La Norme NFP 18-502)

- ❖ Bétons à hautes performances ;
- ❖ Autoroutes, pistes d'aéroport ;
- ❖ Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques ;
- ❖ Bétons très sollicités ;
- ❖ Bétons soumis aux impacts et aux chocs ;
- ❖ Bétons soumis à des milieux agressifs ;
- ❖ Sols industriels ;
- ❖ Silos ;

I.7.Caractéristiques des BHP

I.7.1.Caractéristique physique

I.7.1.1.Ouvrabilité

La maniabilité (ouvrabilité) peut se définir comme la facilité de mise en place du béton sans malfaçon. L'ouvrabilité n'est pas une grandeur physique mesurable, elle est la résultante de plusieurs facteurs. Il existe de nombreux essais et tests. Le test appliqué ici est celui de l'affaissement au cône d'Abrams (NF P 18-541)[16].

I.7.1.2.Porosité

Quand les silicates anhydres des grains de ciment entrent en contact avec l'eau, leurhydratation commence toujours par une mise en solution. En d'autres termes, la phase liquide se sature avec différents ions qui se combinent ensuite pour former les différents produitsd'hydratation qui occupent progressivement une partie de l'espace initialement rempli d'eau.Au fur et à mesure que l'hydratation se développe et que la taille des pores capillairesdiminue, les mouvements de l'eau dans le système deviennent de plus en plus difficiles, si bien que l'hydratation des grosses particules de ciment se fait plutôt par diffusion.

Quel que soit l'instant durant la réaction d'hydratation, les espaces non remplis par desproduits solides (hydrates et particules de ciment anhydre) pourront être considérés comme des vides ou des pores capillaires [17].Les dimensions et le volume des pores capillaires sont les principaux paramètres quirégissent les propriétés physiques et mécaniques du béton.

La porosité est essentiellement fonction du rapport E/C du béton. Il a été démontré quepour un béton donné, la seule réduction du rapport E/C de 0,5 à 0,22, réduit d'un facteur 3 levolume total des pores capillaires.

L'ajout de laitier ou de cendres volantes ne modifie pas la porosité totale mais conduit àune diminution générale de la dimension des pores[18].L'adjonction d'ultrafins et en particulier de fumée de silice se traduit par une réduction dela porosité et par une diminution caractéristique des pores.

I.7.1.3.Perméabilité

La perméabilité est caractérisé par la valeur de débit de transport de fluides et des gaz(eau, chlorures, sulfates, oxygène,...) à travers des pores capillaires et des fissures du béton [20].

A cause de leur très grande compacité, les BHP sont imperméable. On peut s'en rendre compte de ce fait lorsqu'on brise des échantillons de béton conservées pendant un an dans l'eau,on constate que le cour de l'éprouvette est absolument sec. Cette imperméabilité peuts'expliquer aussi par la présence de très nombreuses particules de ciment non hydratées avides d'eau qui arrivent à stopper la progression de l'eau vers l'intérieurs du béton tout en le rendant encore plus imperméable [19].

I.7.2. Propriétés physico-chimiques et mécaniques des BHP

I.7.2.1. Module d'élasticité

Le module d'élasticité des BHP est supérieur à celui des bétons traditionnels [19].

Les règles BAEL fournissent une expression qui permet d'évaluer la valeur du module E_i , en fonction de la résistance à la compression par la formule:

$$E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3}$$

I.7.2.2. Retrait

Le retrait total du BHP est globalement identique à celui d'un béton traditionnel mais avec une cinétique différente (il se produit plus tôt et se développe principalement pendant les premiers jours après le coulage). Le retrait de dessiccation à l'état durci est plus faible compte tenu du faible dosage en eau. Le retrait endogène (ou d'autodessiccation), compte tenu de la finesse de la microstructure et de la forte réduction du rapport E/C, est d'un coefficient plus élevé (150 à 250 x 10⁻⁶) pour un BHP que pour un béton traditionnel (60 x 10⁻⁶). Le retrait d'autodessiccation est d'autant plus précoce et élevé que le rapport E/C est faible [05].

I.7.2.3. Fluage

La cinétique de fluage propre est très rapide (le fluage est accéléré et se manifeste dès les jeunes âges du béton) et se stabilise plus vite. Le fluage de dessiccation est très faible.

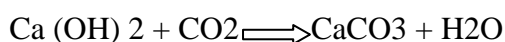
Le fluage est d'autant plus faible que la résistance en compression est plus élevée.

Dans la structure précontrainte, l'utilisation de BHP permet de réduire les pertes de précontrainte associées aux déformations différées du béton. Ce faible fluage permet d'augmenter l'efficacité de la précontrainte et de faciliter le contrôle géométrique des ouvrages.

L'utilisation de BHP avec fumée de silice conduit donc à des réductions de déformations différées et des redistributions d'efforts plus faibles [03].

I.7.2.4. Carbonatation

C'est une réaction entre le gaz carbonique (CO₂) existant soit en phase gazeuse, soit par suite de solubilité dans l'eau (eaux pluviales) avec la chaux (Ca(OH)₂) libérée lors de l'hydratation des silicates bicalcique (C₂S) et tricalcique (C₃S) pour former le carbonate de calcium (CaCO₃) (appelé aussi calcite).



Cette réaction n'est pas en elle-même pathologique et doit être considérée comme une évolution normale du béton. Cependant, elle consomme peu à peu la réserve d'alcalinité du milieu saturé par la chaux, qui a un PH initial compris entre 12 et 13, et évolue vers la neutralité (PH ~ 9). Conséquence, l'alcalinité n'est plus capable de maintenir la passivité du

film d'oxyde. Une telle situation augmente considérablement la vulnérabilité des armatures aux phénomènes de corrosion, en particulier si des facteurs aggravants (sels, chlorures, eaux etc.) se trouvent présents. La carbonatation atmosphérique dégrade les bétons armés et est surtout responsable de la mise à nu de ses armatures en acier. La carbonatation du béton entraîne des problèmes de résistance sur les structures en béton armé. Les barres d'acier, censées garantir cette résistance, gonflent sous l'effet de la corrosion et font éclater le béton d'enrobage, les aciers sont alors mis à nu [19].

I.7.3. Autres propriétés des BHP

Les BHP présentent un fluage (déformation différée sous chargement permanent) plus faible que les bétons traditionnels.

I.7.3.1. Impérméabilité

Leur faible porosité capillaire confère aux BHP une très faible perméabilité [20].

I.7.3.2. Résistance aux agents agressifs

La faible perméabilité des BHP leur confère une bonne résistance à la pénétration et au transfert dans la masse du béton des agents agressifs en phase gazeuse ou liquide (eaux de mer, eaux sulfatées, solutions acides, dioxyde de carbone, etc....) [20].

I.7.3.3. Tenue aux attaques gel/dégel

Les BHP, correctement formulés, résistent aux cycles gel/dégel grâce à leur forte compacité et à leur résistance mécanique élevée [21].

I.7.3.4. Migration des ions chlorure

La résistance des BHP à la migration des ions chlorures est supérieure à celle des bétons courants, grâce à sa microstructure plus dense [20].

I.8. Avantages des BHP

I.8.1. A l'état frais

- ❖ Sa fluidité facilitant la mise en oeuvre, aussi bien sur chantier qu'en usine de préfabrication ;
- ❖ Sa bonne stabilité, garantissant l'absence de ségrégation ;
- ❖ Sa faible viscosité autorisant le pompage sur de longues distances ;
- ❖ Sa résistance élevée au jeune âge favorisant l'optimisation des cycles de décoffrage, de dés étaielement, de mise en oeuvre de la précontrainte éventuelle, de manutention et de transport d'éléments préfabriqués [21].

I.8.2.A l'état durci

- ❖ Sa résistance importante en compression permettant, à conception identique, de diminuer l'encombrement des éléments de structure ou, à sections identiques, d'en accroître les capacités portantes (charges, portées) ;
- ❖ Son module d'élasticité plus élevé réduisant la déformabilité des structures (augmentation de la raideur), en particulier les flèches, et améliorant la stabilité aérodynamique des ouvrages ;
- ❖ Son fluage à la fois plus faible et plus bref, simplifiant l'élaboration des interfaces avec le second oeuvre et permettant la diminution des valeurs de tension initiale de la précontrainte éventuelle ;
- ❖ Sa faible porosité, d'où sa résistance accrue aux actions dues à l'environnement (pluie, eau de mer, eaux sulfatées, chlorures et gel) et donc sa durabilité[21] ;

I.8.3. Autres avantages

- ❖ Amélioration de la durabilité aux environnements agressifs (grande résistance à la pénétration d'agents Agressifs et aux cycles gel/dégel, diminution de la réaction alcali-silice) ;
- ❖ Rapidité de la rotation des coffrages (résistance élevée au jeune âge) ;
- ❖ Diminution des délais de mise en charge des structures (précontrainte accélérée) ;
- ❖ Diminution des sections et des densités de ferrailage et augmentation des portées (Résistance finale élevée) ;
- ❖ Mise en oeuvre facilitée grâce à la fluidité (zones fortement ferraillées, pompage sur grande distance, Amélioration des parements). Cette caractéristique facilite la mise en oeuvre du béton, même dans les zones à densité d'armature élevée ;
- ❖ Élévation du module d'élasticité avec diminution du fluage ;
- ❖ Diminution du retrait pour une limitation des fissures ;
- ❖ Élévation de la résistance à l'abrasion ;
- ❖ Renforcement de l'adhérence acier/béton ;
- ❖ Haute résistance en compression, permettant de réduire les sections des éléments de béton[04] ;
- ❖ Une quantité de ciment élevée supérieure à 350 kg/m^3 ;
- ❖ Un E/C plus faible par l'utilisation de super plastifiants hauts réducteurs d'eau ;
- ❖ Utilisation de fines à effet pouzzolanique (notamment fumées de silice) à environ 10% du poids de ciment ;
- ❖ Optimisation de l'empilement granulaire (moindre porosité)[22] ;

I.9. Domaines d'application

Le béton haute résistance (BHP), qui à une grande durabilité, assure un niveau élevé de performance structurale, par rapport au béton à résistance normale (BRN) utilisé traditionnellement. Auparavant employé pour les ponts, les constructions en mer et les infrastructures, il est de plus en plus utilisé dans les immeubles de grande hauteur, en particulier pour les poteaux. Sa plus grande résistance à la compression permet de réaliser des poteaux de diamètre réduit, ce qui diminue l'encombrement [23].

I.10. Conclusion

Bien que les différentes caractéristiques des BHP offrent plusieurs avantages par rapport aux bétons usuels, il y a encore place à l'amélioration, les BHP, comme tous les autres matériaux, ont encore des points faibles. En outre, il existe et il va toujours exister de nombreux cas où un béton de 20 à 30 MPa sera le béton idéal pour répondre à des besoins particuliers : le développement des BHP n'éliminera pas l'utilisation des bétons usuels.

CHAPITRE II
DÉCHET DE
BRIQUE

II.1.Introduction

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement des déchets. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, des difficultés pour déposer à la décharge et de sous-produits inertes de l'industrie et, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement. Ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication du béton.

L'usage de déchet de brique pour la fabrication du béton est jugé, le niveau bas de recyclage de ce dernier peut être à cause de manque des recherches dans leur application et utilisation en construction des routes. Il faut ajouter que la brique à cause de son mauvais comportement en compression et avoir un haut degré d'absorption d'eau ne peut pas être utilisée facilement dans le béton. Ce genre des déchets est une menace sérieuse pour l'environnement et hygiène des eaux souterraines de surcroît il a un aspect qui frappe désagréablement à l'oeil.

Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, et demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé [24].

II.2 Définitions

Le mot déchet désigne la partie qu'une chose subit dans son volume, sa valeur ou dans quelque-une de ses qualités. il est synonyme de résidu rejeté parce qu'il n'est plus utilisable ou consommable, parce qu'il n'a plus de valeur [25].

Plusieurs définitions des déchets ont été proposées, ces dernières années. Le terme « déchet » désigne :

Un déchet est la quantité perdue dans l'usage d'un produit .ce qui en reste après son utilisation [26].

Selon l'article N°1 de la loi Française N° 75-633 du 15 juillet 1975,tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [27].

Et selon l'article N°3 de la loi Algérienne N° 01-19 du 12 décembre 2001,tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [28].

II.3. Sources de déchets utilisés en génie civil

Deux principales sources de production de déchets utilisés dans le domaine de génie civil qu'on les rencontre généralement .les déchets de construction et de démolition (C & D) et les sous-produits de l'industrie.

II.3.1. Les déchets de construction et de démolition :

Les déchets de construction et de démolition représenteraient approximativement 30% de l'ensemble des déchets (en tonnes par an), générés par la Région. La partie majoritaire de cet important gisement de déchets est produite durant les travaux ; une petite partie du gisement est constituée de matériaux neufs non-utilisés. La nature des déchets produits varie fortement en fonction du type de travaux ou de bâtiment. Il s'agit majoritairement de déchets inertes. 75 à 80% des déchets de construction et de démolition seraient recyclés, essentiellement sous forme de remblais [29].

En Algérie, les déchets de construction et de démolition, qui sont généralement classés parmi les déchets industriels, restent inconnus et sont estimés approximativement à des millions de tonnes par an et selon l'étude réalisée par Bedjou, les déchets issus du bâtiment sont estimés à 2,2 millions de tonnes par an[30].

L'emploi de ces matériaux, aujourd'hui envisagé après leur dépollution et leur recyclage, a très vite été considéré comme une priorité, car cela présente au moins trois avantages majeurs que sont les économies de :

- ❖ Décharges (volume de stockage des déchets inertes) ;
- ❖ C (ressources naturelles de granulats) ;
- ❖ Transport ;

Dans notre contexte des Travaux Publics, les matériaux proviennent essentiellement de la démolition de bâtiments d'habitation ou industriels, d'ouvrages en béton, de chaussées.

Les catégories comportant, ou pouvant présenter le danger de contenir des éléments susceptibles d'engendrer des désordres sur nos ouvrages (plâtres pouvant créer des phénomènes de gonflements, par exemple), ne sont pas systématiquement valorisés par les entreprises de Travaux Publics[30].

Le recyclage des matériaux de démolition qui nécessite des installations onéreuses, est essentiellement effectué dans le but de les substituer aux matériaux naturels pour la fourniture des granulats, ou graves utilisables dans les techniques :

- ❖ De terrassement ;
- ❖ Routières ;
- ❖ Ferroviaires ;
- ❖ Aéroportuaires ;
- ❖ De plate-forme industrielles, etc... ;

Le recyclage des matériaux de démolition est donc utilisé pour pallier des pénuries de matériaux naturels, notamment pour des travaux à proximité ou dans les grandes agglomérations. De ce fait, les unités de fabrication sont, elles aussi, essentiellement localisées autour des grandes villes, ou à proximité de pôles industriels.

II.3.2. Les sous-produits de l'industrie.

L'industrie constitue la source principale de sous-produits et de déchets utilisés dans le domaine de génie civil. Des quantités énormes qui se produisent sans cesse et qui augmentent toujours, des grandes surfaces de terrain immobilisées par les déchets stockés et de la réduction des disponibilités de terrain, ainsi que de la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

Le génie civil se considère comme un domaine d'utilisation des déchets industriels, a une importance pratique et économique immédiate, car de nombreux produits secondaires et déchets résiduels peuvent remplacer des matières premières naturelles ainsi qu'une large gamme de matériaux de construction [31].

Parmi les sous-produits et déchets utilisés en génie civil :

❖ Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «laitier expansé».

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant [32]. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

La quantité de laitier expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m³.

❖ Laitier d'acier

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

❖ **Sous-produits provenant des centrales thermiques**

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de «mâchefer». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées «cendres volantes». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [29].

❖ **Mâchefer**

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

❖ **Scories de sole**

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton [32].

❖ **Cendres volantes**

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granules légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

À l'origine, les cendres volantes étaient mélangées avec de l'eau et transformées en boulettes soit dans un tambour ou un cône rotatif, soit par extrusion. L'addition d'une faible quantité d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré.

Cet aggloméré est ensuite brisé en boulettes. Les bétons qui contiennent de tels granules ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40 MN/m² et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger [32].

❖ La terre cuite

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers (En effet, ceux sont) l'argile cuite (chamotte) non moulée, l'argile cuite, les briques concassées, les surcuits et les incuits de briqueteries, ainsi que les débris de briques contenus dans les déchets de démolition et les décombres, qui sont désignés sous le nom collectif de (débris de terre cuite).

II.4. Déchets de brique

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universelle de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est presque négligeable.

On appelle « *briquillons* » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites).

On appelle « *chamotte* » : brique cuite broyée ou concassée [28].

II.4.1. Définition de brique

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable.

II.4.2. Types de brique

II.4.2.1. Selon Leur Utilisation

❖ Face brique

Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Ils sont les briques les plus visibles, de sorte qu'ils sont de meilleure qualité et plus durables. Découper Fil briques sont un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturée, puis coupées par fil. Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures [34].

❖ Briques de construction

Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Elles sont faites d'argile, et cuites dans des fours pour les rendre dur et fort. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres surfaces, et non pour les extérieurs, afin qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durables [34].

❖ Briques vernissées

Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement encéramique). Le regard glacé provient de la fusion de différents minéraux et des ingrédients lorsque les briques sont brûler ou cuits. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaires est très essentiel [34].

II.4.2.2. Selon leur forme

❖ Briques pleines

La brique pleine ordinaire a le format 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur). Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), elle présente une gamme de teintes très variée. Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux [34].

❖ Briques perforées et blocs perfores

La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression (les perforations sont disposées verticalement à l'intérieur du mur) et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément [34].

❖ Briques creuses

Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, permettent la réalisation de murs spécialement isolants. Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. En revanche, leur résistance à la compression est très faible. Cette maçonnerie reçoit généralement un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments [34].

On distingue deux désignations de brique creuse :

- ❖ C : briques à faces de pose continues, montées à joints de mortier horizontaux continus ;
- ❖ RJ : brique à rupture de joint, afin d'améliorer le comportement thermique du mur ;

II.4.3. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques

Après avoir broyé les briques réfractaire, nous avons déterminé leur composition chimique par spectrophotomètre de fluorescence X. Nous avons obtenu les résultats exposés dans le tableau (II.1) [35].

Tableau II.2: composition chimique de la brique réfractaire [32].

Composition chimique%	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	PAF
Brique réfractaire	1.42	1.35	30.71	55.2	0.3	00	1.59	1.39	3.85	2.92

Interprétation:

Nous remarquons que les compositions principaux des briques réfractaires sont les alumines et silice, mais aussi des composés présents en plus faible quantité et considérés comme des impuretés.

II.4. 4. Valorisation des déchets inertes :

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique. Elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière [36].

II.4. 4.1. Réutilisation :

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques.

Lors de travaux de construction, le béton pré-mélangé en excès peut être utilisé dans la fabrication de bordures de terrains de stationnement, de jardinières ou dans l'aménagement paysager [37].

II.4. 4.2. Recyclage :

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse [36].

La brique, le béton et le mortier peuvent être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de la construction [37].

II.4.5. Propriétés des bétons des déchets de brique

Les briques concassées sont utilisées largement pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante [38]. Et l'usage de briques comme granulats est d'intérêt particulier [39].

Selon Akhtaruzzaman et Hasnat [38], Les résultats des essais du béton de granulats de brique sont favorablement comparables avec ceux du béton normal, obtenus par l'ACI.

Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton de granulats de brique [38]. Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de déchet brique, résultantes des essais et des recherches sont :

- ❖ L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton. Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulats avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulats pendant 30 min [41] ;
- ❖ La masse volumique apparente du béton de déchet brique varie de 2000 à 2080 kg/m³. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal [38] ;
- ❖ La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulats normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de déchet de brique [41] ;
- ❖ La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 MPa [38] ;
- ❖ L'utilisation du granulats grossier de déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal [41] ;
- ❖ Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal [38] ;
- ❖ Le béton contenant des granulats de déchet brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut savoir corrosion et efflorescence dans le béton [42] ;

II.4.6. Utilisations des bétons des déchets de brique

Les débris de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

- ❖ De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m³, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm², présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas ;
- ❖ Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg/m³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm², une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm², des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm/m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur (Z environ 0,25 kcal/m⁰c pour 1050 kg/m³) ;
- ❖ mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de débris de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée [40] ;

- ❖ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations demurs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage [43] ;

Le béton de débris de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité [40].

- ❖ Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager [44] ;

Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu [42]. Les bétons classiques, confectionnés avec des ciments, courants, en général, ne résistent pas à des températures supérieures à 300 °C [47].

II.4.6.1. Utilisations locales

À nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée en mélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation. Par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative.

Des tas de débris de brique gênants dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries :

- ❖ Plates-formes en béton ;
- ❖ Chapes en mortier de ciment ;
- ❖ Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture ;
- ❖ Réfection de planchers anciens ;
- ❖ Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique ;
- ❖ Remblaiement des fouilles et de site [47] ;

II.4.7. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques

II.4.7.1. Les avantages

Le principal avantage de la brique, outre son esthétique valorisante, est que sa masse thermique se convertit en efficacité énergétique. Elle est adaptée à la rudesse du climat et possède d'autres caractéristiques intéressantes, notamment :

- ❖ elle ne contient aucun produit toxique ;
- ❖ c'est un bon insonorisant ;
- ❖ elle est recyclable ;
- ❖ elle résiste au feu et aux écarts climatiques ;
- ❖ écologique, elle peut être employée dans la construction de maisons passives ;

La simplicité de sa fabrication fait retrouver à la brique un intérêt chez les amateurs de nouveautés et de recherche de performance énergétique [48].

II.4.7.2. Les inconvénients [49]

II.4.7.2.1. Changement de température

- ❖ Bois et métal peuvent étendre et contracter pour tenir compte des changements de température qui se produisent dans certaines régions du pays ;
- ❖ Brick est incapable de soutenir des années de changements extrêmes de température et peut commencer à se fissurer ;
- ❖ La neige et l'eau peuvent pénétrer dans les pores de brique et de mortier puis développe quand il gèle ;
- ❖ Cela provoque une rupture progressive de la brique qui nécessitera le remplacement au fil du temps ;

II.4.7.2.2. Conditions météorologiques

- ❖ Construire une maison en briques peut prendre plus longtemps que la plupart des autres matériaux de construction parce que la brique ne peut pas être posée en cas de mauvais temps ;
- ❖ Une maison de briques nécessite une forte attraction entre la brique et le mortier de rester stable pendant de nombreuses années ;
- ❖ La pluie et le froid réduisent de manière significative l'efficacité de mortier et de faire la construction de briques instables ;

II.4.7.2.3. Temps et cout

maisons de briques sont construits à la main, une brique à la fois. La construction d'une maison en briques nécessite plus d'ouvriers qui travaillent de longues heures et qui peut augmenter le prix de la construction.

II.5. Conclusion

Notre recherche dans les déchets, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil, plus particulièrement, comme granulats, ce qui permettrait de réduire d'autant les extractions de granulats tout en prolongeant la vie des décharges qu'ils contribuent actuellement à saturer.

Les déchets inertes donc, peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers de travaux publics ou encore comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique, qui peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable [50].

CHAPITRE III

Caracteristiques Des Materiaux Utilisés

III.1.Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Les matériaux utilisés sont:

- ❖ Le sable fin de la région Boussaâda ;
- ❖ Le gravier 3/8 et 8/16 mm;
- ❖ Le ciment portland composé CRS- CEM-I/A 42.5;
- ❖ L'eau potable du laboratoire (laboratoire de génie civil) ;
- ❖ Super plastifiant avec un dosage 1.5% du poids de ciment ;
- ❖ La fumée de silice 5% du poids de ciment ;
- ❖ Déchets de brique (0/1) ;

III.2.Sable de dunes de Boussaâda

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (Bousaada).

III.2.2.Caracteristiques physiques des sables utilisés

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila.

III 2.3.Masse volumique (absolue)

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu. Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (Absolue) qui répondent aux spécifications de la norme **NF P18-555**.

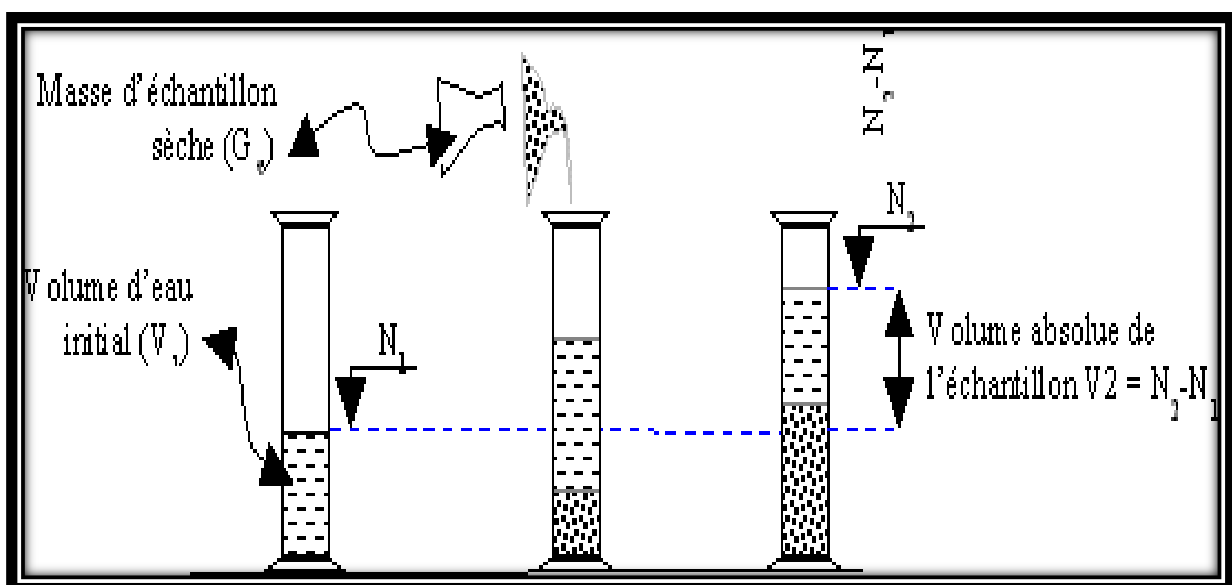


Figure III.1 : détermination de la masse volumique absolue d'un matériau[51]

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.3 : masse volumique absolue du sable Boussaâda

N° d'essai	M ₁ (g)	V ₂ (cm ³)	V(cm ³)	ρ(g / cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	416	300	2.58	2.55
2	300	416	295	2.43	
3	300	416	302	2.64	

- ❖ M₁ : masse du sable ;
- ❖ V₂ : volume d'eau + sable ;

III.2.4.Masse volumique apparente

Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (Apparente) qui répondent aux spécifications de la norme **NF P18-555**.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.4 : masse volumique apparente du sable de Boussaâda.

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app} Moy(g/cm ³)
01	117.4	1404.5	1.430	1.451
02	117.4	1431.8	1.460	
03	117.4	1435.1	1.464	

- ❖ M₁: Masse du récipient vide.
- ❖ M₂: Masse du récipient plus le sable.

III.2.5.Porosité (NF P18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$\rho_{PL}(\%) = 1 - \frac{[\rho_{app}]}{[\rho_{abs}]} \times 100$$

III.2.6. Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule : $c = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - p$

III.2.7. L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

Avec P en pourcent (%). $e = \frac{P}{100-p} = \frac{V_V}{V_S}$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableaux suivants :

Tableau III.5 : la porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de Boussaâda

Porosité P%	Compacité C%	Indice des vides e
43.09	56.91	0.75

III.2.8. Equivalent de sable NF P18-598

Evaluer la nocivité des fines contenues dans le sable. Le principe de l'essai consiste à faire flocculer les fines contenues dans le sable au moyen d'une solution lavante appropriée. Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.6: équivalent du sable de Boussaâda

Eprouvette	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₁ ' (cm)	ESV (%)	ESP (%)
1	11.8	9.2	8.6	77.96	72.88
2	12.5	9.2	9	73.6	72
3	12.4	9.2	9	74.19	72.58
ES moyen (%)		75.25		72.48	

- ❖ H₁ : sable propre + élément fins
- ❖ H₂ : sable propreseulement

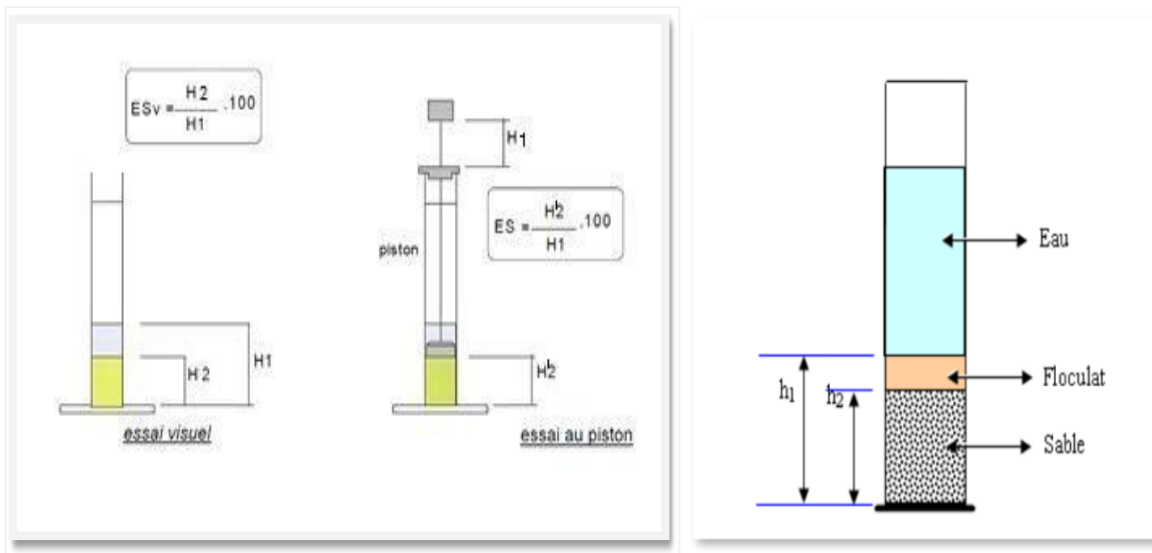


Figure III.2 : l'essai l'équivalent de sable[52].

Pour le sable Boussaâda Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

III.2.9.Teneur en eau NF P18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25% de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3%, on l'appelle sec.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.7: teneur en eau du sable de Boussaâda

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	500	498.6	0.28	0.42
2	500	498.3	0.34	
3	500	496.7	0.66	

- ❖ M_h : Poids du sable humide en (g).
- ❖ M_s : Poids du sable sec en (g).

III.2.10.Degré d'absorption d'eau NF P18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

- ❖ M_1 : La masse du matériau sec en(g) ;
- ❖ M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g) ;

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.8: Degré d'absorption du sable de Boussaâda

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A (%)	A _{moy} (%)
1	500	512	2.4	2.46
2	500	513.9	2.78	
3	500	511	2.2	

III.2.11. Analyse granulométrique

Cette essai a été menée à partir de la norme(NF P18-560).Les résultats obtenus sont présentés au tableau III.9 :

Tableau III.9 : analyse granulométrique du sable Boussaâda

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M =2000gr						
Tamis (mm)	Tamis vide (g)	Tamis plain (g)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés en (%)	Tamisât cumulés en(%)
5	624.8	624.9	0.1	0.1	0.005	99.995
2.5	602.7	637.5	34.8	34.9	1.745	98.255
1.250	507.9	575.7	67.8	102.7	5.135	94.865
0.630	500	677	177	279.7	13.985	86.015
0.315	462.1	1602.2	1140.1	1419.8	70.99	29.01
0.160	278.3	743.3	465	1884.8	94.24	5.76
0.08	273.6	375	101.4	1986.2	99.31	0.69
fond	452	463.8	11.8	1998	99.9	0.1

III.2.12. Module de finesse EN 12620

Le module de finesse est égal au 1/100ede la somme des refus cumulés exprimée enpourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 – 5mm.

$$M_f = \sum \frac{R_C}{100} (\text{refus cumulés en \% des tamis} \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\})$$

$$M_f = 3.85$$

On se basant sur la classification de la norme Française, on trouve le résultat suivant :Pour le sable Boussaâda :M_f>2.5C'est un Sable gros

III.3.Gravier

Dans cette partie, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre recherche.

III.3.1.Gravier concassé

Le gravier de base utilisé dans la confection de tous les bétons est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière Cosider). [53]

III.3.1.1.Classes granulaires

Les fractions du gravier sont :

- ❖ Fraction 8/16 mm;
- ❖ Fraction 3/8 mm;

III.3.2.Caractéristiques physiques du gravier utilisé

III.3.2.1.masse volumique apparente

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

Tableau III.10: masse volumique apparente du gravier

N° d'essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	V(L)	ρ _s moy (kg/ml)	
3/8	1	2.92	12.6	7	1.8
	2	2.92	12.608	7	
	3	2.92	12.694	7	
8/16	1	3.466	17.30	10	1.72
	2	3.466	17.22	10	
	3	3.466	17.18	10	

- ❖ M₁ :masse du récipient vide.
- ❖ M₂ :récipient + gravier

III.3.2.2.masse volumique absolue

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

Tableau III.11 : masse volumique absolue du gravier

N° d'essai		M (g)	V _e (cm ³)	V ₁ (g)	ρ _s moy (g/ml)
3/8	1	300	300	430	2.5
	2	300	300	440	
	3	300	300	440	
8/16	1	300	300	420	2.61
	2	300	300	410	
	3	300	300	410	

- ❖ M₁ : masse du gravier ;
- ❖ V_e : volumed'eau + gravier ;

III.3.3.Porosité, compacité et indice des vides

Cette essai a été menée à partir de la norm **NF P18-554**

Tableau III.12 : porosité, compacité et indice des vides.

Fraction de gravier(mm)	Porosité (%)	Compacité (%)	L'indice de vide (%)
3/8	37.27	62.73	0.59
8/16	47.50	52.5	0.9

III.3.4.Degré d'absorptiond'eau

Des mesures de l'absorptiond'eau par le granulat sont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001].

Tableau III.13 : degré d'absorption d'eau du gravier.

Graviers	N°d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A (%)	A _{moy} (%)
3/8	01	500	517.8	3.56	3.42
	02	500	517	3.4	
	03	500	516.5	3.3	
8/16	01	500	520	4	4.13
	02	500	521	4.2	
	03	500	521	4.2	

- ❖ M₁ :masse de gravier
- ❖ M₂ :masse de graviersaturé

III.3.5. Analyse granulométrique

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

Tableau III.14 : L'analyse granulométrique du gravier 3/8 mm

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M =1500gr						
Tamis (mm)	Tamis vide (g)	Tamis plain (g)	Refus (g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulé en (%)	Tamisât cumulés en(%)
8	638.6	641.0	2.4	2.4	0.16	99.81
6.3	638.2	784.9	146	148.4	9.89	90.11
5	625.2	1079.9	454.7	603.1	40.2	59.8
4	602.6	1224.7	622.1	1225.2	81.68	18.32
3.15	604.4	771.4	167	1392.2	92.81	7.16
fond	451.4	561.1	109.7	1500	100	0

Tableau III.15: analyse granulométrique du gravier 8/16mm.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M =3200gr						
Tamis (mm)	Tamis vide (g)	Tamis plain (g)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés en (%)	Tamisât cumulés en(%)
16	932	1125	193	193	6.031	93.969
12.5	891	1702	811	1004	31.375	68.625
10	957	2195	1238	2242	70.062	29.937
8	827	1581	754	2996	93.625	6.375
fond	561	768	207	3200	100	0

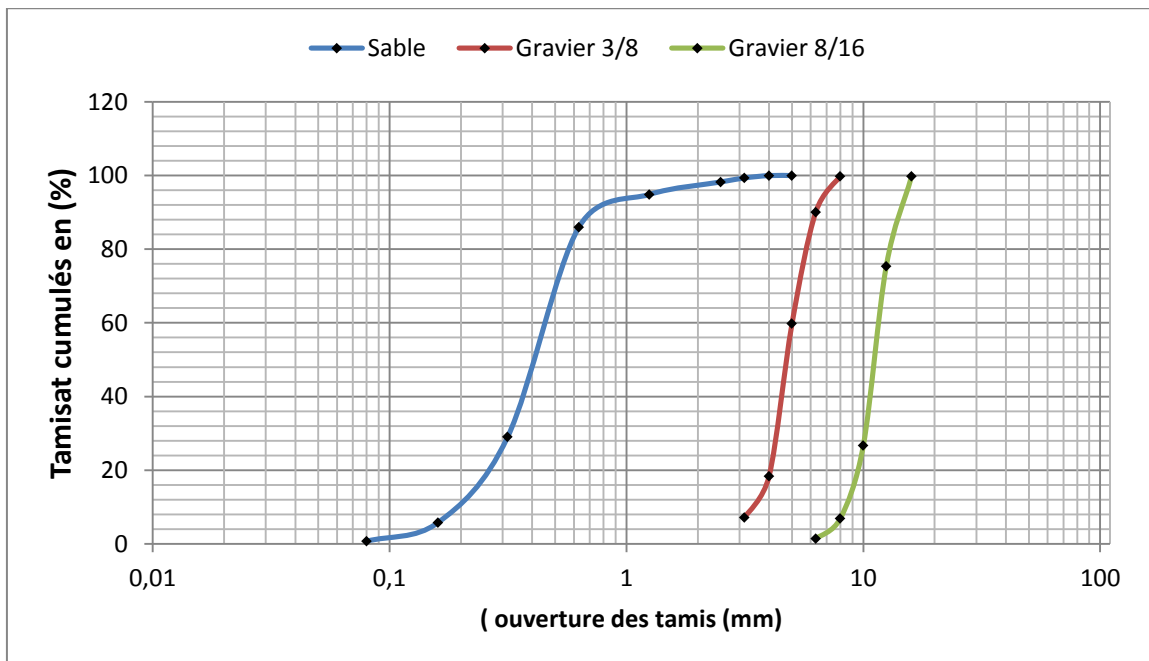


Figure III.3: les courbes granulométrique des sable et graviers 3/8 et 8/16mm

III.3.6. Les caractéristiques mécaniques des gravier utilisés

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

III.3.7. essai de résistance au choc (essai Los Angeles) NFP18-573.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.16: Caractéristiques mécaniques du gravier utilisée

Fractio de Gravier	Nombre de boules	M (kg)	m (kg)	Coef LA %
Gravier8/16	11	5	1.14	22.8

- ❖ M : Masse sèche de l'échantillon ;
- ❖ m : Refus au tamis 1,6mm ;

Classification

Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau III.17 :classification des roches en fonction du coefficient LA

Coefficient LA	Nature de la roche
< 20	Très dure
20 à25	Dure
25 à30	Assez dure
30 à40	Mis dure
40 à50	Tendre
> 50	Très tendre

Commentaire :

Le gravier (8/16) : c'est un gravier dure (LA = 22.8 %) / (20 < LA<25),

III.3.8.Essai micro-deval (NF P 18-576)

Mesurer la résistance à l'usure par frottement entre les grains d'un même granulat et une charge abrasive (usure par attrition) sur une classe granulaire donnée d'un gravillon.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.18:Microdeval

Fractio de Gravier	masse de boules	M (g)	m (kg)	Coef LA %
Gravier8/16	2 kg	500	491	18%

M : Masse sèche de l'échantillon ;

m :masse du tamisât au t amis de 1,6 mm ;

III.4.Ciment :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portlandCRS- CEM-I/A de classe42.5 provient de la cimenterie de M'sila.

III.4.1. Analyseschimiques et minéralogique du ciment utilisé[54] :

Les informations de ces analyses sont extraites du la fiche technique de la cimenteriede M'sila.

III.4.1.1. Analyses chimiques

Tableau III.19. Composition chimique de ciment

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO ₃) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium Mgo (%)	1,2 à 3
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0,01 à 0,05

III.4.1.2. Composition minéralogique

Tableau III.20. Composition minéralogique de ciment

Composition minéralogique de ciment	Valeur
Taux d'aluminate C3A	< 3.0%

III.4.1.3. Propriétés physiques

Tableau III.21. Propriétés physiques de ciment

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de blain (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤ 0,2
Chaleur d'hydratation	< 270 j/g

III.4.1.4. temps de prise A 20° (NA 230)

Tableau III.22. Temps de prise a 20°C de ciment

Temps de prise a 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	>60
Fin de prise (min)	240 à 400

III.4.1.5. Résistance A La Compression

Tableau III.23. Résistance a la compression de ciment

Résistance a la compression	Valeur
2 joutes (MPa)	≥ 10
28 joutes (MPa)	$\geq 42,5$

III.5. L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAPLAST SP 40 [55]

Le super plastifiant Le MEDAPLAST SP 40 (haut réducteur d'eau) est un Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement du béton .

III.5.1. Description

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

III.5.2. Dosage

Plage de dosage recommandée :

- ❖ 0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment.
- ❖ Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

III.5.3. Caractéristiques

- ❖ Aspect Liquide
- ❖ Couleur Marron
- ❖ pH 8,2
- ❖ Densité $1,20 \pm 0,01$
- ❖ Teneur en chlore $< 1\text{g/L}$
- ❖ Extrait sec 40%

III.6. L'eau de gâchage NF EN 1008

Nous avons utilisé pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans notre travail et leurs constituants. Les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques des granulats nous permettent de conclure sur leur conformité.

CHAPITRE IV

ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

IV.1.Introduction

Cette étude expérimentale pour objet d'étudier le béton a haut performance, avec une présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges étudiés et la méthodologie adoptée lors de ce travail.

Notre recherche a pour but d'étudier l'éventualité d'utiliser les déchets de brique (DBR) comme un remplacement d'un pourcentage du ciment dans le béton, avec des taux de substitutions de (10,15 et 20%) et d'analyser les comportements de ces mélanges à l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de ciment ordinaires désigné dans cette étude sous l'appellation du béton témoin.

IV.2.Formulation du béton

L'objectif de toutes méthodes de formulation du béton est déterminé la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible.

Il a toujours été très difficile de développer une méthode théorique universelle permettant de formuler un béton avec n'importe quelle combinaison de ciment portland, d'ajout, de granulats et d'adjuvant. Même si tous ces matériaux de base doivent satisfaire à des critères d'acceptation plus ou moins sévères, on peut obtenir un béton ayant les propriétés visées à l'état durci de différentes façons en utilisant les mêmes matériaux.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de l'élément d'ouvrage en cause.

Plusieurs méthodes sont proposées parmi lesquelles la méthode pratique simplifiée dite méthode « Dreux -Gorisse ».

IV.2.1.Donnée de base

- La consistance : béton ferme $A_f = 7\text{cm}$
- $D_{\max} = 25\text{mm}$
- Forme des granulats : concassées.
- Serrage : bonne vibration.
- La consistance du ciment 42.5 MPa.

IV.2.2.Calcul de mélange

❖ Formulation de base selon formulation de Dreux-Gorisse

- Dosage de ciment : $\Rightarrow C = 350 \text{ kg/m}^3$
- Dosage en eau : $\Rightarrow E = 112 \text{ kg/m}^3$
- Quantité de Sable : $\Rightarrow S = 498,62 \text{ kg/m}^3$
- Quantité de Gravier 3/8 : $\Rightarrow G_{3/8} = 540,80 \text{ kg}$
- Quantité de Gravier 8/15 : $\Rightarrow G_{8/15} = 730,23\text{kg}$

❖ Formulation de mélange

➤ **Dosage de déchet de brique (DBR) :**

Pour 10% de DBR

$$\begin{cases} 350 \rightarrow 100\% \\ X_1 \rightarrow 10\% \end{cases} \Rightarrow X_1 = \frac{10 \times 350}{100}$$

$$X_1 = 35 \text{ kg/m}^3$$

De même pour 15% et 20%

➤ **Dosage de fumées de silice :**

5% de fumées de silice

$$\begin{cases} 350 \rightarrow 100\% \\ X_2 \rightarrow 5\% \end{cases} \Rightarrow X_2 = \frac{5 \times 350}{100}$$

$$X_2 = 17,5 \text{ Kg/m}^3$$

➤ **Dosage de ciment :**

Pour 10% de DBR

$$C' = 350 - (X_1 + X_2) \Rightarrow C' = 350 - (35 + 17,5)$$

$$C' = 297,5 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Pourcentage de super plastifiant**

1,5% de super plastifiant

$$\begin{cases} 350 \rightarrow 100\% \\ X_3 \rightarrow 1,5\% \end{cases} \Rightarrow X_3 = \frac{1,5 \times 350}{100}$$

$$X_3 = 5,25 \text{ kg/m}^3$$

De même pour 2%

➤ **Dosage en eau**

$$\text{Est déjà calculer} \Rightarrow E = 112 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Quantité de Sable**

$$\text{Est déjà calculer} \Rightarrow S = 498,62 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Quantité de Gravier 3/8**

$$\text{Est déjà calculer} \Rightarrow G_{3/8} = 540,80 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Quantité de Gravier 8/15**

$$\text{Est déjà calculer} \Rightarrow G_{8/15} = 730,23 \text{ kg/m}^3$$

IV.2.3.Résultats de mélange

Dans le tableau. IV.1, on présente les quantités des matériaux, d'eau, d'ajout, et d'adjuvant utilisés dans chaque BHP.

Tableau.IV.24.Résultats de formulation de béton BHP

Types de béton		BHP(R)		BHP10		BHP15		BHP20		BHP20-SP2	
Nombre des éprouvettes utilisé		[12] éprouvettes cubique et [12] prismatique									
Dosage de ciment (kg)		9,96		8,47		7,97		7,47		7,47	
Quantité de sable (kg)		14,19		14,19		14,19		14,19		14,19	
Quantité de gravier 8/16 (kg)		20,79		20,79		20,79		20,79		20,79	
Quantité de gravier 3/8 (kg)		15,39		15,39		15,39		15,39		15,39	
Dosage d'eau (kg)	nécessaire	3,19	4,21	3,19	4,54	3,19	5,93	3,19	6,57	3,19	5,98
	ajoutée	1,02		1,36		2,74		3,38		2,79	
Poudre de déchet de brique	(%)	/		10		15		20		20	
	(kg)	/		1,00		1,49		1,99		1,99	
Fumées de silice	(%)	/		5		5		5		5	
	(kg)	/		0,50		0,50		0,50		0,50	
Super plastifiant	(%)	/		1,5		1,5		1,5		2	
	(kg)	/		0,15		0,15		0,15		0,20	

IV.2.4.Programme des essais

IV.2.4.1.Gâchage et malaxage

Le gâchage consiste que tous les composants nécessaires sont préparés et que les granulats sont bien secs. Ces derniers sont introduits avec le ciment dans le malaxeur et mélangés 15 secondes à sec puis l'introduction au fur et à mesure l'eau de gâchage.

Le malaxage est réalisé dans un malaxeur, qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve suivant un axe horizontal.

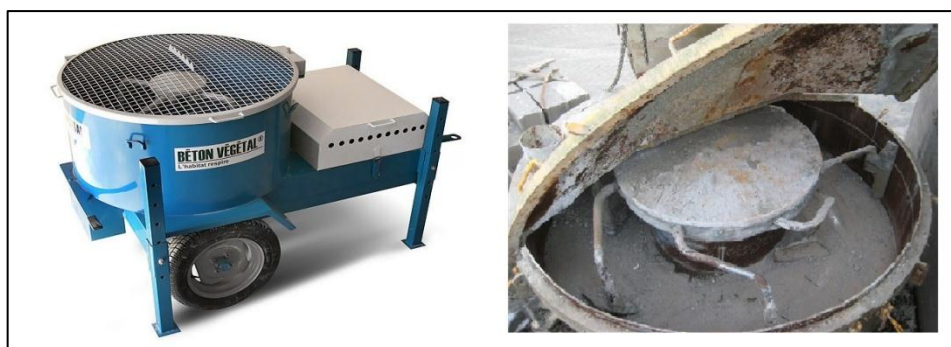


Figure IV.1.Malaxeur

IV.2.4.2. Forme des éprouvettes

Dans les essais réalisés pour l'étude des bétons, deux types d'éprouvettes ont été utilisés :

- 1- Eprouvettes de forme cubique de dimensions 10x10 x10 cm
- 2- Eprouvettes de forme prismatique de dimensions 7x7x28 cm



Figure IV.2. Les éprouvette utilisées

IV.2.4.3. Remplissage et vibration

Pour faciliter le démoulage, enduire les moules d'une légère couche d'huile (la graisse et l'huile employée en doivent pas être réactives au liant).

Le remplissage se fait par 2 ou 3 couches suivant les dimensions des moules, le remplissage des moules cubique et prismatique a été faite à l'aide de la truelle et de l'entonnoir, dès la fin de sa confection, en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage à l'aide de la tige métallique.

L'arasement est une opération de finition des éprouvettes, en fonction de la maniabilité de béton, l'arasement se fait par une règle métallique.

Dans le cas des bétons de fibres, une vibration interne est déconseillée pour éviter le phénomène de cheminements des fibres et formations de pelotes "effet d'oursins". Ainsi, le compactage a été fait au moyen d'une vibration externe par la table vibrante.



Figure IV.3. Table de vibration

IV.2.4.4. Surfaçage des éprouvettes

Avant d'entamer l'essai, il est recommandé de préparer les éprouvettes en effectuant quatre surfaçages des deux bases de l'éprouvette selon les recommandations suivantes :

- Avant le surfaçage, s'assurer que l'extrémité de l'éprouvette à surfaçer est sèche et propre de toutes particules étrangères;
- Le surfaçage doit être mince (<5mm).



Figure IV.3. Traitement de surface sur les moules

IV.2.4.5. Conservation des éprouvettes

Avant le démoulage les éprouvettes sont conservées dans un locale pendant $24h \pm 1h$.

Après le démoulage, les éprouvettes sont conservées dans l'eau à la même température jusqu'à le jour de l'essai.

Cette opération est effectuée pour éviter l'évaporation d'eau au cours de la phase de prise caractéristiques réelles du béton.



Figure IV.5. Les différentes conservations des éprouvettes

IV.3.ETUDE DE BETON

IV.3.Discussion des résultats et analyse

IV.3.1.Etat frais

IV.3.1.1.Ouvrabilité

❖ Effet du taux de substitution du DBR sur le dosage en eau

- Le dosage en eau du BHP10, BHP15, et BHP20 augmente par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- Plus le taux de substitution du ciment par du DBR est élevé plus le dosage en eau s'augmente.
- Sachant que l'affaissement est constant s'égale 7 cm.

La figure IV.6.Représente la comparaison de mesure de dosage en eau entre BHP(R) avec un BHP à base de fines recyclées (poudre de brique) à l'état frais.

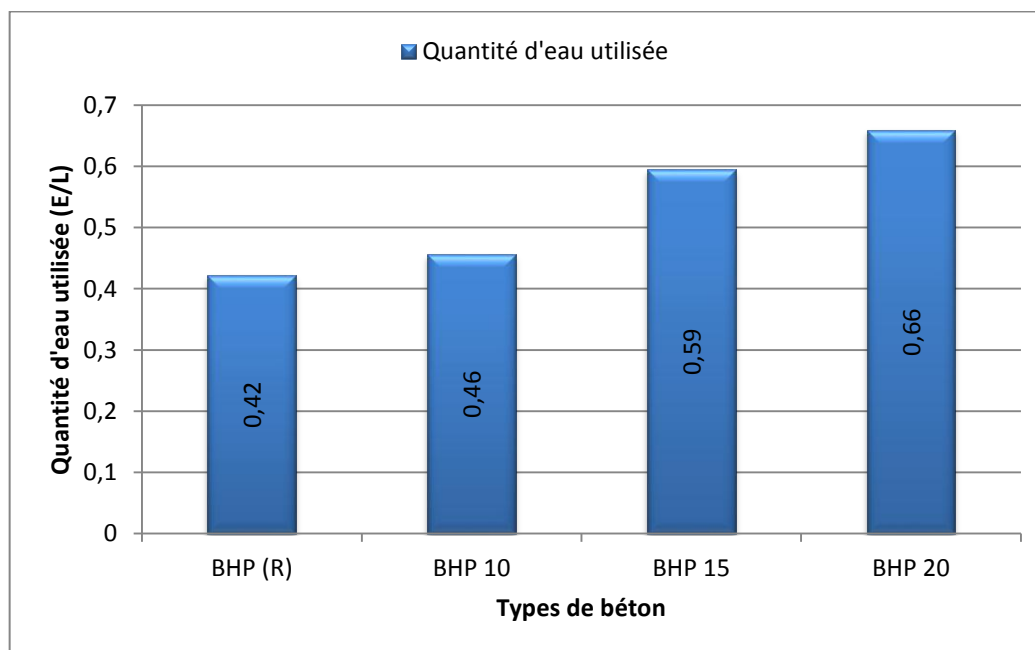


Figure IV.6.Variation de quantité d'eau utilisée

❖ Effet du super plastifiant sur le dosage en eau du BHP20

- L'augmentation du dosage du super plastifiant(SP) à réduit le dosage d'eau du BHP20 de l'ordre de 9% mais il sa valeur est supérieur à celle du BHP(R).
- L'adjuvant super plastifiant joue un rôle important sur le béton frais, car il augmente sa maniabilité.

La figure IV.7.Représente la comparaison de mesure de dosage en eau entre BHP20 avec un BHP à base de fines recyclées (poudre de brique) et du super plastifiant, à l'état frais.

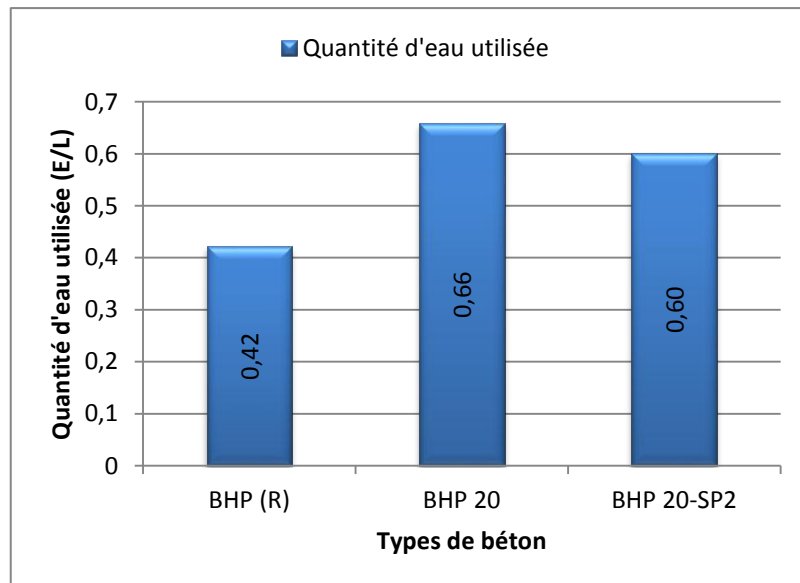


Figure IV.7.Variation de quantité d'eau utilisée du BHP20

❖ Le dosage en eau dans les différents BHP

- La quantité d'eau ajoutée dans BHP(R) Résultant par fixation de l'affaissement à 7 cm ce qui nécessite une quantité d'eau plus que la quantité d'eau théorique nécessaire.
- La quantité d'eau ajoutée dans les BHP10, BHP15, et BHP20 augmente par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R) ce qui augmente la quantité d'eau utilisée.
- La quantité d'eau ajoutée dans le BHP20-SP2 se diminue Ce qui diminue la quantité d'eau utilisée par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.8.Représente la comparaison des résultats de la quantité d'eau ajoutée du BHP.

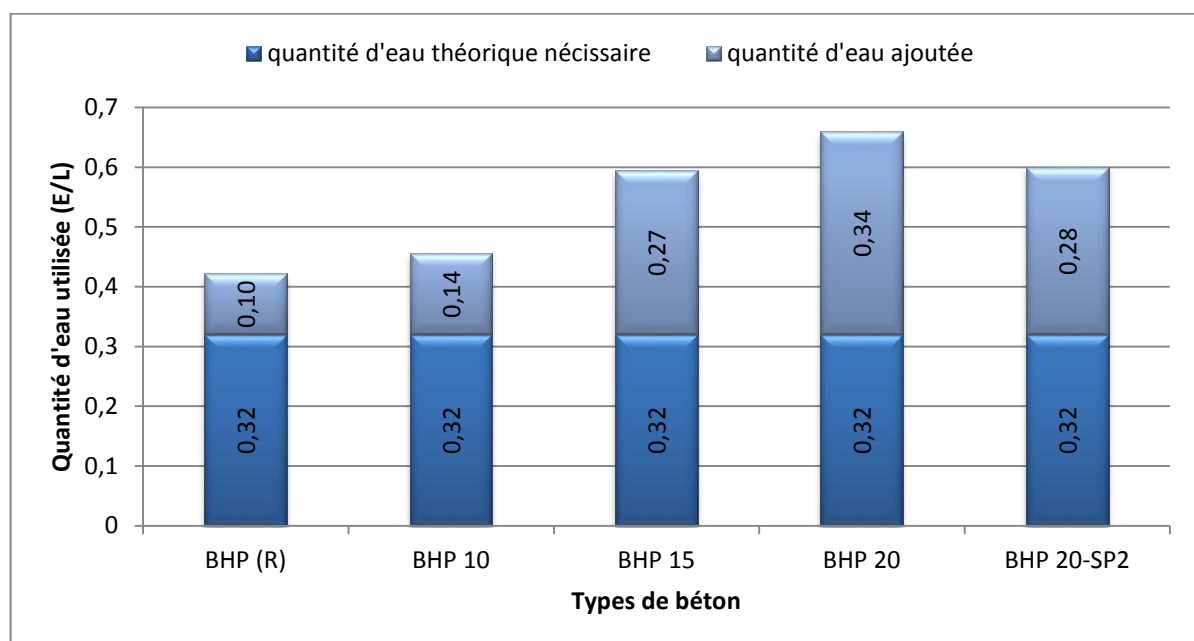


Figure IV.8.Variation de quantité d'eau ajoutée du BHP

IV.3.1.2.Masse volumique

❖ Effet du taux de substitution du DBR sur la masse volumique

- Plus le taux de substitution de ciment par du DBR augmente plus la masse volumique diminue par rapport au BHP(R) à l'état frais.

La figure IV.9.Représente La comparaison entre la masse volumique du BHP(R) avec un BHP à base du DBR à l'état frais.

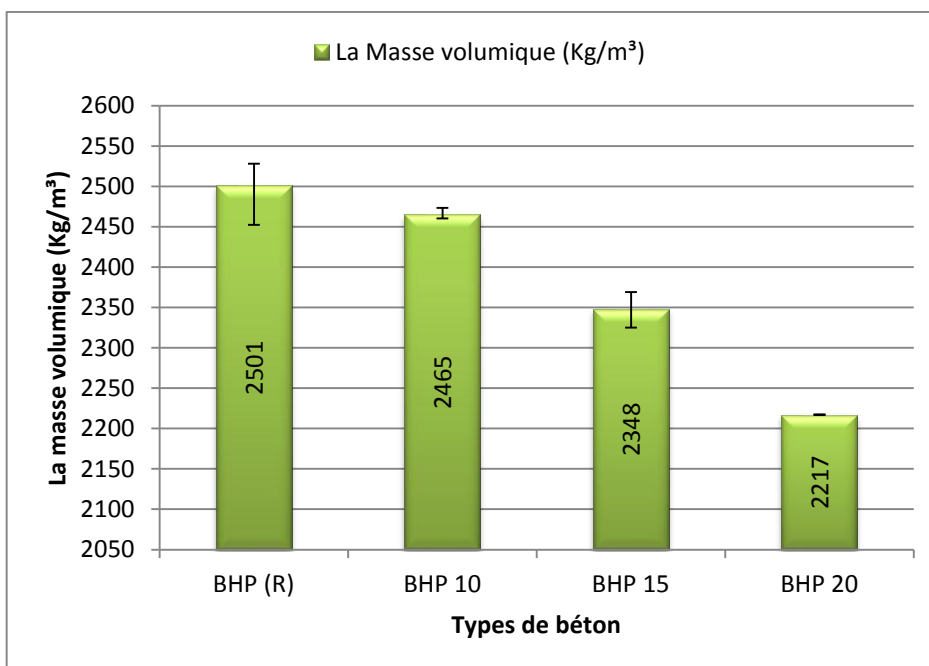


Figure IV.9.Variation de la masse volumique à l'état frais

❖ Effet du super plastifiant sur la masse volumique du BHP20

- L'augmentation du dosage du super plastifiant a augmenté la masse volumique du BHP20 de l'ordre de 5,8% mais il sa valeur est tjrs inférieur à celle du BHP(R).

La figure IV.10.Représente La comparaison entre la masse volumique du BHP20 avec un BHP20-SP2 à l'état frais.

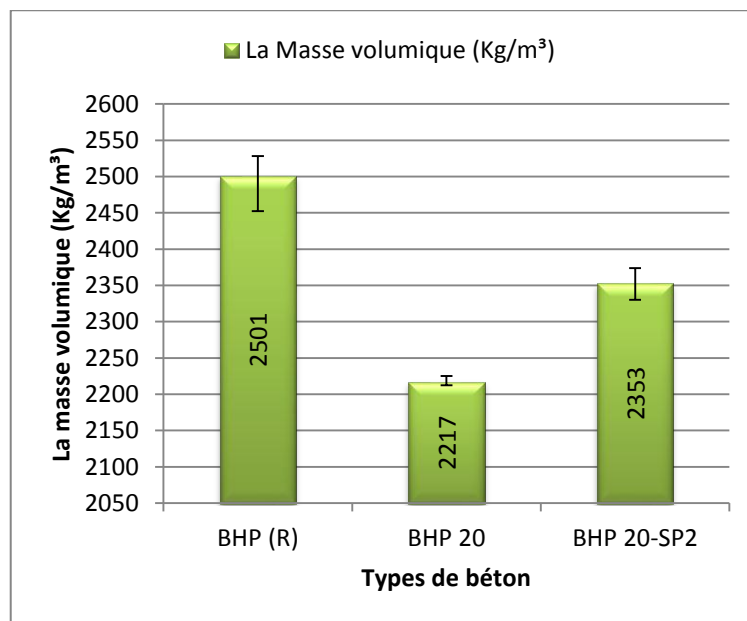


Figure IV.10. Variation de la masse volumique du BHP20 à l'état frais

❖ La masse volumique dans les différents BHP

- La masse volumique du BHP10, BHP15, et BHP20 se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- La masse volumique du BHP20-SP2 augmente par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.11. Représente la comparaison des résultats de la masse volumique du BHP à l'état frais.

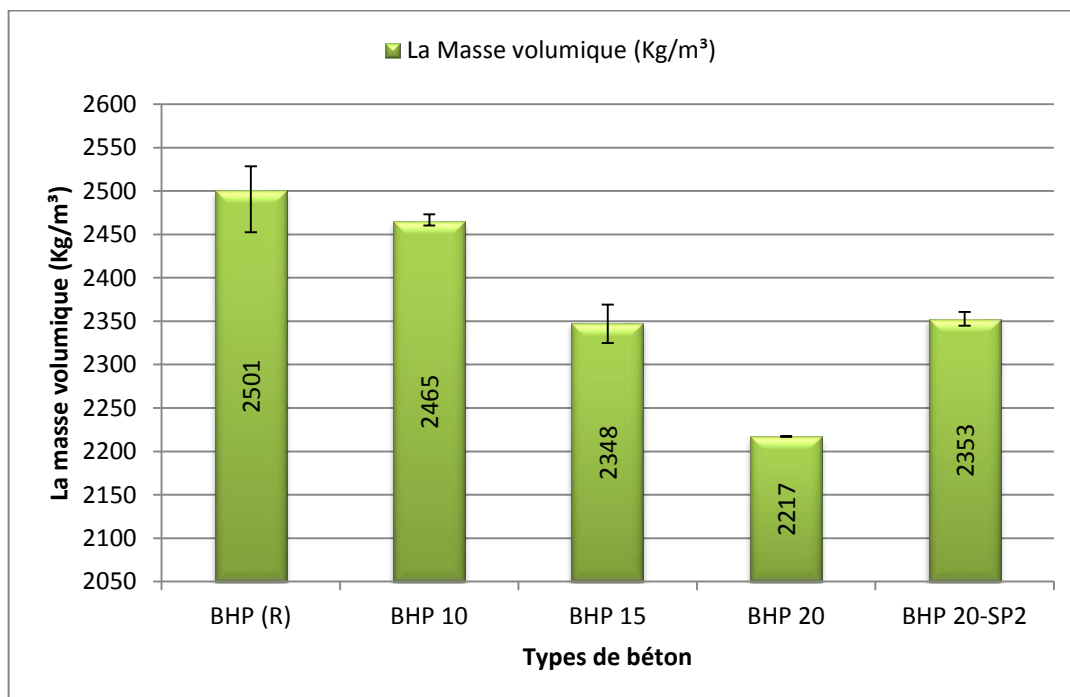


Figure IV.11. Variation de la masse volumique du BHP à l'état frais

IV.3.2. Etat durci

IV.3.2.1. Masse volumique

❖ Effet du temps après 7j de démoulage sur la masse volumique du BHP

- La masse volumique du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.12.Représente la variation de la masse volumique après 7j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

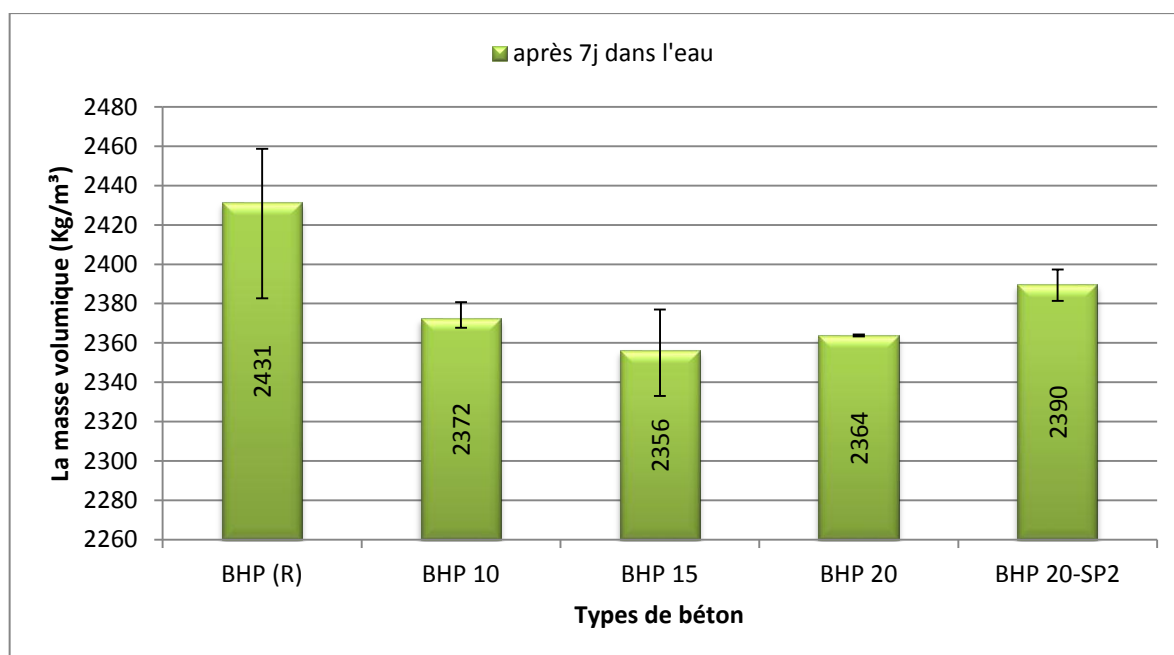


Figure IV.12.Variation de la masse volumique après 7j dans l'eau

❖ Effet du temps après 28j de démoulage sur la masse volumique du BHP

- La masse volumique du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.13.Représente la variation de la masse volumique après 28j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

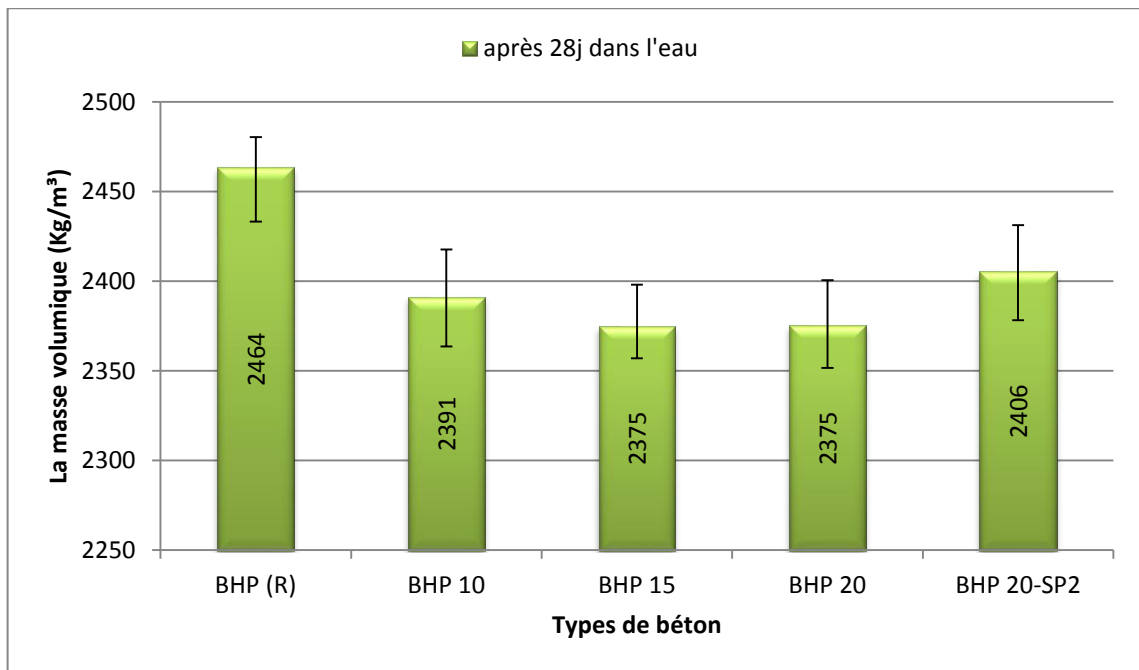


Figure IV.13. Variation de la masse volumique après 28j dans l'eau

❖ Effet du taux de substitution du DBR sur la masse volumique

- La masse volumique des BHP10, BHP15, et BHP20 diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR, cette diminution est due principalement à la masse volumique faible du DBR par rapport à celle du ciment.

La figure IV.14. Représente La comparaison entre la masse volumique après 7j dans l'eau avec la masse volumique après 28j dans l'eau à l'état durci.

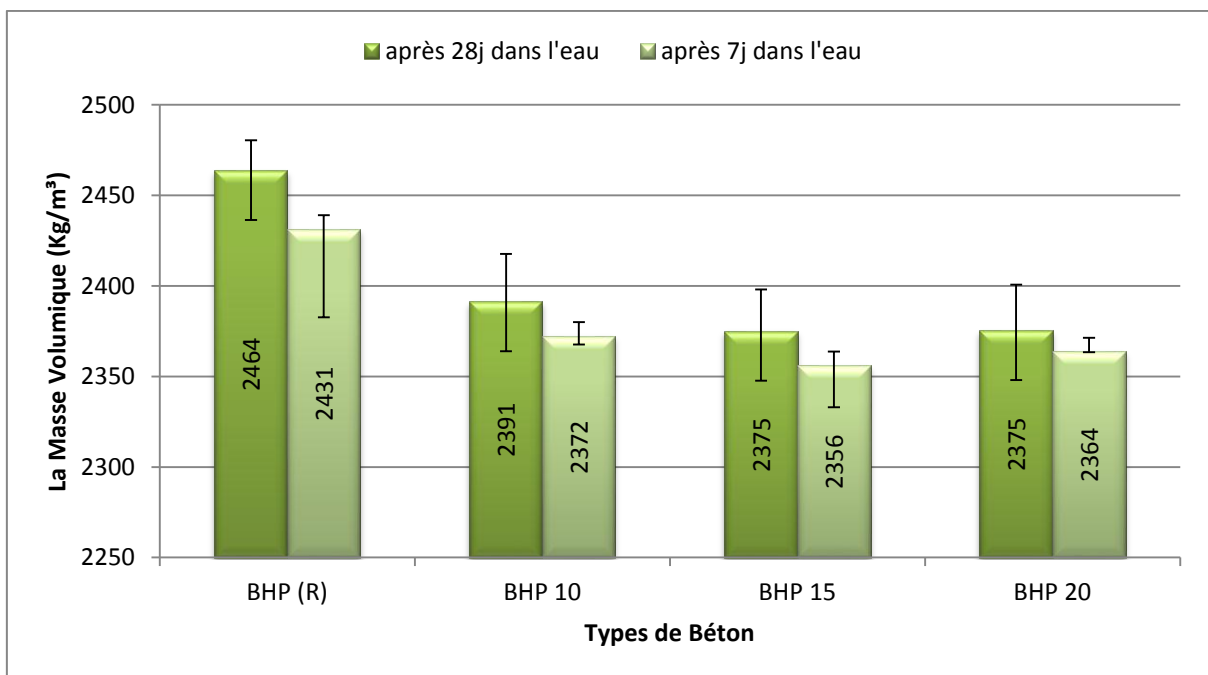


Figure IV.14. Variation de la masse volumique après 7j et 28j dans l'eau

❖ Effet du super plastifiant sur la masse volumique du BHP20

- L'augmentation du dosage du super plastifiant a amélioré la masse volumique du BHP20 de l'ordre de 1,7% ; 1,1% respectivement, à l'état durci.

La figure IV.15.Représente La comparaison entre la masse volumique du BHP20 avec un BHP20-SP2 à l'état durci.

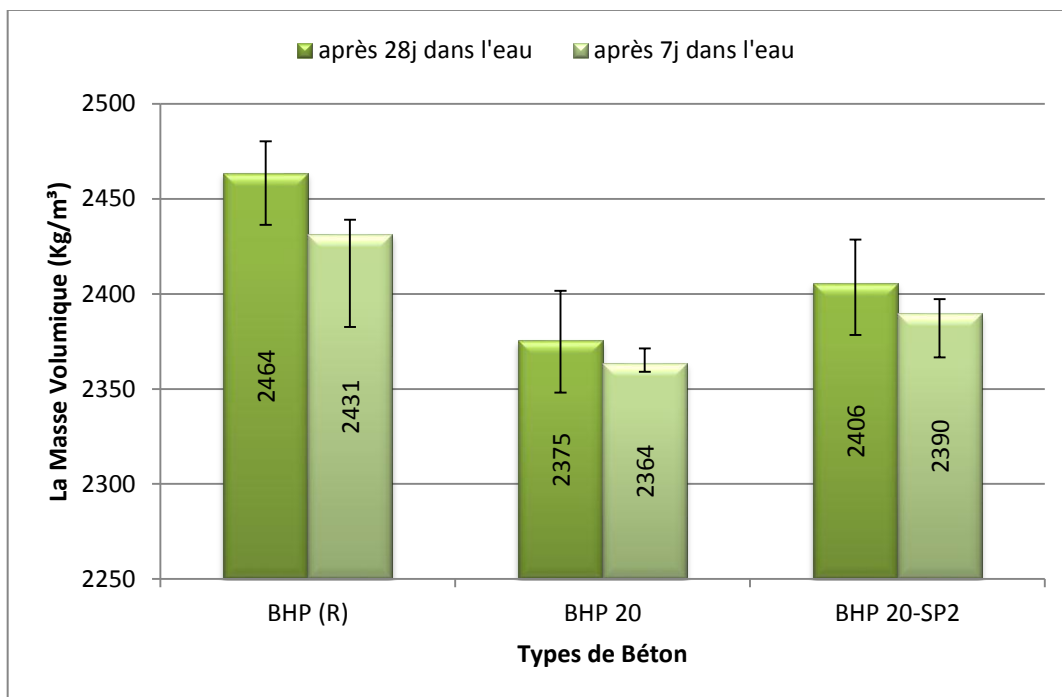


Figure IV.15.Variation de la masse volumique du BHP20

❖ La masse volumique dans les différents BHP

- La masse volumique du BHP10, BHP15, et BHP20 se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- La masse volumique du BHP20-SP2 augmente par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.16.Représente la comparaison entre les résultats de la masse volumique du BHP à l'état durci.

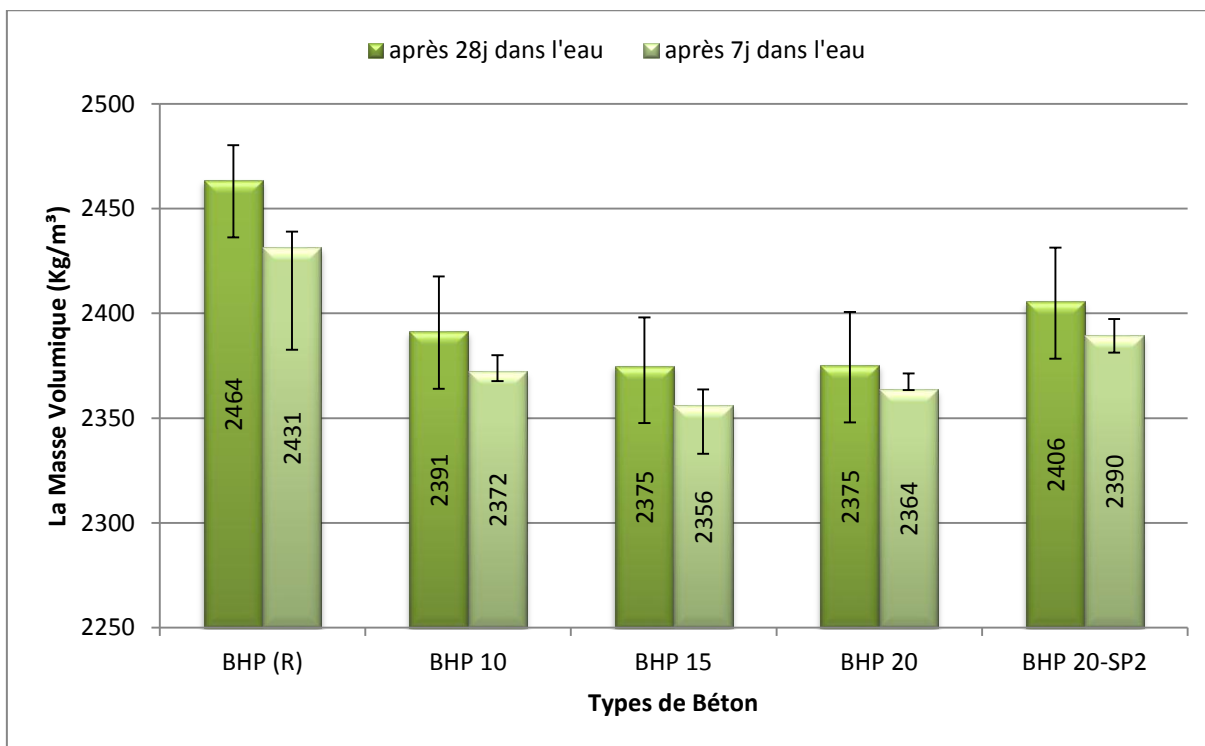


Figure IV.16. Variation de la masse volumique du BHP

IV.3.2.2. Résistance en compression

❖ **Effet du temps après 7j de démoulage sur la résistance de compression du BHP**

- La résistance de compression du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.17.Représente l'évolution de la résistance de compression à 7j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

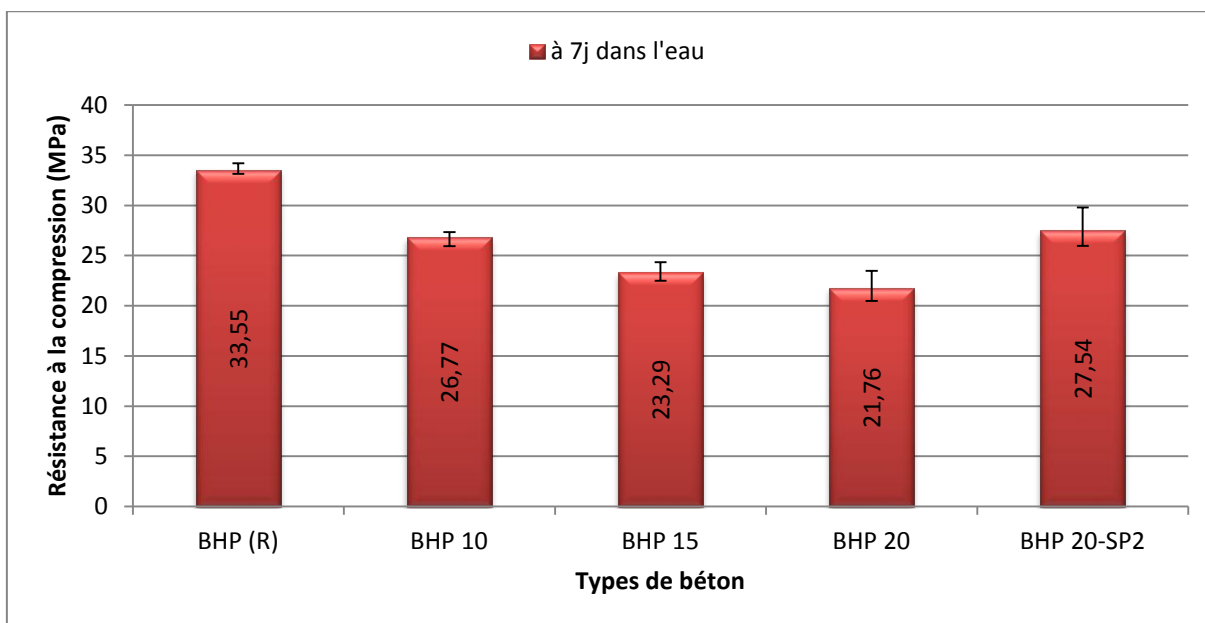


Figure IV.17.Evolution de la résistance de compression à 7j dans l'eau

❖ **Effet du temps après 28j de démoulage sur la résistance de compression du BHP**

- La résistance de compression du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.18.Représente l'évolution de la résistance de compression 28j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

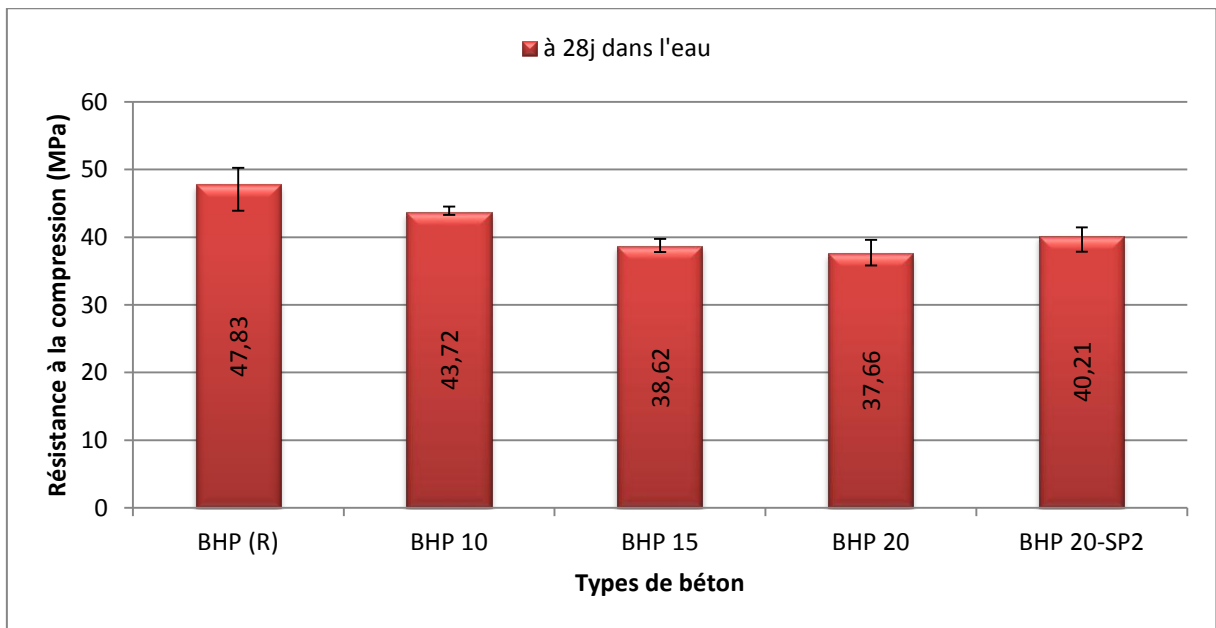


Figure IV.18. Evolution de la résistance de compression à 28j dans l'eau

❖ Effet du taux de substitution du DBR sur la résistance de compression

- La résistance de compression du BHP10, BHP15, et BHP20 diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR, cette diminution est due principalement à la résistance de compression faible du DBR par rapport à celle du ciment.

La figure IV.19. Représente La comparaison entre la résistance de compression à 7j dans l'eau avec la résistance de compression après 28j dans l'eau.

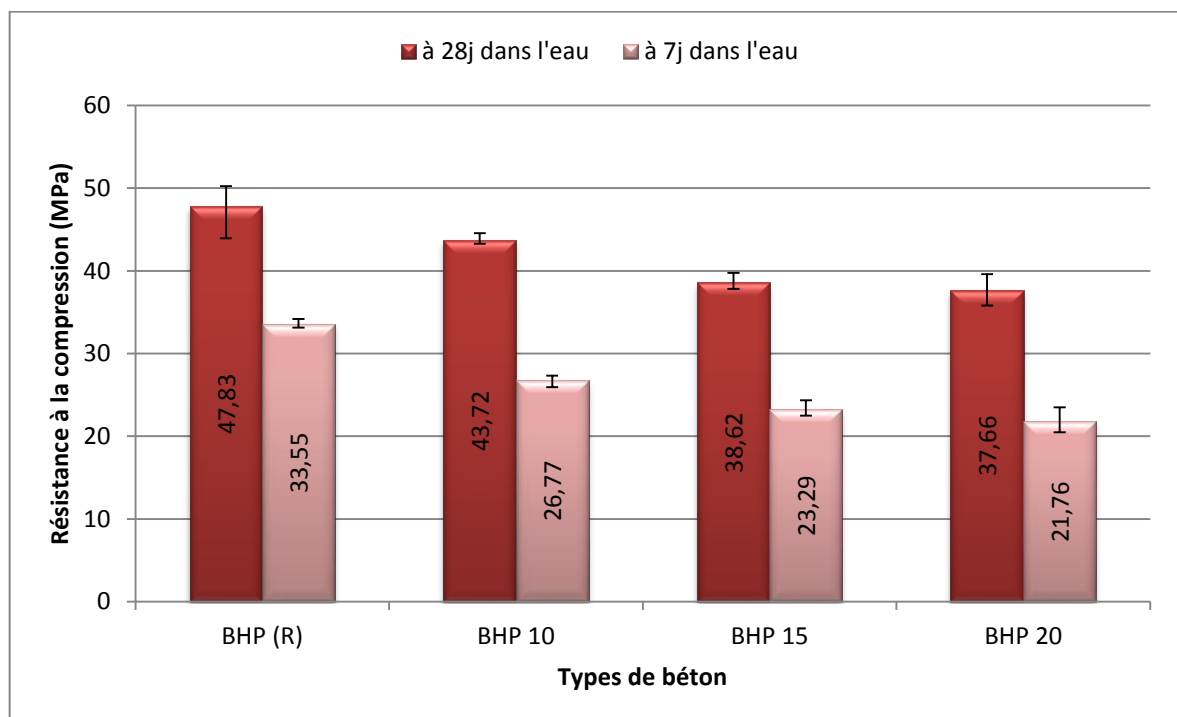


Figure IV.19. Evolution de la résistance de compression à 7j et 28j dans l'eau

❖ Effet du super plastifiant sur la résistance de compression du BHP20

- L'augmentation du dosage du super plastifiant a amélioré la résistance de compression du BHP20 de l'ordre de 6,3% ; 20,9% respectivement.

La figure IV.20.Représente La comparaison entre la résistance de compression du BHP20 avec un BHP20-SP2 à l'état durci.

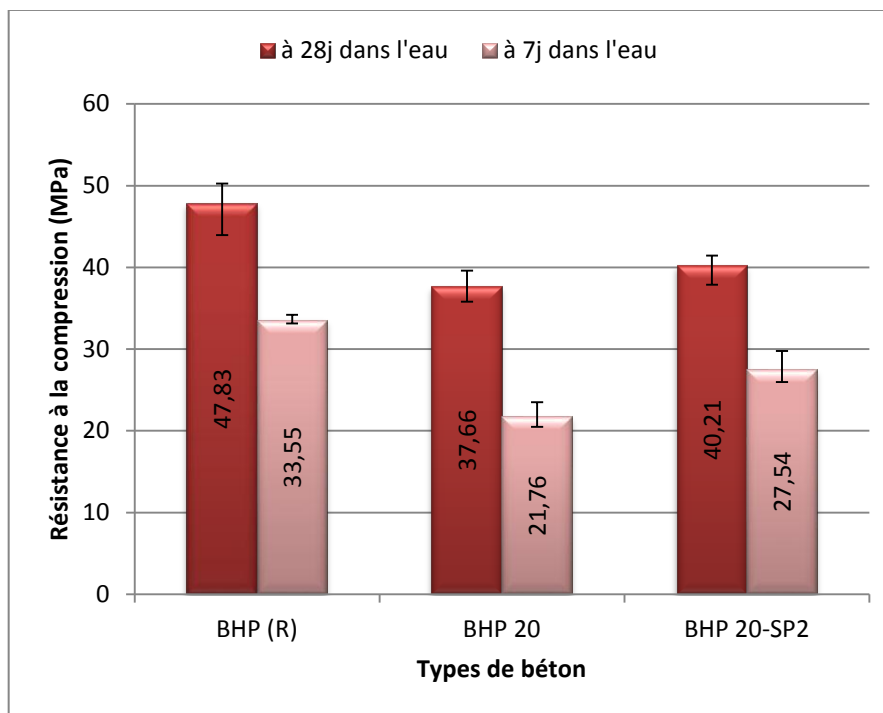


Figure IV.20.Evolution de la résistance de compression du BHP20

❖ La résistance de compression dans les différents BHP

- La résistance de compression du BHP10, BHP15, et BHP20 se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- La résistance de compression du BHP20-SP2 augmente par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.21.Représente la comparaison entre les résultats de la résistance de compression du BHP à différents effets.

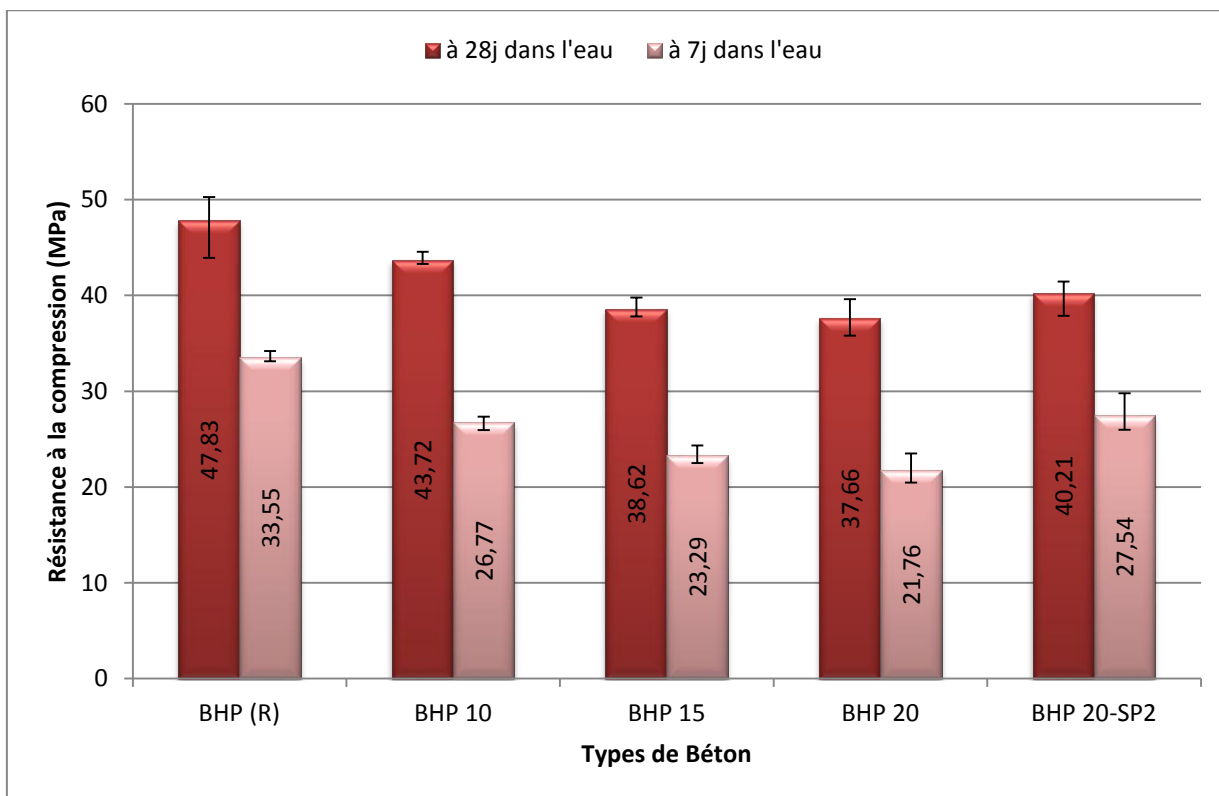


Figure IV.21. Evolution de la résistance de compression du BHP

IV.3.2.3.Résistance en traction par flexion

❖ Effet du temps après 7j de démoulage sur la R-en traction par flexion du BHP

- La résistance en traction par flexion du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.22.Représente l'évolution de la résistance en traction par flexion à 7j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

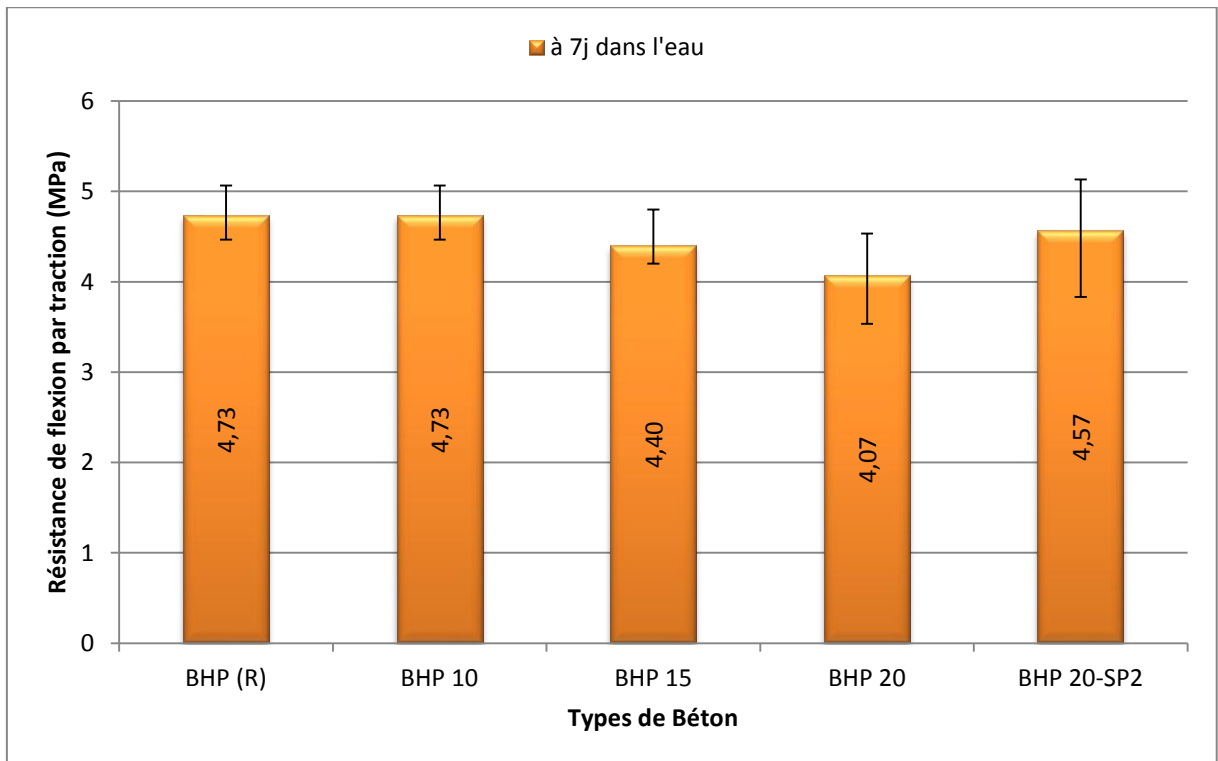


Figure IV.22.Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j dans l'eau

❖ Effet du temps après 28j de démoulage sur la R-en traction par flexion du BHP

- La résistance en traction par flexion du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R), puis elle à augmenter pour le BHP20-SP2 par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.23.Représente l'évolution de la résistance en traction par flexion à 28j sous l'effet de conservation dans l'eau par rapport du chaque BHP.

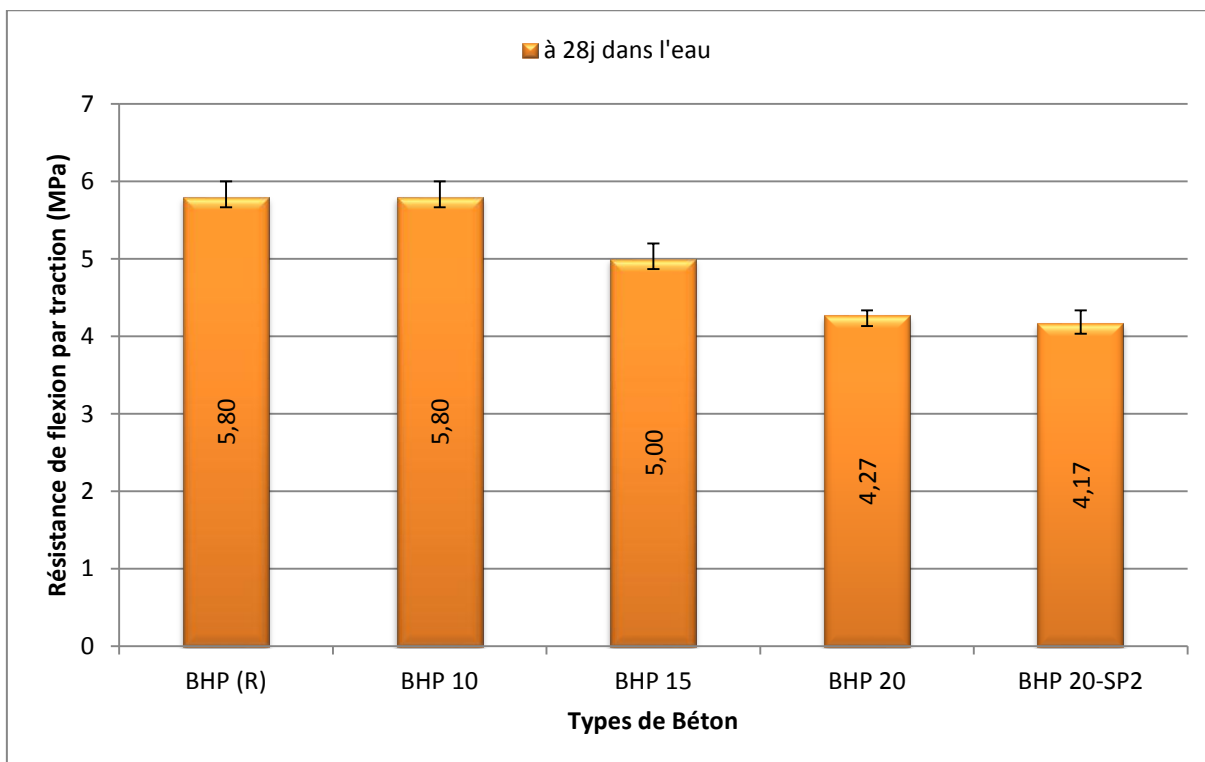


Figure IV.23. Evolution de la résistance en traction par flexion à 28j dans l'eau

❖ Effet du taux de substitution du DBR sur la résistance en traction par flexion

- La résistance en traction par flexion des BHP10, BHP15, et BHP20 diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR, cette diminution est due principalement à la résistance en traction par flexion faible du DBR par rapport à celle du ciment.

La figure IV.24. Représente La comparaison entre la résistance en traction par flexion à 7j dans l'eau avec la résistance de traction par flexion après 28j dans l'eau.

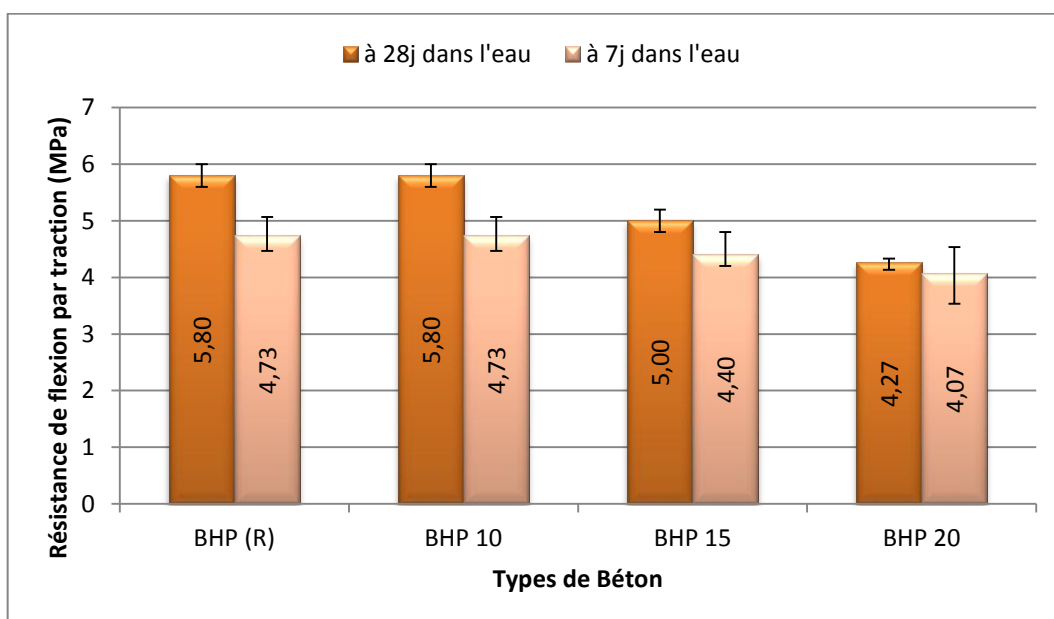


Figure IV.24. Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j et 28j dans l'eau

❖ Effet du super plastifiant sur la résistance en traction par flexion du BHP20

- L'augmentation du dosage du super plastifiant a amélioré la résistance en traction par flexion du BHP20 de l'ordre de -2,4% ; 10,9% respectivement.

La figure IV.27.ReprésenteLa comparaison entre la résistance en traction par flexion du BHP20 avec un BHP20-SP2.

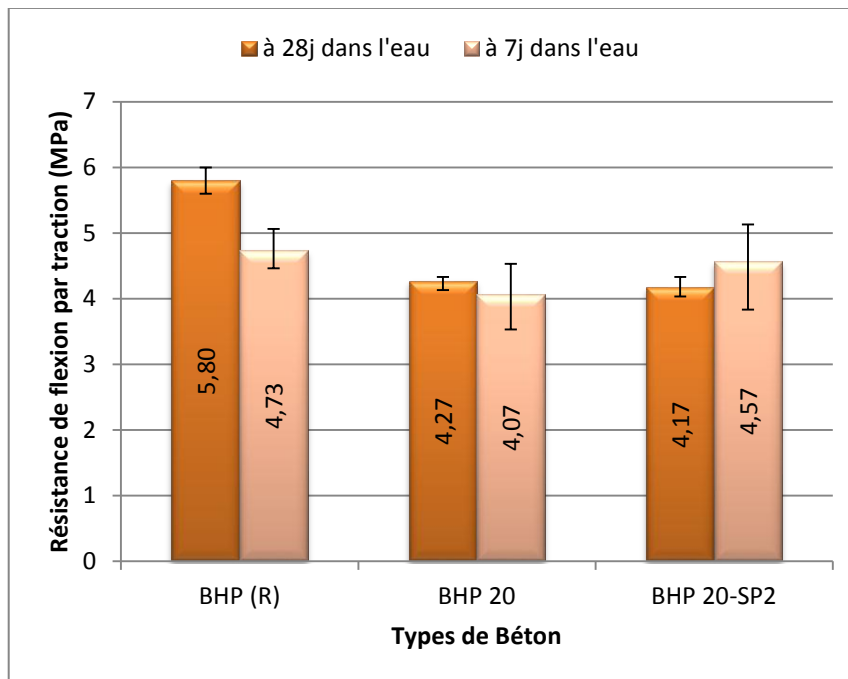


Figure IV.25.Evolution de la résistance en traction par flexion du BHP20

❖ La résistance en traction par flexion dans les différents BHP

- La résistance en traction par flexion du BHP10, BHP15, et BHP20 se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- La résistance en traction par flexion du BHP20-SP2 augmente par rapport à celui du BHP20.

La figure IV.28.Représente la comparaison entre les résultats de la résistance en traction par flexion du BHP à l'état durci à différent effets.

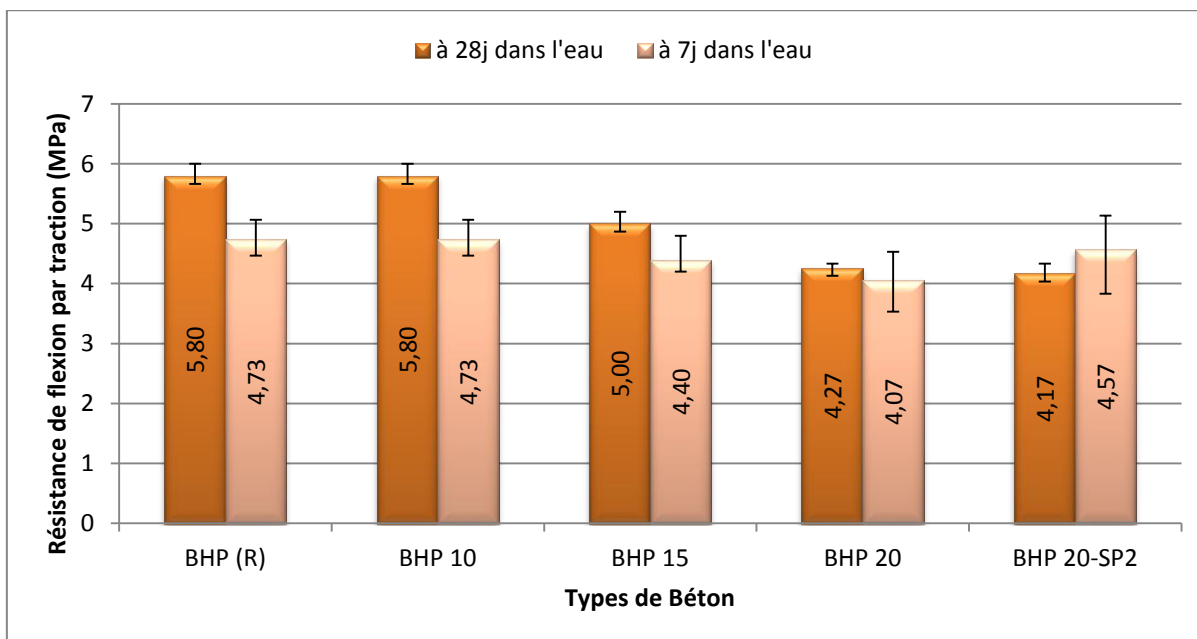


Figure IV.26. Evolution de la résistance en traction par flexion du BHP

IV.3.2.4. La porosité

❖ La porosité dans les différents BHP

- La porosité du BHP10, BHP15, et BHP20 augmente par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP(R).
- La porosité du BHP20-SP2 diminue par rapport à celui du BHP20.
- L'augmentation du dosage du super plastifiant a diminué la porosité du BHP20 de l'ordre de 22,8% mais il sa valeur est tjrs supérieure à celle du BHP(R).

La figure IV.30.Représente la comparaison des mesures de la porosité du BHP.

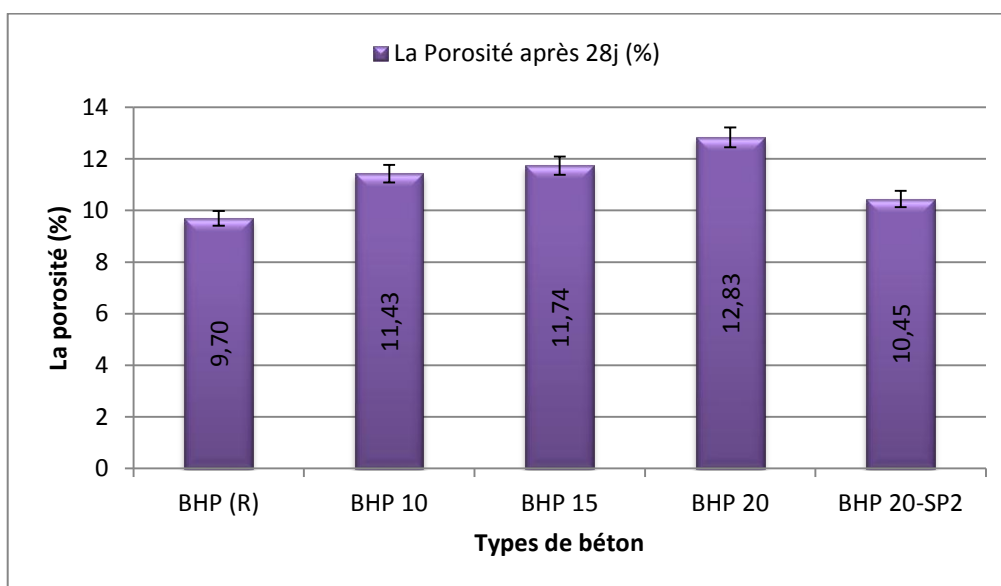


Figure IV.27.Variation de la porosité du BHP

❖ Effet de la porosité sur la résistance de compression à 28j du BHP

- La porosité du BHP10, BHP15, et BHP20 augmente par l'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR par rapport à celui du BHP (R) d'autre part la résistance de compression diminue.
- La diminution de la résistance de compression s'accorde avec l'augmentation du porosité.

La figure IV.30.Représente l'évolution de la résistance de compression par rapport la variation de la porosité du BHP.

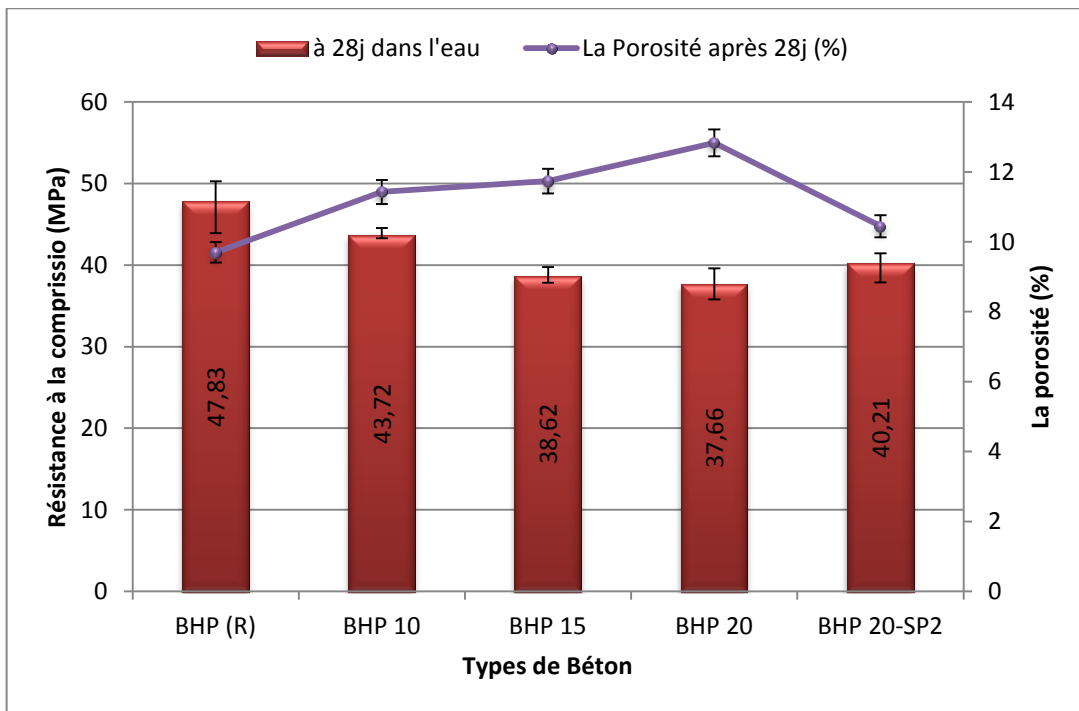


Figure IV.28. Evolution de la résistance de compression avec la porosité

IV.4. CONCLUSION

Dans le présent travail on a utilisé le déchet de brique comme addition cimentaire dans le béton à haute performance avec des taux de substitution ciment de 10%,15% et de 20%.

L'étude comporte l'influence du taux de substitution sur le sur les caractéristiques du béton à l'état frais et durci.

Cette étude a mené à ce qui suit :

- L'influence du déchet de brique finement broyé est négative sur la masse volumique et l'affaissement au cône d'Abrams du BHP à l'état frais.
- L'augmentation du taux de substitution a mené à une diminution des résistances à la compression et en traction par flexion du BHP à l'état durci.
- Plus la masse volumique des BHP à base de déchet de brique est faible plus la porosité est plus élevée.
- Le super plastifiant joue un rôle important sur le béton frais, il améliore la maniabilité, et par suite une facilité de mise en œuvre et une bonne résistance mécanique du BHP à l'état durci.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le béton est un matériau composite d'une matrice composée d'une partie de granulats de différentes dimensions, du sable et de la pâte cimentaire. Ce matériau est présent dans tous les domaines de la construction, notamment bâtiment d'habitation ou industriel, dans les murs de soutènement, dans les ouvrages d'art comme les ponts, les centrales nucléaires, les barrages et les tunnels.

Les chercheurs ont élaboré plusieurs travaux scientifiques dans la perspective d'améliorer les propriétés constructives du béton frais et durci. De ce fait, les Bétons à Hautes Performances (BHP) ont vu le jour. Ces bétons, caractérisés par une résistance à la compression qui dépasse les 50MPa, sont actuellement très utilisés dans le monde dans le domaine des constructions importantes, ils sont définis comme étant un béton qui satisfait les performances requises qui ne peuvent pas être atteintes en utilisant les ingrédients usuels, méthode de malaxage, mise en oeuvre et mûrissement normaux.

Le choix du BHP comme matériau a un impact sur les coûts de construction initiaux (super plastifiant, fumée de silice, ciment) mais la quantité de béton et de ferrailage est réduite. Il a aussi des conséquences tout au long de la vie utile des structures. En effet, ce choix a des effets sur les activités d'inspection, d'entretien et de réparation ainsi que sur sa disposition à la fin de sa vie utile. De plus, ces effets touchent également les usagers de la structure, la société, etc., donc le BHP est le béton le plus économique à long terme.

L'étude des caractéristiques des bétons à haute performance à base de déchet de brique ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ Il est possible de valoriser les déchets de brique pour la fabrication du béton ;
- ❖ Les déchets de brique produisent en général, des bétons dont la résistance est acceptable ;
- ❖ La résistance du béton est fonction de la densité des déchets de brique, Plus la densité est importante plus la résistance du béton est grande ;
- ❖ L'aspect extérieur de couleur rouge éclairée des bétons confectionnés avec des déchets de brique peut offrir une voie nouvelle dans le domaine des bétons apparents ;
- ❖ Les bétons à base de déchets de brique confectionnés, présentent une homogénéité convenable ;
- ❖ Les bétons à base de déchets de brique obtenus sont des bétons légers ;
- ❖ La résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique ;
- ❖ chute au fur et à mesure par substitution successive des déchets, c.à.d. plus le taux de substitution est élevé plus la résistance est faible ;
- ❖ La porosité du béton augmente (compacité diminue) par substitution des déchets ;
- ❖ L'essai d'auscultation dynamique par vitesse du son semble être fiable pour les bétons à base du déchet de brique ;

Enfin, la possibilité d'utiliser le déchet de brique dans le domaine de génie civil pour la confection des bétons, ont donné des résultats satisfaisants dans ce travail.

CONCLUSION GENERALE

Afin de valoriser les déchets de brique, il faut apporter des améliorations aux caractéristiques de ces derniers et de connaître leur performances extrêmes pour mieux apprécier et approfondir cette étude.

Perspectives

En perspective nous proposons les travaux futurs suivants :

- ❖ Étude de l'influence de la cure et du milieu de conservation sur les caractéristiques des BHP élaborés à base des matériaux de la région de M'sila.
- ❖ Étude de la durabilité de ces bétons à haute performance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[01] R. KETTAB. «Elaboration d'un béton a hautes performances». Ecole National Polytechnique d'Alger (ENP), 1er Colloque Maghrébin en Génie Civil.

[02] P-CLAUDE. AITCIN. « Bétons haute performance ». Edition Eyrolles, Janvier 2001, INSB2-212-01323-X. Université de Sherbrooke, Québec, Canada.

[03] Les bétons à haute performance, Chapitre-3.14p.Disponible sur : <http://www.infociment.fr/telecharger/CT-G11.94-107.pdf>.Les Bétons à Hautes Performances-BHP-Info ciment

[04] Brahim Safi, « les bétons a haute performance », Chapitre-iv. 30p.Disponible sur : <http://brahim-safi.e-monsite.com/medias/files/chap-iv-les-betons-a-hautes-performances-bhp.pdf>

[05] Les bétons hautes et très hautes performances, 2p.Disponible sur: <http://www.infociments.fr/betons/types/betons-hautes-performances/beton-hautes-performances-bhprmances-BHP-Info ciment>

[06] GUETTECHE M.N., « Contribution à la valorisation des laitier de haut-fourneau d'EL HADJAR dans le domaine de la construction – caractérisation des matériaux élaborés » - thèse de doctorat, université mentori- constantine, 2002.

[07] Bétons haute performance: “Pierre-Claude AITCIN” Edition Eyrolles 2001.

[08]Lakhal Ridha, «Elaboration des bétons a haute performance a base des sous produit locaux formulation et caractérisation physico-mécanique ».Annaba : Université Badji Mokhtar-Annaba.2011. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/06/memoire-final.pdf>

[09] AITCIN P C. ‘Développements in the application of high-performance concretes’, Construction and building matériels, Vol. 9, No. 1, 1995

[10] Ali BOUACIDA Loucif. «Effet de la qualité de ciment sur les propriétés mécaniques du béton»; Centre Universitaire de Tebassa, Thèse de magister.

[11]Centre De Documentation.Institut Algérien de normalisation date : 2006

[12] [LE 2011] Thi Thu Huong LE. Etude multi-échelle du comportement thermo-hydromécanique des matériaux cimentaires. PhDthesis, Université PARIS-EST, 2011. (Cité en page 13.

[13] cahier des modules de conférence pour l'école d'architecture, « des bétons courants vers les bétons aux nouvelles performances » ,48p disponible sur :

<http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.infociments.fr%2Ftelecharger%2F>

[CTB90G%2520%25281%2529.pdf&ei=UlvfVIfqKMPLYwP9joGgBA&usg=AFQjCNEG9IfuSv1Sa4WW9rnpdhtriyH9RQ&bvm=bv.85970519,d.bGQ](#)

[14] juin 1970. Regourd M., « Hydratation du ciment Portland, dans le béton hydraulique », édité par baron J. et Sautey R., 1982, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-033-5, p.193-221.

[15] Site Web de groupe holcim, <http://www.holcim.com>.

[16] Lebanese Science Journal, Vol. 13, No. 2, 2012.

[17] Aïtcin P-C., « Bétons haute performance », édition Eyrolles, 2001, ISBN 2-212-01323-X.

[18] Auperin M., Richard F. et al., « Retrait et fluage des bétons à hautes performances ». Annales. I.T.B.T.P, n° 474, mai 1989.

[19] TEBBAL Nadia « Effet de la nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance » THESE Doctorat en Génie Civil, 2017, 29 p

[20] COLLECTION TECHNIQUE CIM-BÉTON, « Les bétons : formulation, fabrication et mise en oeuvre » chapitre 3 ; Tome II., Ecole Française du Béton, pp : 96-109 Le site web du centre d'information : <http://www.infociments.fr/betons/composition>.

[21] Bouzoualegh Walid, « Béton fibré à ultra haute performance ». Skikda : Université du Skikda département de génie civil, 2014, 110p.

[22] MENNAI AMOR; "Contribution à l'étude rhéologique d'un béton à hautes performances (BHP) local". Skikda: Université 20 août 2015, mémoire magister.

[23] CIM béton. « Les bétons : formulation fabrication mise en oeuvre ». Tome 2, 134p

[24] Observation Régionale de la Santé Nord-Pas-de-Calais : observation inattendues et capricieuses de la santé : Les déchets et la santé. Disponible sur : http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf. année 2010.

[25] Lefèvre M., " la gestion des déchets en Europe : Notions de Droit Communautaire, Droit Allemand et Droit Français Séminaire International sur la Gestion Intégrée des Déchets Solides ", Recueil des communications, Éditeur GTZ, Alger, 2000.

[26] Beddar. Miloud, " Cour Valorisation Des Déchets ", Master 2 Génie Civil, Université De M'sila, 2015.

[27] MAHAMED Halima Saadia, " Valorisation Des Déchets Pneumatiques Dans Les Matériaux De Génie Civil ", Mémoire Magister En Génie Civil, Université De M'sila..

[28] BARKAT Abderezzak, " valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton ", Mémoire MAGISTER en Génie Civil, 2006.

[29] Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992, RECORD 02-0807/1A - février 2005.

[30] SPERANDIO K : identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en oeuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[31] Allal M.A. et Sayagh C, « Recyclage des Déchets de Construction en Voiries IIIème Congrès Algérien de la Route » recueil des communications, Tome I, ARAL, Alger, 2001, p. 102.

[32] RAMACHANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.

Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil. Ouargla : Université KASDI MERBAH, 05/11/2006.

[33] Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

[34] AREZKI née DJADOUF SAMIA « Thèse étude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite ». P : 31.

[35] Mer Ajroun Redouane « Effet de l'incorporation de briques réfractaires dans le ciment portland » Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de licence p. 40 2013- 2014.

[36] RAMACHANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.

[37] digeste de la construction au Canada division des recherches en construction, conseil national de recherche Canada.-et-de-demolition.

[38] Akhtaruzzaman A.A. et Hasnat A., « Properties of Concrete Using Crushed Brick As aggregate », concrete international, Vol. 5, N° 2, Feb. 1983, p. 58 – 63.

[39] Kibriya T. et Speare P.R.S., « The Use of Crushed Brick Coarse Aggregate in Concrete » concrete for environment enhancement and protection, Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK, June 1996, p. 495 – 503.

[40] Kleinlogel A., « l'influence des divers éléments physico-chimiques sur les Bétons » édition Dunod, Paris, 1960, p. 75 – 140.

[41] Devenny A. et Khalaf F.M., « The Use of Crushed Brick as Coarse Aggregate in concrete », masonry international, Vol. 12, N° 3, Feb. 1999, p. 81– 84.

[42] Ramachandran V. S., utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton », conseil national de recherches Canada, [en ligne], 2004, disponible sur : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd215f.html>, (consulté en 2004).

[43] « bouwmateriële », [en ligne], 2004, disponible sur : http://www.lessius-ho.be/vipterm/databank_bouwmateriële2.htm, (consulté en 2004).

[44] " guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement – annexe E ", service d'architecture et de génie - Services Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004, Disponible sur : http://www.ercr_handbook_append-f.html, (consulté en 2004).

[45] Neville Adam. M., " propriétés des béton ", Edition Eyrolles, paris, 2000 p. 103 – 726.

[46] Dreux G. et Festa J., " Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants ", Edition Eyrolles, 8^{ème} Edition, Paris, 1998, p. 26 + 394.

[47] DJAKAM Imane, " Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux ", Mémoire MAGISTER en Génie Civil , 2015/2016, p 20.

[48] <https://www.google.com/url?sa=t&source=we&rct=j&url=https://100pour100immobilier.com/maison-en-briques/&ved=2ahUKEwitrc7UmpjiAhWkAWMBHSAcA3oQFjAAegQIBBAB&usg=AOvVaw045XSRn1siMKVYwgPn21tz&cshid=1557741362751>.

[49] <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.rowlandpub.com/GIJBWyvl/&ved=2ahUKEwiTIPWinZjiAhXXK1uAKHcRpBIA4MhAWMAR6BAgCEAE&usg=AOvVaw2pvkPlzZRgEZnYJHVgGm6->

[50] DJAKAM Imane «Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux» MASTER Génie Civil 2015/2016 p 21

[51] <https://image.app.goo.gl/Qg92hOrpdM3cFEjdA>

[52] <https://image.app.goo.gl/ei2QNGmiCRLqx4bN7>

[53] DJAKAM Imane, Dirigé par : Dr. BEDDAR Miloud «Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux » Mémoire MAGISTER en Génie Civil, 2015/2016, p.21.

[54] Fiche Technique : Group LAFARGE.

[55] Notice Technique : Group Grantex conforme a la norme EN 934-2 :TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.