



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



Université Amar Telidji- Laghouat

**FACULTÉ DE GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : Lahouha Aida et Chellal Hadjer

DOMAINE: SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX DE GENIE CIVIL

Thème

**VALORISATION DES DECHETS DE BRIQUE POUR
L'ELABORATION DE BLOCS PREFABRIQUES**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
FERHAT AHMIDA	M.A.A	Président
BOUKHELKHAL ABOUBAKEUR	M.C.B	Examineur
ZIREGUE AHMED	M.C.B	Rapporteur

Promotion Juin 2019

Dédicace

Aux êtres qui nous sont les plus chers « Mes Parents ».

A toute ma famille.

A tous mes professeurs.

A mes collègues.

A tous mes amis.

LAHOUHA AIDA

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma mère, celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui

S'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite

A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années de

**Mes études, et qui m'a veillé tout au long de ma vie m'a encourager,
m'a donner l'aide et m'a protégé.**

Que dieu les garde en bonne santé et leur procure une longue vie.

A mes frère Oussama et Mohamed

A mes sœurs Amira et Douaa

A mon marie Abdelkader

A tous ceux qui m'aiment

Et tous ceux que j'aime

CHALLEL HADJER

Remerciement

C'est grâce à Allah le tout puissant que nous cueillons aujourd'hui le fruit de plusieurs années d'études sans relâche. Qu'il soit loué et remercié en premier lieu.

Nous tenons à remercier notre honorable encadreur monsieur «Ziregue Ahmed» d'avoir accepté de nous encadrer pour la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour ses précieux conseils et orientations.

Notre reconnaissance revient aussi aux membres du jury qui nous ont fait la faveur d'accepter d'évaluer ce travail.

Nous n'oublierons pas de remercier monsieur « Ferhat Ahmida » pour son aide précieux dans la réalisation des essais thermique. Nos remerciements vont également à monsieur « Bouziani Tayeb » pour ses conseils et ses orientations

Nos remerciements sont adressés à nos enseignants pour leur contribution durant notre formation.

Nous remercions également tout le personnel du laboratoire pour leur aide au cours des essais réalisés au sein du laboratoire.

Nos remercions très sincèrement nos amis pour leur encouragement pendant tout notre cursus de formation et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de projet de fin d'étude.

Enfin, nous ne savons pas si, un simple merci suffirait pour exprimer le mérite et la dette que nous avons envers nos parents, nous les remercions du profond de notre cœur pour leurs soutiens, et leurs patiences.

Lahouha et Chellal



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



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE ou INSTITUT : SCIENCE DE THECHNOLOGIEIR

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : science et technologie

Filière : Génie civil

Option : Matériaux de génie civil

Thème : Valorisation des déchets de brique pour l'élaboration de blocs préfabriqués

Présenté par : Chellal Hadjer et Lahouha Aida

Encadré par : Ahmed Ziregue

Résumé :

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la possibilité de valoriser les déchets de blocs de brique en les utilisant comme granulats dans l'élaboration des blocs préfabriqués utilisés dans le domaine de construction. La méthodologie adoptée consiste à remplacer Les graviers naturels concassés 3/8 par les granulats à base de brique concassé à des proportions (0%, 25%, 50%, 75% et 100%). Sur la base des caractéristiques physiques et mécanique le béton allégé par les granulats de brique est comparé par rapport au béton témoin à base de granulats naturels. Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base de déchets de brique malgré la défaillance mécanique de ces granulats. La résistance à la compression de ces bétons est acceptable et comparable à celle du béton ordinaire en revanche on signale un apport très préjudiciable en matière d'allègement et d'isolation du béton élaboré.

Mots clés : légèreté, déchets de brique, valorisation, Isolation thermique, Recyclage.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



جامعة عمار ثليجي – الأغواط

كلية/معهد: علوم و تكنولوجيا
قسم: الهندسة مدنية

ملخص مذكرة الماستر

الميدان: علوم و تكنولوجيا

الشعبة: هندسة مدنية

التخصص: مواد الهندسة المدنية

عنوان المذكرة: تثمين بقايا كتل الأجر من أجل انجاز كتل مسبقة التصنيع

تقديم الطالبتين: شلال هاجر ولحوة عيدة

الأستاذ المؤطر: زيرق احمد

ملخص المذكرة:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة إمكانية استغلال بقايا كتل الأجر عن طريق استخدامها كمجاميع في تطوير الكتل الجاهزة المستخدمة في مجال البناء. المنهجية المتبعة هي استبدال الحصى الطبيعي المكسر 8/3 بمواد الركام المكسرة بنسبة (0، 25 %، 50 %، 75 % و 100 %). على أساس الخصائص الفيزيائية والميكانيكية ، تتم مقارنة الخرسانة المخففة بحبيبات بقايا كتل الأجر بالخرسانة المرجعية المصنوعة بالحصى الطبيعي. أظهرت نتائج هذه الدراسة أنه من الممكن تصنيع الخرسانة بحبيبات بقايا كتل الأجر على الرغم من انخفاض مقاومة الضغط لهذه الركام. مقاومة الضغط لهذه الخرسانة ملموسة وقابلة للمقارنة لتلك الخرسانة العادية ، ولكن في المقابل سجلنا تحسن كبير لخصائص العزل الحراري للقوالب المصنوعة.

الكلمات المفتاحية: الخفة ، النفايات ، العزل الحراري ، إعادة التدوير.

Liste Les abréviations

C_{ab}	: Coefficient d'absorption
E_S	: Equivalent de sable
G_N	: Gravillon naturel
G_R	: Gravillon recycle de brique concassée
M_F	: Module de finesse de sable
S	: Section normal de l'éprouvette (en mm ²)
γ_{app}	: Masse volumique apparente
γ_{abs}	: Masse volumique absolue
V_{tot}	: Volume total apparent
M	: La Masse d'échantillon
M_a	: Poids de sable a l'aire
V_{abs}	: Volume absolue de sable
V_1	: Volume d'eau initial
V_2	: Volume d'eau après l'introduction de l'échantillon.
M_h	: Masse de l'échantillon humide, à surface sèche.
M_S	: Masse de l'échantillon sèche.
P	: Porosité
V_v	: Volume du vide
V_T	: Volume total
C	: Compacité
V_s	: Volume du solide
V_T	: Volume total
BLB	: Béton Léger de Brique
SA	: Sable alluvionnaire
SC	: Sable Calcaire
CPJ	: Ciment portland composé
CHF	: Ciment de hauts fourneaux
CPZ	: Ciment pouzzolanique
CLC	: Ciment au laitier et aux cendres

Liste des figures

Fig I.1 : Photo de machine bras de Vincent en 1918.....	8
Fig I.2 : Photo de machine à bras «Rosacometta » en 1920.....	9
Fig I.3 : photo de Première presses vibrantes fixes en 1950	9
Fig I.4 : Les bloc de béton traditionels	10
Fig I.5 : Fabrication de la brique en terre cuite	11
Fig I.6 : photo de brique pleine.....	11
Fig I.7 : photo de Brique perforée	12
Fig I.8 : photo de Brique creux.....	12
Fig I.9 : Dimension de blocs (L*l*h)	12
Fig I .10 : Processus de fabrication des blocs en parpaings	15
Fig I.11 : photo de fabrication des parpaings	16
FigI.12 : Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton	17
Fig II.1 : Représente sable alluvionnaire et sable calcaire	29
Fig II.2 : Représente granulats de brique et gravier	30
Fig II.3 : Courbe granulométriques des sables et des gravies	31
Fig II.4 : Equivalent de sable (Alluvionnaire et calcaire)	33
Fig II.7 : La Masse volumique apparente de sable alluvionnaire.....	34
Fig II.5 : La Masse volumique apparente de sable calcaire	35
Fig II.7 : L'absorption d'eau.....	36
Fig II.8 : Schéma de la sonde TPS	39
Fig II.9 : photo de Dispositif l'analyseur thermique Hot Disk TPS	40
Fig III.1 : La résistance à la compression en fonction d'eau	43
FigIII.2 : La résistance à la compression en fonction des mélanges	45
FigIII.3 : Consistometre Vébé.....	46
FigIII.4 : photo des échantillons.....	48
FigIII.5 : photo des échantillons	48
FigIII.6 : photo de la presse automatique.....	50
Fig III.7 : Photo de presse de 10 KN.....	50
FigIII.8 : Résistance mécanique à la compression en fonction pourcentage des briques	50

Fig III.9 : Résistance mécanique à la flexion en fonction pourcentage des briques	51
FigIII.10 : Variations la masse volumique fonction de pourcentage de brique	51
Fig III .11 : Les variations des Résistances a la compression.....	53
Fig III.12 : Variation de la conductivité thermique en fonction du dosage de brique	54
Fig II.13 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la densité.....	54
Fig III .14 : Les variations des diffusivités thermiques	55
Fig III .15 : Les variations des chaleurs spécifiques en fonction des pourcentages de briques....	55

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs de parements	13
Tableau I.2: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs à enduire)	13
Tableau I.3 : Les classes selon le complément français NF12-023-2 pour réaliser des ouvrages conformes aux DTU	14
Tableau II.1: Propriétés des différents types de ciment	28
Tableau II.2 : Compositions chimiques de ciment	28
Tableau II.3 : Compositions minéralogiques de ciment.....	28
Tableau II.4 : propriétés physiques de ciment.....	29
Tableau II.5 : Les caractéristiques physiques des sables.....	37
Tableau II.6: Les caractéristiques physiques des granulats.....	37
Tableau III.1 : Dosage des constituants de mélange	42
Tableau III.2 : Résistance mécanique à la compression.....	43
Tableau III.3 : Dosage de des différents composants des mélanges pour 1m ³	44
Tableau III.4 : Résistance mécanique à la différents mélanges	44
Tableau III.5 : Dosages finaux des constituants de formulation1	45
Tableau III.6 : Dosages finaux des constituants de formulation2	46
Tableau III.7 : Valeur du temps d'écoulement.....	47
Tableau III.8 : masse volumique apparente de différents pourcentage de brique.....	48
Tableau III.9 : les variations des Résistances a la compression	52
Tableau III.10 : récupératif des résultats des essais thermiques	53

Sommaire

Dédicaces.....	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Liste des abréviations	vi
Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	vi
Introduction Générale	1

Première partie : Recherche bibliographique

I.1 Politique de recyclage

I.1.1 Introduction.....	5
I.1.2 Recyclage des déchets.....	5
I.1.2.1 Définition.....	5
I.1.2.2 Techniques de recyclage.....	5
I.1.2.2.1 .Procédés du recyclage.....	5
I.1.2.2.2 La chaine du recyclage.....	6
I.1.3 .Impact du recyclage dans l'industrie.....	6
I.1.3.1. Source d'approvisionnement alternative	6
I.1.3.2 .Création d'activités.....	6

I.1.3.3 .Cout de main-d’œuvre.....	7
I.1.4 .Impacts du recyclage sur l’économie	7
I.2 Les produits agglomérés	
I.2.1 Introduction.....	10
I.2.2 La naissance du bloc béton	10
I.2.3 Définition Blocs de béton traditionnels.....	10
I.2.4 Maçonnerie en brique d’argile cuite.....	11
I.2.4.1 Brique pleine.....	11
I.2.4.2 Brique perforée.....	12
I.2.4.3 Brique creuse.....	12
I.2.5. Normes et règles en vigueur.....	12
I.2.5.1.Modèle et dimensions de bloc selon les normes français NF.....	12
I.2.5.2. Domaines d’emplois et avantages.....	14
I.2.5.3. Performance et classe de résistances.....	14
I.2. 6.Processus de fabrication des parpaings.....	15
I.2.7. Blocs de béton à granulats légers.....	16
I.3 Le béton léger à base des granulats des briques	
I.3.1 .Introduction.....	18
I.3.2.Définition de brique.....	19
I.3.2.1 Type de brique.....	19
I.3.3. Recyclage et Normes.....	20
I.3.4. Propriétés du béton de granulats de brique.....	20
I.3.5 .Utilisation des bétons des déchets de brique.....	21
I.3.6. Les travaux antérieurs.....	22
I.3.7.Syntèse bibliographique	24

.Deuxième partie : l'étude expérimentale

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

Introduction	27
II.1. Les matériaux utilisés	27
II.1.1.Ciment.....	27
II.1.2.Les sables	29
II.1.3. Les granulats	30
II.1.4 .Eau de gâchage	30
II.2. Caractérisation des matériaux.....	30
II.2.1.1.Analyse granulométrique	30
II.2.1.2. Coefficient d'uniformité	31
II.2.1.3. Module de finesse	31
II.2.2. Equivalent de sable	32
II.2.3. Masse volumique apparente	33
II.2.4. Masse volumique spécifique	34
II.2.5. Capacité d'absorption d'eau	35
II.2.6. porosité des sables.....	36
II.3. Caractéristiques thermiques	37
II.3.1. Définitions.....	37
II.3.2. Méthodes de mesure des paramètres thermiques	38
II.3.3. Dispositif expérimental	38
II.4 .Méthode de détermination des paramètres thermiques.....	39

Troisième partie: Résultats des essais et interprétations

III.1.Préparation des compositions	42
III.1.1 choix de dosage en eau	42
III.1.1.1 les outils	42
III.1.1.2. Mode opératoire	42

III.1.2. Optimisation des dosages en sables	44
III.1.2.1. choix de formulation pour la confection de blocs de béton.....	45
III.3.Etude l'ouvrabilité du béton élaboré.....	46
III.4. Caractérisation du béton à l'état durci	47
III.4.1. La masse volumique apparente.....	47
III.4.2. Résistance à la compression	49
III.4.3.Résistance à la flexion.....	49
III.4.4 La conductivité thermique	53
Conclusion Générale.....	57
Recommandation.....	58
Les Références bibliographique.....	59

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans tous les pays du monde, le tissu urbain ne cesse de consommer des millions de tonnes de matériaux de construction et de produire en parallèle des millions de tonnes de déchets de démolition. Les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage de déchets. La disposition de décharges facilement accessibles autour des grandes villes a diminué la distance entre les sites de démolition et les surfaces de décharges publiques sont devenues plus grandes.

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement.

Dans un autre contexte, les bétons dit légers ont connus ces dernières années un véritable regain depuis leur apparition en 1866 beaucoup de travaux de recherche ont été entrepris récemment dans le but de valoriser les déchets légers dans le but de les utiliser comme granulats légers.

Les déchets (dits inertes) peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers des travaux publics ou encore en d'autres applications dans le domaine de la construction, en particulier, comme granulats pour le béton.(Djakam.I,2016)

Parmi ces déchets, les débris de brique peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication du béton. La production de brique est rejetée à cause de la défaillance ou par casse.

d'autre part les déchets de brique de démolition sont estimés à (30%)(Bourmatte .N ,2017).L'idée de recycler ces déchets de brique et de les valoriser, en les utilisant comme granulats légers s'avère très intéressante non seulement pour l'allègement du bloc de béton, mais également pour la protection de l'environnement . Dans la mesure où les résistances du béton élaboré restent au-dessus du seuil de résistance limite.

La voie envisagée dans ce travail est la substitution d'une partie de volume de granulats calcaires 3/8 utilisés dans la fabrication des blocs par une même partie de volume des granulats brique. En les incorporant dans une matrice cimentaire à base de sable alluvionnaire et calcaire.

L'objectif de ce travail d'étudier la possibilité de réutiliser les déchets de brique dans l'élaboration d'un béton léger destiné à la fabrication des blocs agglomérés.

Afin d'atteindre ces objectifs cités supra nous avons suivi le plan de travail suivant.

Une première partie : réservée à la recherche bibliographique, divisée en trois chapitres qui suivent : Le premier chapitre consacré à la politique de recyclage et ces avantages sur le plan économique et environnementale. Le deuxième chapitre portant sur l'industrie des blocs préfabriqués ainsi que les normes liées à produit. Enfin et dans un troisième chapitre nous explicitons quelques généralités sur les bétons de granulats légers en générale et les bétons à base de déchets de briques en particuliers. Nous terminerons cette partie par une revue sur les travaux antérieurs relatifs aux bétons à base de déchets de briques.

Une deuxième partie : est consacrée aux matériaux et méthodes expérimentales. Dans cette partie nous citons en premier lieu les différents matériaux utilisés dans l'élaboration des bétons de déchets de briques ainsi que leurs caractéristiques physiques.

Dans un deuxième lieu nous explicitons la méthode de formulation et de mise en œuvre des bétons de déchets de briques. Enfin nous terminerons cette par l'illustration des différents essais de caractérisation physico-mécanique et thermique des matériaux élaborés.

Une troisième partie : regroupant l'ensemble des résultats de cette étude et leur interprétation en se référant aux résultats de la littérature.

Nous terminerons enfin cette étude par une conclusion générale et les perspectives.

PREMIÈRE PARTIE :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Politique de recyclage

I.1.1. Introduction

Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est pour cela qu'actuellement, de nombreux pays cherchent des alternatives pour pallier à ce problème. C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable, avec par exemple sur le plan énergétique, l'apparition des éoliennes ou de la géothermie. Cependant l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est le recyclage et la valorisation des déchets.

I.1.2. Recyclage des déchets

I.1.2.1 Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage
- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération. Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

I.1.2.2 Techniques de recyclage

I.1.2.2.1 Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine (concassage, broyage). Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

I.1.2.2.2 La chaîne du recyclage

➤ Collecte des déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage sont à la transformation. La collecte sélective est souvent appelée à tort tri sélectif. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation.

➤ Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

➤ Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés (Bourmatte .N ,2017).

I.1.3. Impact du recyclage dans l'industrie

I.1.3.1. Source d'approvisionnement alternative

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.(Bourematte.N,2017)

I.1.3.2. Création d'activités

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

I.1.3.3. Coût de main-d'œuvre

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis.

Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri.

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

I.1.4. Impacts du recyclage sur l'économie :

- ✓ L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- ✓ Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- ✓ Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ; (Bourmatte .N ,2017).
- ✓ L'aluminium est recyclable à 100% ; donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- ✓ Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- ✓ Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15g de bois.

I.2 Les produits agglomérés

I.2.1 Introduction:

Il existe une très grande variété de maçonnerie en raison du nombre de matériaux utilisés, pierres naturelles, brique en terre cuite perforé ou non, blocs de béton (agglomérés), etc. La construction en maçonnerie est la juxtaposition de cette dernière avec d'autres matériaux de construction (mortier de chaux ou de ciment, pâte, ...etc.) liés entre eux et formant un ensemble de forme et dimensions déterminées. Dans une construction, l'ensemble des matériaux d'un ouvrage doit se comporter comme un monolithe, c'est-à-dire que ses éléments doivent être en équilibre sous l'action des différentes forces qui les sollicitent.

I.2.2 La naissance du bloc béton : (Zengui.Z et Benyoucef.H ,2012)

Les témoignages photographiques les plus anciens montrent une fabrication manuelle de blocs par pilonnage du béton dans un moule métallique que l'on peut situer vers la fin du XIX^e siècle. (**Fig I.1**).

On procède déjà à la fabrication de blocs, probablement exclusivement pleins, par démoulage immédiat. Le stockage nécessite donc un espace important.

Les premières machines à bras (**Fig II.2**) apparaissent aux environs de la première guerre mondiale ; elles sont d'origine Italienne et Américaine.



Fig I.1: Photos de machine à bras de vincent en 1918



FigI.2: Photo de la machine à bras «Rosacometta » en 1920.

La fabrication est assurée, dans certains pays, directement sur le site de construction des ouvrages (en Angleterre, par exemple), ce qui ne devait pas simplifier les choses surtout en hiver, les premières usines apparaissent alors dans le but de résoudre le problème du stockage, environ 250 blocs par poste de huit heures.

Les premières presses vibrantes fixes apparaissent aux environs des années 50 du XX siècle. (FigI.3).



FigI.3:Photos premières presses vibrantes fixes en 1950.

I.2.3 Définition des blocs de béton traditionnels

Le bloc de béton (parpaing) est depuis de nombreuses années le matériau le plus utilisé pour les constructions d'habitations dans nos régions. Il possède des qualités économiques et de résistance intéressantes tout en étant facilement recyclable. Il est fabriqué en usine à base de ciment, de sable, d'eau et de granulats. Sa forme parallélépipédique ainsi que sa taille et son poids sont adaptés pour être facilement mis en place par un homme. Les principales applications du bloc en béton sont les murs et cloisons de bâtiments de faible à moyenne hauteur, principalement les maisons (Courard, 2011 ; Menet et Gruescu, 2014 ; Parmentier, 2012).

Rappelons que le béton de construction peut se classer en plusieurs catégories selon sa masse volumique (Menet et Gruescu, 2014 ; Parmentier, 2012) :

- Très lourd $> 2500 \text{ kg/m}^3$
- Lourd compris entre 1800 et 2500 kg/m^3 (béton classique, granulats courants)
- Léger compris entre 500 et 1800 kg/m^3 (béton de granulats légers) - Très léger $< 500 \text{ kg/m}^3$

En ce qui concerne les blocs, on retrouve trois sortes qui sont classées selon la quantité d'évidements (Calva, 2009 ; Courard, 2011 ; Menet et Gruescu, 2014 ; Parmentier, 2012) :

- Bloc plein **(a)**: sans alvéoles.
- Bloc perforé **(b)** : contient plusieurs rangées d'évidements creusés à intervalles réguliers et possède une meilleure capacité d'isolation thermique que le bloc plein.
- Bloc creux **(c)** : inclut de deux à quatre larges alvéoles de forme parallélépipédique. Il s'agit du bloc le plus largement utilisé car il possède l'avantage d'utiliser moins de matière qu'un bloc pleine.



(a)



(b)



(c)

Fig I .4 : blocs de béton traditionnels

Les blocs creux les plus courants ont une résistance moyenne de 8 N/mm^2 . Pour rappel, la résistance à la compression (en N/mm^2 ou MPa) est le rapport entre la charge maximale admissible par le bloc et la surface brute de la face du bloc (Courard, 2011 ; Parmentier, 2012 ; Prefer).

La capacité d'isolation thermique d'un bloc de béton est plutôt faible, le coefficient de conductivité thermique varie autour de 1 W/m.K selon la densité du bloc et le nombre d'alvéoles. Pour améliorer l'isolation d'un bâtiment, il existe plusieurs alternatives qui seront abordées par la suite (ajout d'une couche d'un matériau plus isolant, bloc à isolation intégrée, etc.).

Pour édifier un mur, les blocs sont assemblés entre eux par une mince couche de mortier (1 cm) qui constitue le joint. La technique du joint est la plus utilisée en maçonnerie mais peut constituer un point faible dans la structure ou un pont thermique si le bloc s'avère plus isolant que le mortier (Menet et Gruescu, 2014 ; Parmentier, 2012 ;).

I.2.4 Maçonnerie en brique d'argile cuite :

La brique à maçonner en terre cuite possède de remarquables propriétés de durabilité, de résistance, de stabilité, de régulation de l'humidité et d'inertie thermique; elle contribue donc très activement à un habitat sécurisé et sain, éléments essentiels au développement d'une atmosphère agréable. Grâce à ses performances thermiques et phoniques, la brique à maçonner en terre cuite est adoptée par de nombreux systèmes de construction, tels que le traditionnel « double mur » ou utilisée en combinaison avec des matériaux isolants intérieurs ou périphériques modernes.



figI.5 Les étapes de fabrication de la brique en terre cuite (BAUD, 1990)

Il existe 3 types de briques :

- Briques pleines
- Briques perforées
- Briques creuses

I.2.4.1 Brique pleine :

Élément de construction traditionnel, la brique pleine possède des faces planes, sans relief. Elle permet de construire des murs porteurs ou des cloisons, et peut être utilisée comme matériau de parement ou être laissée apparente (figure I.6)

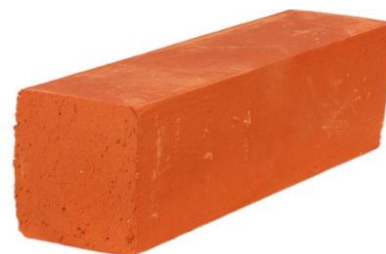


Fig I .6: Brique pleine

I.2.4.2. Brique perforée :

Brique comportant des alvéoles perpendiculaires au plan de pose. Elle permet de réaliser des murs porteurs ou des cloisons, elle représente une bonne isolation thermique. Elle a été utilisée avec succès pour la réalisation de plusieurs tours, son grand avantage c'est qu'elle offre une excellente résistance à la compression et au cisaillement (**figure I.7**).

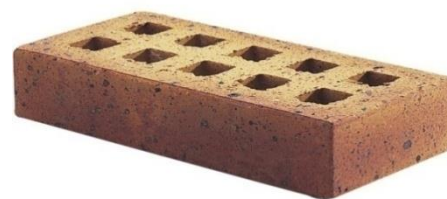


Fig I .7: Brique perforée

I.2.4.3. Brique creuse :

Légère et économe en matériau en comparaison à une brique pleine, une brique creuse est conçue pour une variété d'applications dont l'isolation, la ventilation, la construction de façades. Certaines briques creuses peuvent être remplies et disposer des barres de renforcement pour améliorer la force de tension et de torsion d'une structure. Une brique creuse est classée en fonction de son usage (structure porteuse, isolation, etc.) ou du matériau utilisé (**figure I.8**).



Fig I.8: Brique creuse

I.2.5. Normes et règles en vigueur :

On note dans ce paragraphe les différentes exigences concernant la géométrie, la résistance mécanique et thermique ainsi que d'autres exigences de stabilité selon les normes.

I.2.5.1. Modèles et dimensions de bloc selon les normes françaises NF:

Dimensions du bloc (Longueur*Largeur*Hauteur en mm) dans une appellation structure et classe de résistance visée, (**Fig I.9**).

La norme Européenne NF EN 771-13 Compil (P12-023-1 Compil) n'impose pas de dimensions de fabrication. Par contre, elle modifie le mode de désignation des produits:

Auparavant : largeur*hauteur*longueur, en cm (EXP : 15*20*40).

Actuellement : longueur*largeur*hauteur en mm (EXP : 400*150*200).



Fig I.9: Dimensions de blocs (LxI xh) .

PREMIÈRE PARTIE : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Le complément de la norme française NF P 12-023-2 (**tableaux I.1**) définit les dimensions de fabrication permettant de respecter les dimensions de coordination modulaire. Ces dimensions sont garanties par la marque NF.

Tableau I.1: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs de parements).

BLOCS DE PAREMENT	
Dimension de coordination modulaire (mm)	
Longueur	100-150-200-250-300-350-400-450-500-550-600
Largeur (épaisseur du bloc)	50-150-200
Hauteur	100-150-200-300
Dimensions de fabrication correspondantes (mm) : elles sont identiques aux dimensions de coordination ci-dessus, réduites de 10 mm, que les blocs soient à maçonner ou à coller	

Tableau I.2: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs à enduire).

	BLOCS A ENDUIRE				
	Dimensions de coordination modulaire	Blocs à maçonner			Blocs à Blocs coller
		Blocs Courants	Blocs à Emboitement	Blocs non Parallélépipédiques	
Longueur (mm)	400	400	396	Longueurs de fabrication déclarées	396
	500	500	496		496
Largeur (mm)	100	100	100	100	/
	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200
Hauteur (mm)	200	200	190	190	196 ou 198
	250	250	240	240	246 ou 248
	300	300	290	290	296 ou 298

I.2.5.2 Performances et classes de résistance :

Les blocs, qui par définition servent à construire des murs, doivent assurer une fonction de portance. Il en résulte que l'une de leurs propriétés essentielles est la résistance à l'écrasement. La classe représente la contrainte de rupture exprimée en bars ($B40=40\text{bars}=4\text{MPa}$).

Rapporté à la section brute minimale du bloc. Quatre-vingt-quinze pour cent des blocs fabriqués dans une classe donnée doivent présenter une résistance à l'écrasement égale ou supérieure à cette valeur (fractile 0.05) et aucun résultat ne doit être inférieur à 90% de la valeur de la classe.

Les classes de résistance des blocs destinés à être enduits et de ceux destinés à rester apparents sont indiquées dans le **tableau I.3**.

Tableau I.3: les classes selon le complément français NF 12-023-2 pour réaliser des ouvrages conformes aux DTU.

	Blocs destinés à être enduit		Blocs destinés à rester apparents	
	Granulats Courants	Granulats Légers	Granulats Courants	Granulats légers
Blocs creux	B40-B60-B80	L25-L40	P60-P80-P120	LP40-LP55
Blocs pleins ou perforés	B80-B120-B160	L35-L45-L70	P120-P160-P200	LP45-LP70

B : blocs en béton de granulats courants.

L : blocs en béton de granulats léger.

P : blocs apparents en béton de granulats.

LP : blocs apparents en béton de granulats légers.

I.2.5.3 Domaines d'emplois et avantages :

Le bloc de béton de largeur nominale de 20cm avec un enduit extérieur est devenu la référence, qui a détrôné tous les autres procédés de construction. Par exemple en Europe (France) plus de 7 maisons individuelles construites sur 10, possédant des murs en blocs de béton (ou parpaing).

C'est le matériau le moins cher pour construire et qui présente de nombreux avantages :

Le coût de transport est beaucoup plus faible par rapport aux autres matériaux à cause de la large répartition des plates-formes de production sur le territoire, un chantier propre avec une nuisance moindre et limitée dans le temps, la résistance minimale à la compression est de 4MPa à 16MPa avec certains blocs béton et la facilité à mettre en œuvre. Le parpaing existe en plusieurs épaisseurs ce qui permet de concevoir des murs à différentes géométries. Le respect des recommandations de construction limite beaucoup les risques de fissuration pour un matériau sujet à la dilatation et au retrait.

Du point de vue écologique, il ne nécessite que très peu d'énergie pour sa fabrication (moins de 12 watts) et en plus il est à 100% recyclable.

L'empilement de plusieurs blocs, hourdés par mortier, permet la construction de structure légère.

I.2.6. Processus de fabrication des parpaings

La figure suivante montre le processus de fabrication des blocs de parpaing (Cherif.H ,2014).



FigI.10: Processus de fabrication des blocs en parpaing (QGM, 2014)

- 1 : Échantillonnage des agrégats
- 2 : Mélangeur
- 3 : Bande transporteuse
- 4 : Moulage des blocs
- 5 : Système de contrôle
- 6 : Gerbeur de déchargement
- 7 : Plateforme de séchage



Machine de fabrication



Fabrication des blocs

FigI.11:Photo de fabrication des parpaings (SOGERHWIT, 2014)

I.2.7 Blocs de béton à granulats légers

Le béton à granulats légers se différencie des autres bétons légers par la manière dont l'air est retenu : ici, la légèreté du bloc ne provient pas de la pâte, mais bien des granulats où l'air est emprisonné. Dans ce genre de béton léger, les granulats ordinaires utilisés pour fabriquer le béton traditionnel sont remplacés par des granulats légers (structure contenant un grand nombre d'alvéoles) d'origine naturelle ou non. Ces granulats possèdent une plus grande capacité d'isolation thermique mais sont moins résistants mécaniquement que les granulats classiques (Pauchet, 2004 ; Yang et al., 2003 ; Al-Jabri et al., 2004 ; Unal et al., 2007 ; Oliva, 2009).

Plusieurs sortes de granulats peuvent être utilisées (Pauchet, 2004) on peut citer:

- les pierres naturelles légères : la pierre ponce, la pouzzolane ou la vermiculite;
- les matériaux naturels avec ou sans traitement thermique : l'argile expansée, le schiste expansé, la perlite expansée et les copeaux de bois;
- les matériaux artificiels: (et déchets industriels) : le laitier expansé, le mâchefer, les cendres volantes frittées, les billes de polystyrène expansé.

Il existe aussi des blocs qui utilisent des matériaux recyclés comme granulats (débits de béton, de maçonnerie, de revêtements hydrocarbonés, etc.). Cette filière est en constant développement et très intéressante car elle permet de réduire le coût du bloc ainsi que son empreinte écologique, et constitue une alternative utile pour l'utilisation de déchets inertes (Lamalle.M, 2004).

PREMIÈRE PARTIE : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Il est important de mentionner que le sujet abordé dans ce travail, font donc partie de la catégorie des blocs à granulats légers (**Fig I.12**).



Pierre ponce



Pouzzolane



Vermiculite



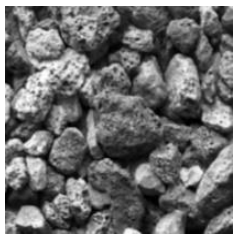
Argile expansible



Schiste expansible



Perlite



Machefer



Cendre volante



Polystyrène



Copeaux de bois

Fig I.12: Granulats Légers

I.3 Le béton léger a base granulats de brique

I.3. Introduction

Dans le cadre de travaux de génie civil, on distingue trois catégories principales des déchets : les déchets inertes, et les déchets dangereux.

Déchets Inertes

Les déchets inertes sont les déchets les plus stables. En cas de stockage en décharge, ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante et ne présentent pas de danger pour l'homme et l'environnement.

Selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets inertes tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve :

- Béton
- Briques
- Parpaings
- Tuiles et céramiques
- Terres et granulats non pollués

Il n'existe pas de définition légale pour cette catégorie. Toutefois, dans l'acception courante, ce sont des déchets :

- générés par les entreprises (commerce, artisanat, industrie, service) et administration
- non inertes mais ne représentant aucun caractère toxique
- pouvant être assimilés aux ordures ménagères car ils contiennent dans des proportions plus importantes les mêmes composants que les OM.

Les déchets banals comprennent : les emballages (palettes, cartons, plastiques, bois,...), les déchets de cantine et d'entretien des locaux, les loupés et chutes de fabrication

Déchets dangereux

Les déchets dangereux ou les déchets industriels spéciaux (DIS) sont des déchets qui présentent un caractère polluant ou toxique et nécessitent d'être éliminés dans une filière spécifique. En citant par exemple : pots de peinture, tubes de colle, certains déchets d'amiante, Néons, etc. Matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités normes.

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

On appelle « chamotte » : terre cuite broyée ou concassée.

I.3.2 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.

I.3.2.1 Types de brique

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée. On distingue différents types de briques :

- La brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...),
- La brique de terre compressée,
- La brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose),
- La brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilise une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- La brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée. Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression,
- La brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique,
- La brique non gélive,
- La brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc. Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- Briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives,
- Briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs,

Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- Briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives,
- Briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs,
- Briques plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend. Que plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend.

I.3.3 Recyclage et normes

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des débris de briques de terre cuite qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres.

D'une part, techniquement, les débris de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des granulats de débris des briques.

Les débris de briques ont été très employés dans les pays d'Europe qui ont été très ravagés, à la fin de la seconde guerre mondiale, comme la République Fédérale Allemande par exemple. Des tas de décombres de villes dont les débris de briques générés, se trouvent en quantités énormes. Vu la désorganisation des moyens de production, il était difficile de se procurer des matériaux de construction.

En conséquence, des débris de briques ont été utilisés pour produire des granulats et des normes ont été élaborées telles que :

- **DIN4155:** Corps creux et parpaings en T en béton de débris de briques.
- **DIN4158:** Hourdis creux de planchers en béton léger pour planchers nervurés en béton armé.
- **DIN4161:** Parpaings de béton de briques.
- **DIN4162:** Carreaux de cloisons en béton de débris de briques.
- **DIN4163:** Béton de débris de brique : conditions de fabrication et d'emploi.

I.3.4 Propriétés du béton de granulats de brique.

Les briques concassées sont utilisées largement au Bangladesh pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante. (Djakam.I ,2016)

L'usage du concassé de briques comme granulat est d'intérêt particulier dans les pays tel que l'Inde et le Pakistan. (Djakam.I ,2016)

Les résultats des essais du béton de granulats de brique concassée 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

Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de brique concassée, résultantes des essais et des recherches sont :

- Les briques concassées, provenant des briques et tuiles, possèdent des résistances propres de 100 à 300 kg/cm².

- 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 granulat avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulat pendant 30 min.
- La masse volumique apparente du béton de brique concassée varie de 2000 à 2080 kg/m³. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal.
La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulat normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de brique concassée.
- Pour les bétons de granulats de brique concassée, le rapport eau – ciment optimum est 0,55 ; bien que si la haute ouvrabilité est exigée, alors les mélanges puissent être faits avec un rapport eau – ciment jusqu'à 0,7.
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel.
- Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut avoir corrosion et efflorescence dans le béton. (Djakam.I, 2016)

I.3.5. 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/m . c 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.
- Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage.
- 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.
- Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager.
- Le béton à base de briques concassées présente particulièrement une bonne résistance au feu .
- Les bétons réfractaires sont des bétons confectionnés avec du ciment alumineux et qui sont non armés, capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques, à l'abrasion et aux chocs thermiques répétés.
- Les granulats à base de brique concassée conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, carnaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours...

I.3.6 Les travaux antérieurs :

Djakam, I (2016) ' a élaboré un béton léger à partir des matériaux locaux .L'objectif principal est d'étudier les caractéristiques physico mécaniques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés des bétons à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser, dans certains domaines de la construction, comme granulats artificiels plus légers que les granulats courants.

L'étude a portée sur trois classes granulaires : sable (0/5), gravillon (3/8) et gravillon (8/16) des granulats de brique concassée ainsi que des granulats naturels. Le gravier et le sable naturel sont remplacés partiellement de (25, 50, 75 et 100%) par le mélange de gros et fins granulats à base de brique concassée. Par comparaison avec un béton à base de 100% de granulats naturels, et l'utilisation de poudre d'aluminium pour obtenir un béton cellulaire .Les propriétés des bétons à base de déchets de brique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles du béton ordinaire.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base de déchets de brique malgré la défaillance mécanique de ces granulats.

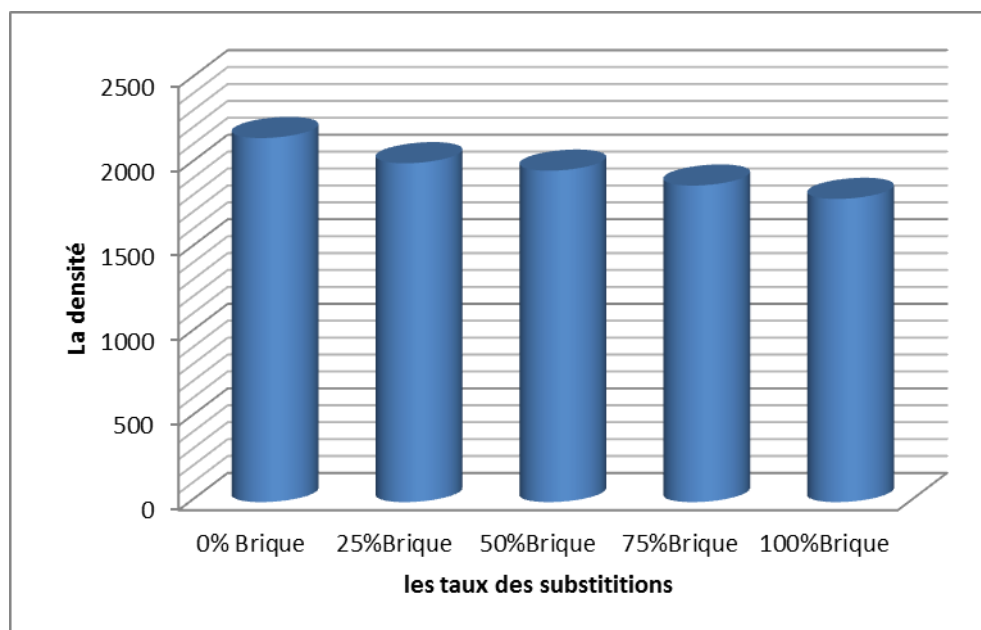


Fig I.11 : La Masses volumiques des bétons durcis en (kg/m^3) en fonction taux des substitutions

Bousmaha, A et Boutarouk, H (2009) ont utilisé du sable de dune dans la fabrication des blocs de béton. L'objectif principal est la connaissance de l'influence de sable des dunes sur les propriétés physico -mécaniques des blocs Les résultats indiquent que la masse volumique diminue en fonction l'augmentation de la proportion de sable de dune.

Bourmatte; (2017) a étudié la possibilité d'utiliser des granulats recyclés de déchets de briques dans la composition des mortiers. Le taux de substitution en granulats recyclés est de (0, 25, 50, 75 et 100%). Les résultats indiquent que plus le taux de substitution augmente plus la résistance en compression diminue, alors on peut utiliser ces granulats avec des taux limités dans le mortier.

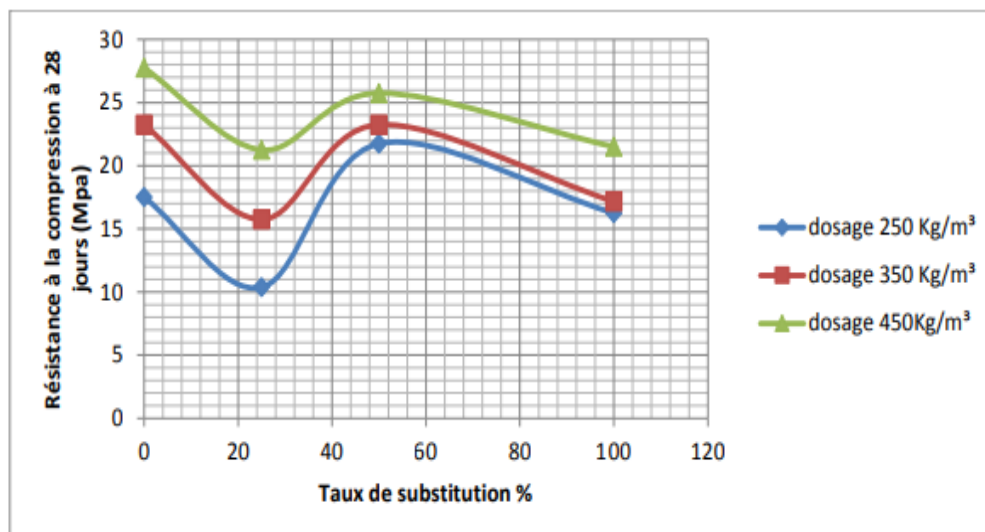


Fig I.12 : Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton pour les trois dosages à 28j

I.3.7. Synthèse bibliographique

Aujourd'hui le recyclage n'est plus une option mais une nécessité. Il n'est plus permis d'enfouir les déchets avant qu'ils ne soient devenus « ultimes », car le problème de la place pour les stocker commence à se poser. Il n'est pas possible de recycler la totalité de nos déchets...mais un effort de la part des ménages, des communautés urbaines et des industriels peut nous aider à tendre vers cet objectif, car de gros efforts sont encore à faire au niveau de la collecte.

Notre recherche dans les déchets nous a montré la possibilité d'utilisation des déchets de briques qui peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication des blocs de 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 des structures peut être désirable et pour l'isolation thermique.

DEUXIÈME PARTIE :
ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE II :

Caractérisation des matériaux et essais réalisés

Introduction

Les caractéristiques des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et les performances des produits élaborés. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants. De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature. Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes et les modes opératoires en vigueur.

II.1. les matériaux utilisés sont :

- Le sable alluvionnaire
- Le sable de calcaire
- Le ciment de CPJ - CEM II/B 42,5
- Le gravier calcaire 3/8
- Les déchets de briques (de granulats recycle 3/8)
- L'eau de gâchage

II.1.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique ,c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau ,forme une pate qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement ,conserv sa résistance et sa stabilité même sous l'eau .Le ciment est obtenu à partir d'un ou plusieurs constituents.Le ciment employé lors de l'étude est un ciment portland composée CPJ - CEM II/B 42,5 ; de classe commerciale 42.5 MPA.

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classes en fonction de leur composition en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1.Ils sont notés CEM et numérotés de 1à5 en chiffres romains dans leur notation française est indiquée entre parenthèse):

CEM I: Ciment Portland (CPA-dans la notation française),

CEM II: Ciment Portland composé(CPJ),

CEM III: Ciment de haut fourneau(CHF),

CEM IV: Ciment pouzzolanique(CPZ),

CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC)

DEUXIÈME PARTIE :ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le Tableau IV.1

Tableau II.1:Propriétés des différents types de ciment

	Notation	Clinker	Autres Constituants	Constituants Secondaires
Ciment Portland	CEM I	95 – 100	--	0 – 5
Ciment Portland Composé	CEM II A	80 – 94	6 – 20	--
	CEM II B	65 – 79	21 – 35	--
Ciment de haut fourneau	CEM III A	35 – 64	36 – 65	0-5
	CEM III B	20 – 34	66-80	0-5
	CEM III C	5 – 19	81-95	0-5
Ciment pouzzolanique	CEM IV A	65-90	10-35	0-5
	CEM IV B	45-64	36-55	0-5
Ciment Composé	CEM V A	40-64	18-30	0-5
	CEM V B	20-39	31-50	0-5

Tableau II.2 : Compositions chimiques de ciment

Eléments	Perte au feu	Résidus Insolubles	Sulfates SO ₃	Oxyde de magnésium Mg	chlorures	Equivalent en alcalis
Teneur(%)	7.50-12.00	0.7-2	2.00-2.70	1.00-2.20	0.01-0.05	0.3-0.75

Tableau II.3 : Compositions minéralogiques de ciment

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Tenure (%)	58-46	12-18	6-8	10-12

Tableau II.4 : Propriétés physiques de ciment

Consistance normale de la pate de ciment(%)	Finesse de Blaine (NA231)	Retrait à 28 j	Expansion en (mm)
25-28.50	4150-5250	<1000	0.3-2.5
Temps de prise à 20 °c (NA230)			
Début de prise (min)		140-195	
Fin de prise (min)		195-290	
Résistance à la compression (NA234)			
02 Jours (MPA)		≥ 10.0	
28Jours(MPA)		> 42.5	

II.1.2. Les sables

Le sable est l'un des composants importants dans la réalisation des béton utilisés dans la préfabrication de blocs de béton dans notre cas , il s'agit du sable naturel, alluvionnaires (SA), et du sable calcaire (SC).(figure IV.1)



Fig II.1: sable alluvionnaire et sable calcaire

II.1.3. les granulats



Fig II.2: Représenté granulats de brique et gravier

Les granulats utilisés sont les graviers calcaires 3/8 et les graviers 3/8 de briques (**Figure IV. 2**)

II. 1.4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, l'évolution des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion

Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage du béton, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose. En effet, l'eau potable de robinet est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai.

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire.

II. 2. Caractérisation des matériaux

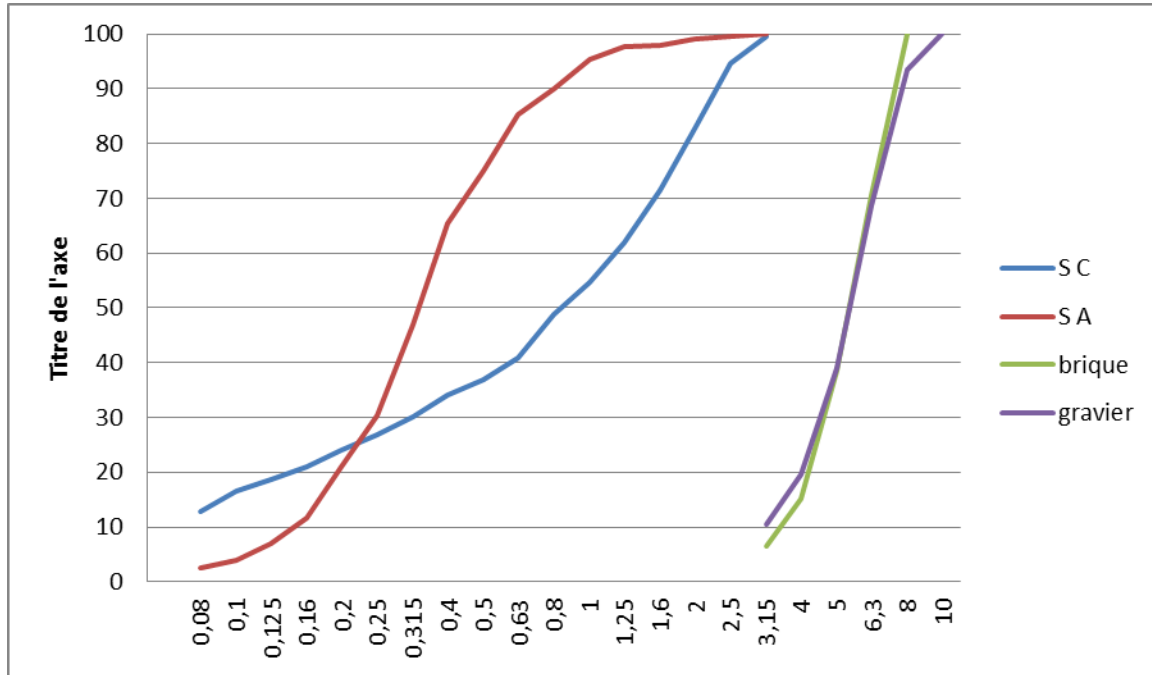
II. 2.1. 1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NF P18-560** sur le sable et les graviers.

La préparation des échantillons se fait suivant la norme **NF P18-553** Selon cette norme la masse de l'échantillon étudié doit vérifier la condition suivante :

$200D < M < 500D$, M'étant la masse de l'échantillon exprimée en gramme et D et La dimension maximale exprimée en millimètre

les courbes granulométriques des différents matériaux sont représentées sur (la figure IV.3).



FigII .3: Courbe granulométriques des sables et des graviers

II.2.1. 2. Module de finesse

Le module de finesse M_f d'un sable est égale au centième (1/100) de la somme des refus cumulés exprimé (en % sur les tamis de module 23, 26, 29, 32, 35, 38). Ce paramètre est utilisé pour caractériser la finesse des sables.

Le module de finesse d'un granulat est donné par la relation suivante :

$$M_f = \sum \text{refus cumulée \%} / 100$$

Dans notre cas les résultats des essais effectués sur les deux sables, sable alluvionnaire et sable de calcaire donne les valeurs suivantes :

$M_f = 1,9$ pour le sable alluvionnaire

$M_f = 1,8$ pour le sable calcaire

[D'après les courbes granulométriques des deux sables nous pouvons dire que les sables sont des sables référentiels de granulométrie étalée et bien graduée sur l'intervalle 0-3mm], de module de finesse $M_{f_{sal}}=1.9$ et $M_{f_{sc}}=1.8$ et qu'ils renferment un pourcentage de fine respectivement de 3.5% et 12.5%.

II. 2.2. Equivalent de sable

L'équivalent de sable (Es) permet de contrôler la propreté d'un sable et déterminer le pourcentage des poussières nuisible. L'essai a été fait conformément à la norme NF P18-598.

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans ce sable.

Exécution de l'essai

- Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère de 100 mm.
- Verser progressivement à l'aide de l'entonnoir, la prise d'essai dans l'éprouvette puis frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main afin de déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer 10 minutes.
- Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de $20\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ de course horizontale en 30 secondes ± 1 seconde, à la main ou mécaniquement.

Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante à l'aide du tube laveur au-dessus de l'éprouvette, rincer les parois de l'éprouvette puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette

- Faire remonter les éléments fins, tout en maintenant
- l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante :

L'éprouvette étant soumise à un lent

- mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur.
- Lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur, relever le tube laveur de façon à maintenir le niveau de liquide à la hauteur du trait repère.

Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

- Laisser reposer pendant 20 minutes ± 10 secondes.
- Mesurer à l'aide du régleur la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette et la hauteur h_2 du niveau supérieur du sable propre au fond de l'éprouvette.
- Descendre doucement le piston dans l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette.
- Bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston.
- Introduire le régleur dans l'encoche du manchon, amener le zéro contre la face inférieure de la tête du piston.
- Lire la hauteur h_2 du sédiment au niveau de la face supérieure du manchon. Ces opérations sont schématisées ci-dessous

Recommencer ces opérations avec la 2 prise d'essai.

Les caractéristiques physiques du sable sont représentées dans le tableau IV.5



FigII.4 : Equivalent de sable (Alluvionnaire et calcaire)

II. 2.3. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est calculée d'après la norme **NF P18-555**. C'est le rapport de la masse d'échantillon (M) sec sur le volume total apparent (V_{tot}) (y compris le volume des vides). La masse volumique apparente (γ_{app}) est donnée par la relation suivante :

$$\gamma_{\text{app}} = M/V_T$$

Exécution de l'essai

Prendre un récipient calibré de volume connu V_T .

Peser ce récipient vide M_0

Verser le matériau dans la récipient calibré jusqu'au refus avec les mains formant entonnoir et situées à 10 cm au-dessus du récipient.

Araser le granulat (dans 2 directions perpendiculaires) avec une règle à araser, de telle sorte à remplir parfaitement le récipient (**Figure IV.6**).

Attention à ne pas tasser le matériau lors de cette manipulation

Peser le récipient ainsi rempli. Soit M_1

$M = M_1 - M_0$ exprimé en kg représente la masse de l'échantillon, V_0 exprimé en dm^3 représente le volume du récipient,

γ_{app} est la masse volumique apparente exprimée en kg/dm^3 .



Fig II.5: Masse volumique apparente de sable alluvionnaire

II. 2.4. Masse volumique spécifique

On entend par masse spécifique la masse de l'unité de volume absolue d'un corps (volume matière plein). La masse volumique spécifique peut être calculé par la formule suivant :

$$\gamma_s = M_a / V_s$$

M_a : poids de sable a l'aire

V_s : $V_2 - V_1$, volume absolue de sable

V_1 : volume d'eau initial

V_2 : volume d'eau après l'introduction de l'échantillon.

Exécution de l'essai

- Mettre dans un récipient, une quantité de granulat sec et la peser (de l'ordre de 300 à 700 g)
- Remplir une éprouvette graduée d'un volume V_1 d'eau, noter ce volume
- Verser dans l'éprouvette l'échantillon de granulat, tapoter l'éprouvette de manière à faire remonter les bulles d'air puis mesurer le volume final (FigureIV.6)



Figure II.6 : la masse volumique apparente de sable calcaire

II. 2.5. Capacité d'absorption d'eau

La capacité d'absorption d'eau est déterminée en utilisant la norme **NF P18-554**. Le coefficient d'absorption d'eau du sable est en fonction de sa porosité relative, il donne par la formule suivante :

$$C_{abs} = [(M_h - M_s) / M_s] \times 100$$

M_h : masse de l'échantillon humide, à surface sèche.

M_s : masse de l'échantillon sèche.

- **Coefficient d'absorption d'un granulat**

" Prendre un échantillon de gravillon d'environ 1000g le laver au tamis de 4mm, puis le sécher à l'étuve jusqu'à masse constante. Soit **M_s** sa masse

" Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.

Eponger soigneusement l'échantillon avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement.

" Peser l'échantillon ainsi épongé, soit **M_h** sa masse.

- **Coefficient d'absorption d'un sable**

" Prendre un échantillon de sable d'environ 600g, le sécher à l'étuve jusqu'à masse constante. Soit **M_s** sa masse

" Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.

DEUXIÈME PARTIE :ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

" Etaler l'échantillon sur une surface non absorbante.

Exposer le sable à un flux d'air chaud en le remuant pour assurer un séchage uniforme en veillant à ne perdre aucun élément du sable.

" Continuer l'opération jusqu'à ce que le sable approche l'état d'écoulement libre (grains libres de toute force capillaire)

" Remplir alors le moule sans tasser et damer légèrement 25 coups. Retirer le moule (Figure IV.7).

" Si l'humidité demeure, l'échantillon garde la forme du moule, il faut alors le sécher un peu plus être commencer l'essai.

" Si l'état d'écoulement libre est atteint, l'échantillon damé s'affaisse au démoulage, l'essai est terminé.

" Peser la totalité de l'échantillon soit M_a la masse.



Fig II .7 : d'absorption d'eau

II. 2.6 Porosité des sables

La porosité (p) est le rapport du volume du vide (V_v) au volume total V_T

$$P = V_v / V_T = 1 - C$$

Ou la compacité (C) représente le volume du solide (V_s) sur le volume total V_T

$$C = V_s / V$$

Tableau II.5 : Les caractéristiques physiques des sables

	Masse volumique apparente (kg/m ³)	Masse volumique absolue (kg/m ³)	Equivalent de sable (%)	Absorption d'eau (%)	Porosité
Sable alluvionnaire	1.530	2.670	90	0.53	0.43
Sable calcaire	1.58	2.6	69.76	4.7	0.41

TableauII.6 : Les caractéristiques physiques des granulats

	Masse volumique apparente (kg/m ³)	Masse volumique absolue (kg/m ³)	Absorption d'eau (%)	Porosité
Gravier naturel	1.22	2.65	4.2	0.53
Granulat de brique	0.93	2.3	14.02	0.6

D'après les caractéristiques on signale une grande absorption d'eau des granulats de brique relativement à celle de graviers naturels et qu'il faut tenir en compte au cours de la formulation. En revanche les granulats de brique présentent des masses volumiques assez faibles qui vont contribuer à l'allègement du produit final.

II. 3. Caractéristiques thermiques :

II. 3.1. Définitions :

Cette partie n'a pas été prévue au début de notre travail, néanmoins et à titre d'information nous avons voulu avoir une idée sur les caractéristiques thermiques de nos bétons, puisque la propriété la plus importante est leur pouvoir isolant qui est lié directement aux paramètres thermiques. Toutefois, une étude détaillée du comportement thermique des bétons élaborés pourra faire l'objet d'une étude ultérieure.

Avant d'expliciter les procédures expérimentales, il est nécessaire de définir les paramètres caractérisant le pouvoir isolant d'un matériau:

➤ **La conductivité thermique :**

La conductivité thermique λ exprimée en $\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, traduit l'aptitude d'un matériau à conduire la chaleur. Parmi les facteurs qui influent sur la conductivité thermique des matériaux de construction, citons : la porosité et la teneur en eau.

➤ **La capacité calorifique :**

Elle traduit l'aptitude d'un matériau à emmagasiner la chaleur, elle est notée (c) et exprimée en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

➤ **La diffusivité thermique :**

Le rapport $a = \lambda/\rho c$ est appelé diffusivité thermique du matériau, elle exprime la vitesse de propagation d'une perturbation thermique dans un milieu, elle est exprimée en (m^2/s).

➤ **L'effusivité thermique :**

L'effusivité thermique est la propriété d'un corps à arracher de la chaleur à un autre corps avec lequel il est mis en contact, elle est caractérisée par un coefficient d'arrachement ou effusivité, $b = \sqrt{\lambda \rho c}$ exprimée en ($\text{J.m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}.\text{K}^{-1}$).

IV. 3.2. Méthodes de mesure des paramètres thermiques

De nombreuses méthodes de mesure de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique et de l'effusivité thermiques des matériaux s'appuient donc sur la détermination d'un champ de température dans des échantillons de géométrie connue, en imposant des conditions aux limites constantes ou variables avec le temps. Parmi ces méthodes, citons deux méthodes les plus utilisées, il s'agit de la technique de la sonde monotige à faible inertie thermique, et la méthode de la sonde plane **TPS** (Transient Plane Source).

Pour nos mesures on a utilisé la technique de la sonde plane **TPS**, en raison de sa capacité de détermination de la conductivité et la capacité thermique des matériaux contrairement à la méthode de la sonde monotige qui ne permet de déterminer que la conductivité thermique, de plus les erreurs liées à la résistance de contact sont minimales dans la **TPS** que dans la sonde monotige.

II. 3.3. Dispositif expérimental :

L'essai consiste à placer en sandwich la sonde TPS (Figure IV8) et la relier à un circuit électrique. La variation de la résistance au borne du pont de Whestone, ΔU permet d'accéder à la différence de potentielle $\Delta E(t)$ aux bornes de l'élément TPS. Une relation entre $\Delta E(t)$ et la variation de

température dans l'élément **TPS** peut être établie. Celle-ci est fonction de la diffusivité thermique **a** et de conductivité thermique λ . Un traitement mathématique approprié permet d'accéder à λ , **a** et ensuite **c**

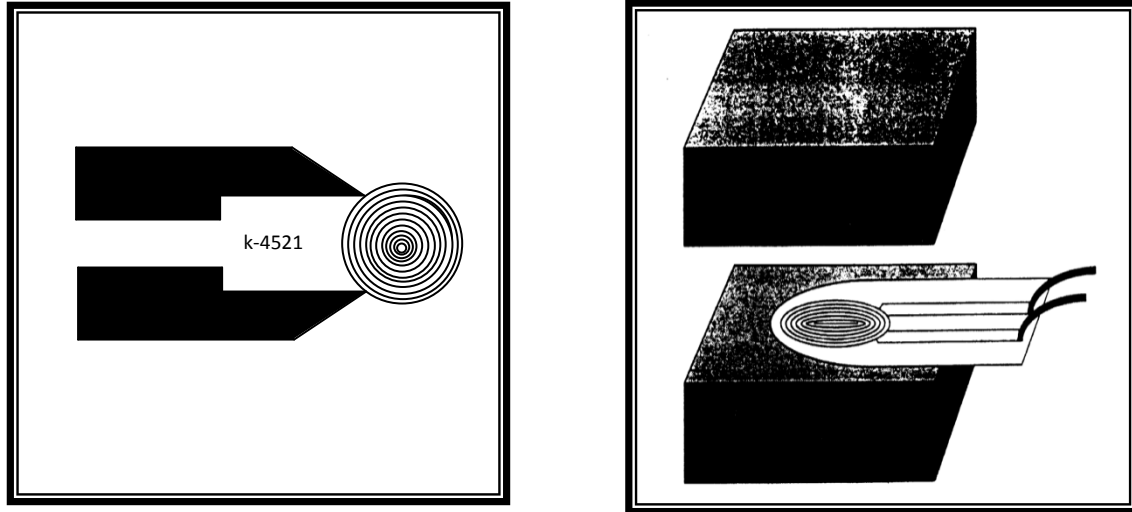


Fig II.8 : Schéma de la sonde TPS

II. 4. Méthode de détermination des paramètres thermiques :

Les caractéristiques thermiques des matériaux élaborés ont été déterminées à l'aide de l'analyseur thermique Hot Disk TPS (**Fig IV.8**) développée par la société suédoise HOT DISK AB. Le Hot Disk est un dispositif de caractérisation thermique fonctionnant sur le principe de la Technologie TPS. Il effectue des mesures précises de conductivité, de diffusivité et de capacité thermique en une seule manipulation : le Hot Disk Instrument idéal pour des mesures rapides et fiables de conductivité thermique et diffusivité thermique.

La méthode, régie par la Norme Internationale **ISO 22007-2**, est basée sur l'utilisation d'un capteur plan transitoire, dont l'adaptation est l'analyseur de conductivité thermique et diffusivité thermique Hot Disk. La sonde Hot Disk se compose d'un motif conducteur électrique qui se présente sous la forme d'une double spirale en Nickel sérigraphie sur des feuilles minces d'un matériau isolant (Kapton ou Mica) (**Figure IV.9**).

Le principe de base du système est de fournir au matériau à caractériser une puissance constante pendant un temps défini via la **sonde Hot Disk** afin de générer une augmentation de température de un à plusieurs degrés. C'est également la sonde qui est utilisée pour mesurer l'élévation de température, grâce à l'enregistrement de la variation de sa résistance électrique via un pont de Wheastone très précis. La **sonde Hot Disk** est donc utilisée à la fois comme source de chaleur et comme capteur de température. (Ziregue . A, 2005)

DEUXIÈME PARTIE :ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Pour effectuer une mesure de conductivité thermique ou diffusivité thermique, la sonde Hot Disk doit être placée entre deux échantillons du matériau à caractériser et une légère pression mécanique est appliquée sur l'ensemble, dans le but d'améliorer le contact mécanique entre les surfaces de la sonde et celles de l'échantillon diminuant ainsi l'effet des résistances thermiques de contact les paramètres thermiques sont ensuite calculés par un logiciel.



Fig II.9. Dispositif l'analyseur thermique Hot Disk TPS

Chapitre III :

Résultats des essais et interprétations

III. 1. Préparation des compositions

III.1.1. Choix de dosage en eau

La première étape, nous avons fixé le dosage en ciment et granulats (gravillon et sable alluvionnaire selon la norme (NF P 14-304) relative au béton destiné à l'élaboration des blocs préfabriqués et recherché le dosage en eau optimal nécessaire pour avoir un affaissement nul (béton ferme) Le critère de choix du dosage en eau est la résistance maximale.

TableauIII.1 : Dosages des constituants de mélange1

Composants	Gravier 3/8	Sable Alluvionnaire	Ciment
Dosage en (kg/m ³)	1200	600	250

III.1.1.1. Les outils

- Malaxeur
- Table vibrante.
- Cône d'Abrams.
- Chronomètre.
- les moules cubiques (10x10x10)

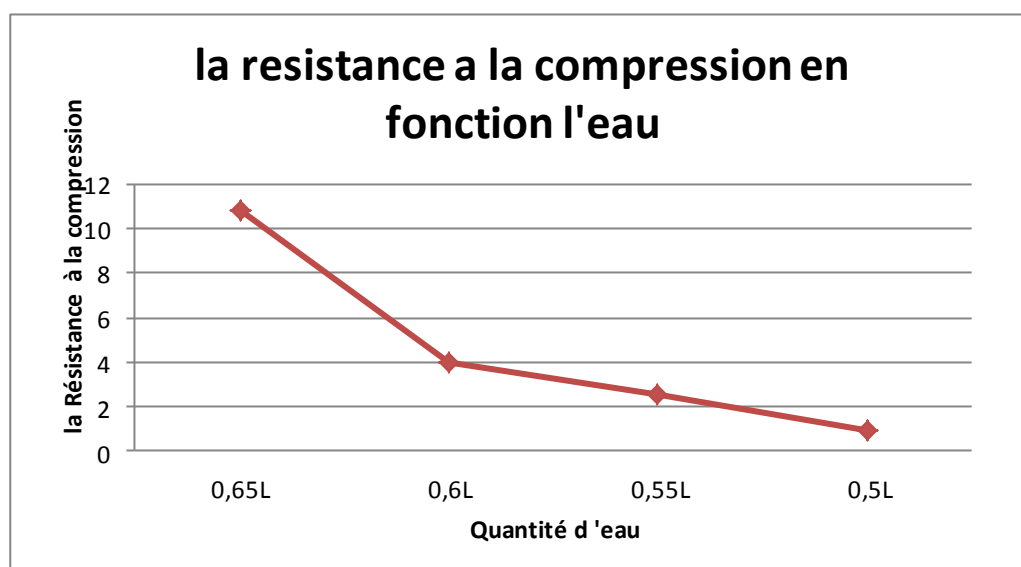
III.1.1.2. Mode opératoire

- Préparation des granulats
 - Préparation de ciment
 - Introduction du mélange obtenu (granulats+ ciment) dans la bétonnière.
 - Homogénéisation de ce mélange pendant60s.
 - Introduction de l'eau de gâchage. La durée du malaxage est 3min.
 - Remplir les moules cubiques (10x10x10).
 - Vibration du moule rempli pendant 30s, sur une table vibrante normalisée.
- Après 3jour écrasement les échantillons.

Tableau III.2 : Résistance mécanique à la compression R_c

La quantité d'eau en L		Charge d'écrasement (KN)		résistance mécanique a la compression en(Mpa)
		Echantillons1	Echantillons2	
1	0,65	114.4	102.35	10.837
2	0,6	50.8	33.7	4.225
3	0,55	30.9	20.9	2.59
4	0,50	11.1	8.2	0.965

Ces résultats sont traduits en courbes par la figure suivantes :



FigIII.1 : La Résistance à la compression en fonction d'eau

D'après ces résultats, on remarque une diminution de la résistance mécanique à la compression en fonction du dosage en eau. la quantité d'eau sera choisi selon la résistance relative à la valeur minimale de la classe de résistance des blocs préfabriqué (NF P14-101). Sachant que la classe de résistance des blocs est B60 c'est à dire que la résistance à la compression des blocs est de 6MPa. Donc on prendra le dosage en eau de 0.65.

III.1.2. Optimisation des dosages en sables

Afin d'avoir une meilleure compacité et une bonne résistance de nos blocs préfabriqués nous avons pensé utiliser une combinaison de sable alluvionnaire et de calcaire à des proportions bien définies.

A cet effet nous avons préparé quatre compositions en faisant substituer du sable alluvionnaire par du sable calcaire à des proportions de 25, 50, 75, 100%

les dosages en ciment et gravier sont maintenus fixes alors que le dosage en eau est fonction des dosages en sables. Les compositions des différents mélanges sont représentées dans le tableau III.3. Le mélange optimum est celui qui nous donne la meilleure résistance et par conséquent la meilleure compacité.

Tableau III.3 : dosages de des différents composants des mélanges pour 1m³

Composants	Dosage en kg			
	Mélange1 50%SA+50%SC	Mélange2 25%SA+75%SC	Mélange3 75%SA+25%SC	Mélange4 0%SA+100%SC
Gravillon	3.6	3.6	3.6	3.6
SA	0.88	0.45	1.32	0
SC	0.88	1.32	0.45	1.75
Ciment	0.72	0.72	0.72	0.72
Eau	0.53	0.54	0.51	0.56

Après écrasement à 3 jours des éprouvettes cubiques les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Résistance mécanique à la compression de différents mélanges

Les mélanges		Charge d'écrasement (KN)	Résistance mécanique à la compression en(MPa)
Mélange1	50%SA+50%SC	35.6	3.56
Mélange2	25%SA+75%SC	33.4	3.34
Mélange3	75%SA+25%SC	50.6	5.06
Mélange4	100%(SC)	32.1	3.21

Les variations de la résistance à la compression et selon le dosage sont représentés sur la figure III.2.

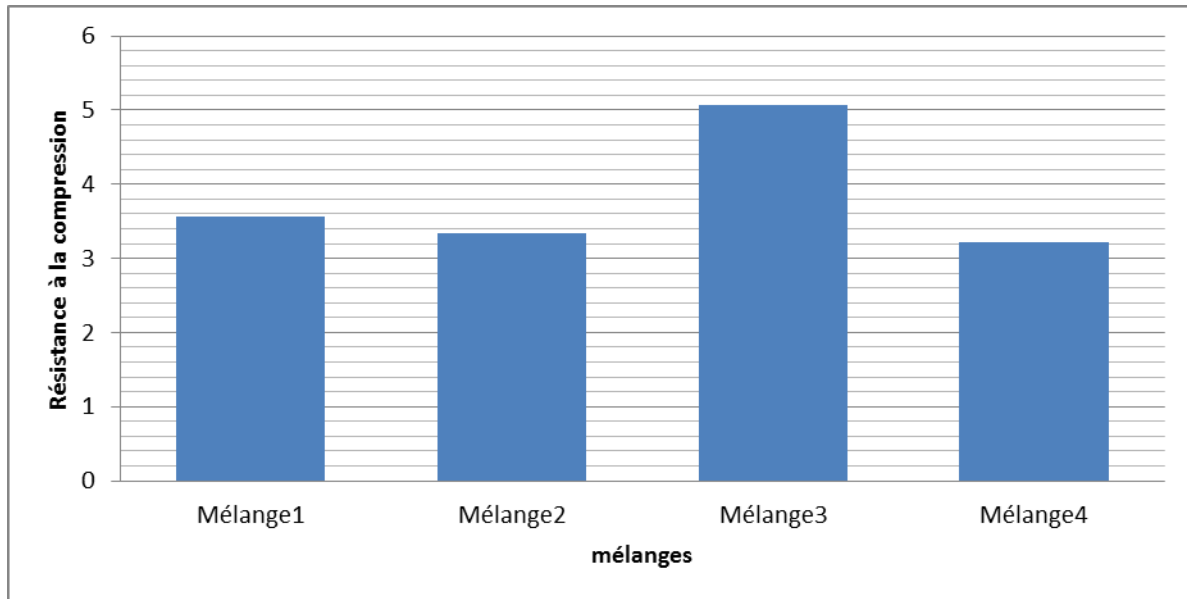


Fig III.2 :La résistance à la compression en fonction des mélanges

D'après ces résultats obtenus et en se référant à la figure V.2 On voit que l'optimum du mélange 3a la plus grande résistance que les autres. A cet effet on adoptera une composition de 75% de sable alluvionnaire et 25% de sable calcaire.

III.1.2.1 Choix de formulation pour la confection de blocs de béton :

Les blocs de béton doivent être fabriqués selon les critères suivants

-Résistance acceptée.

-bonne isolation thermique

Faible masse volumique à l'état durci

Pour la formulation de nos bétons nous adopterons la démarche suivante:

➤ La formulation du béton témoin.

Le béton témoin est un béton composé de 75% de sable alluvionnaire et 25% de sable calcaire, de 100% de gravier 3/8, de ciment et d'eau. Sa composition pondérale de 1m^3 est montrée dans le tableau III.5

Tableau III.5 : Dosages finaux des constituants de formulation 1

Composants	Ciment	Eau	Gravier3/8	SA	SC
Dosages (kg/m ³)	250	174	1200	450	150

➤ Formulation des bétons allégés

Le but essentiel de cette étude était d'élaborer un béton léger à base de granulats de brique pouvant être utilisé dans la préfabrication des blocs agglomérés ayant une bonne légèreté et de bonnes performances thermique avec des résistances acceptables. A cet effet et dans le souci de valoriser les déchets de brique, nous avons opté pour la substitution d'une partie de volume de gravier par une même partie de volume de gravier de brique à des pourcentages 25, 50, 75 et 100%. Les compositions pondérales de 1m^3 de béton des mélanges élaborés sont montrées dans le tableau III.6. Les mélanges sont notés BLBx% (Béton Léger de Brique à x%: x=25, 50, 75, 100).

Tableau III.6 : Dosages finaux des constituants de formulation 2

Composants	Ciment	Eau	Gravier 3/8	Sable alluvionnaire SA	Sable Calcaire SSC	Gravier Br
BLB 25%	250	174	900	450	150	300
BLB 50%	250	174	600	450	150	600
BLB 75%	250	174	300	450	150	900
BLB 100%	250	174	0	450	150	1200

III. 3. Etude de l'ouvrabilité du béton élaboré

Nous avons utilisé un consistomètre Vébé pour estimer l'ouvrabilité des bétons élaborés (Figure III.3)



Figure III.3 : consistomètre Vébé

Les résultats de mesure temps d'écoulement Vébé ont été présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : Valeurs du temps d'écoulement

des pourcentages graviers de brique	Temps d'écoulements
0%Brique	11seconds
25%Brique	30seconds
50%Brique	15 seconds
75%Brique	8 seconds
100%Brique	5 seconds

Les résultats figurant dans le tableau que le temps d'écoulement en fonction de l'augmentation de pourcentage de brique diminue cela est probablement dû au fait que les granulats de brique par leur légèreté ils contribuent à l'augmentation de la vitesse d'écoulement et par conséquent à la diminution du temps. Ce phénomène est pratiquement observé pour tous les bétons de granulats légers

III.4. Caractérisation du béton à l'état durci

III.4.1. Masse volumique apparente

Selon la norme européenne NF EN 206 -1, un béton de masse volumique normale, c'est un béton dont la masse volumique après séchage à l'étuve est supérieure à 2000 Kg/m^3 mais inférieure ou égale à 2600 kg/m^3 .

La masse volumique du béton durci a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne NF EN 12390 -7. Elle a été déterminée, à l'âge de 28 jours, sur une éprouvette cubique (10x10x10cm) de masse (m) constante après séchage à l'étuve et de volume (V).



Figure III.4 Photos des échantillons



Figure III.5 Photos des échantillons

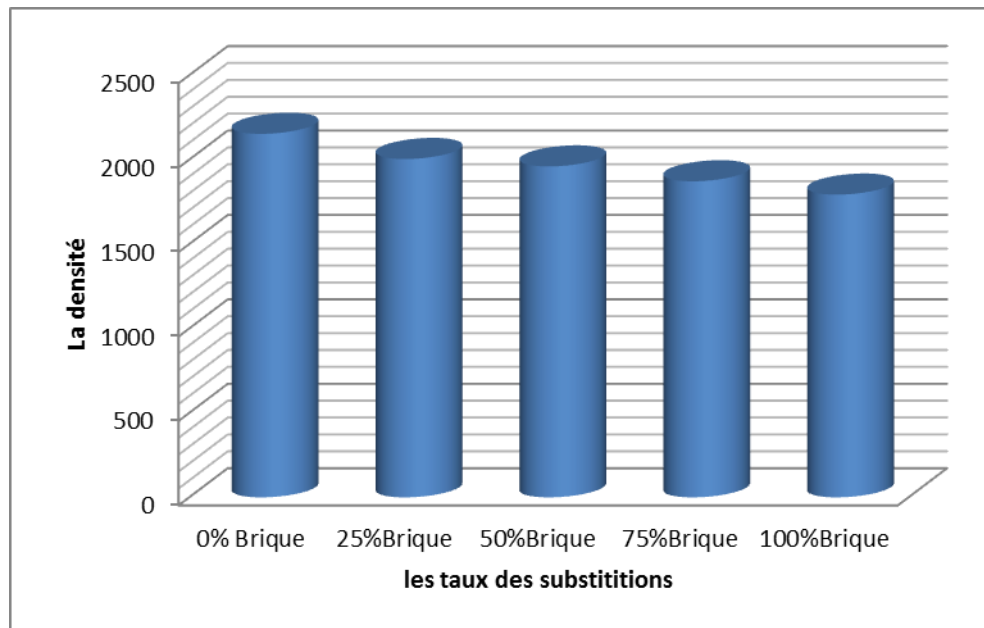
Nous avons procédé à la mesure de la masse volumique apparente de différents pourcentages de brique à l'état durci dans 28 jours. C'est pour voir l'influence de l'introduction de gravier de brique sur le poids.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.8 : Masses volumiques apparentes de différents pourcentages de brique

Les pourcentages des briques	0%brique	25%brique	50%brique	75% brique	100%brique
Masses volumiques (kg/m ³)	2153	2004.2	1960.3	1872.36	1793.25

En général, on remarque que la masse volumique diminue en fonction du dosage en brique. Elle est de 2153 kg/m³ pour le béton témoin et elle atteint une valeur minimale de 1793.25kg/m³ pour 100% de brique avec un taux de diminution 17%. L'effet positif de brique est clair, puisque la masse volumique diminue en fonction de l'augmentation de pourcentage de brique.



FigIII.10: Variation la masse volumique en fonction les taux de substitutions

III.4.2. La Résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression du béton a été effectué conformément à la norme européenne NF EN 12390- 3, par application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique, dans le sens perpendiculaire à l'axe de coulage, jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression .

La résistance à la compression du béton, à l'âge déterminé, est égale à la moyenne Arithmétique, exprimée à 0,5 MPA près, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvettes cubiques de 10 cm d'arête.

La norme NF EN 12390 - 3 préconise une vitesse constante de chargement dans la plage 0,2 MPa/s (N/mm². s) à 1,0 MPa/s (N/mm².s). Appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue à la vitesse constante sélectionnée 10 % jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

En cas d'utilisation de machine d'essai commandée manuellement, compenser, lorsque la rupture d'éprouvette est proche, toute tendance au ralentissement de la vitesse sélectionnée de charge, par un réglage approprié des commandes. La charge maximale obtenue doit être enregistrée. Dans notre cas on a utilisé une presse de compression flexion automatique assistée par un ordinateur utilisant un logiciel Trapezium (Figure V.6).

III.4.3 . Résistance à la flexion

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau.

Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture (Figure V.7).



Figure III.6 Photos de la presse automatique



Figure III.7 Photos de la presse 10KN

Les résultats de la campagne d'écrasement en compression et en flexion réalisées sur les différentes éprouvettes obtenus sont représentés sur la figure III.8 et III.9.

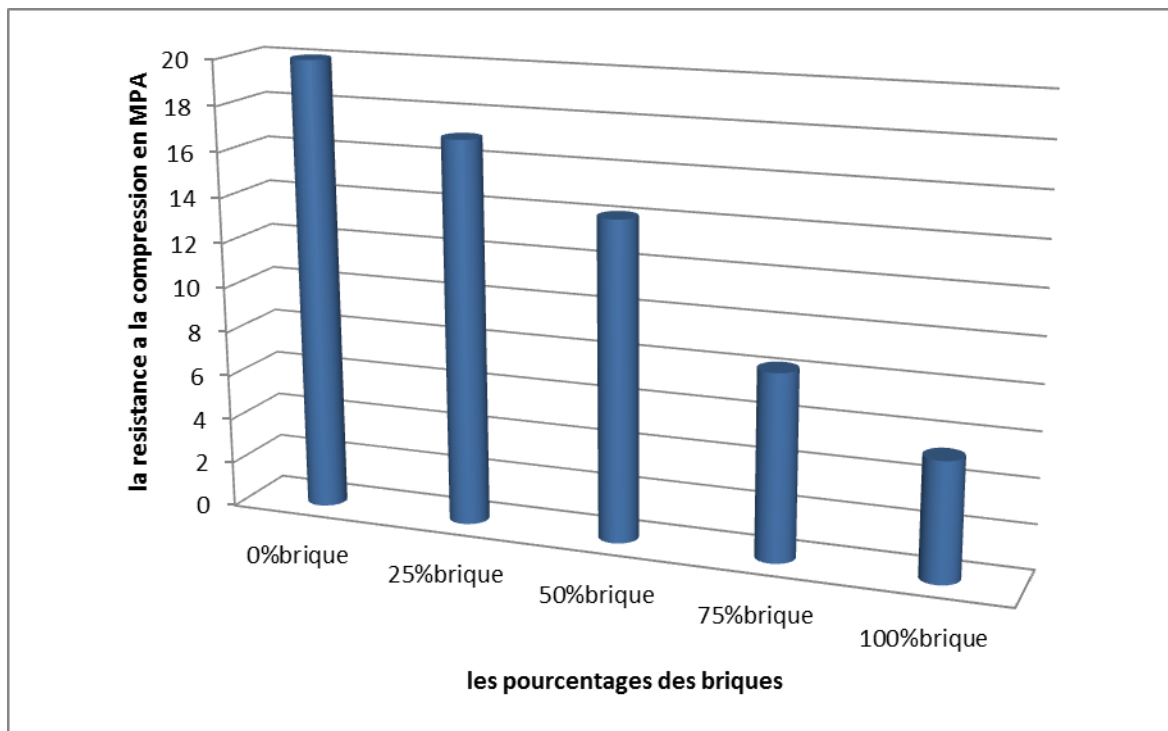
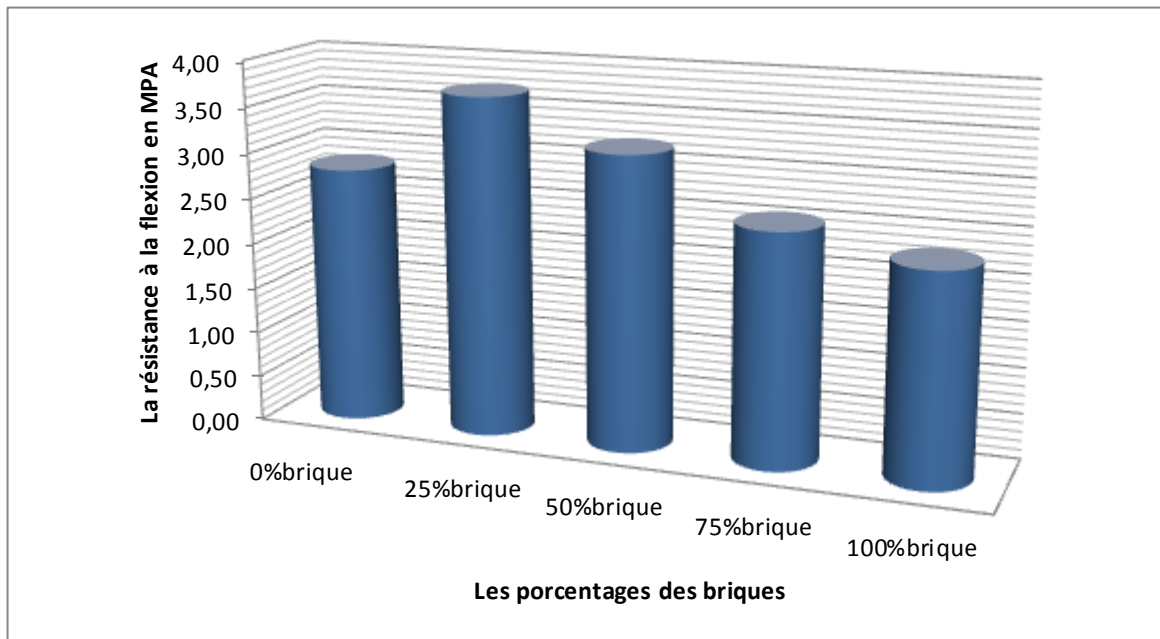


Fig III.8 : Résistances à la compression en fonction pourcentages des briques



FigIII.9 : Résistances à la flexion en fonction pourcentages des briques

L'allure des histogrammes de la figure III.8 montrent que les résistances à la compression diminuent au fur et à mesure qu'on substitue d'avantage de gravier 3/8 par les granulats de brique. Cela est dû au fait qu'on remplace une entité de gravier dure et résistante avec une même entité moins résistante. Cette résistance passe d'une valeur de 20MPa pour le béton témoin à une valeur de 5.3 MPa pour le béton le plus allégé relatif à 100% de substitution avec un taux de réduction de 73.5% la figure III.9 montrant la variation de la Résistance à flexion en fonction du taux de substitution granulats de gravier par les granulats de brique

- **La résistance à la compression et à la flexion en fonction la masse volumique apparente**

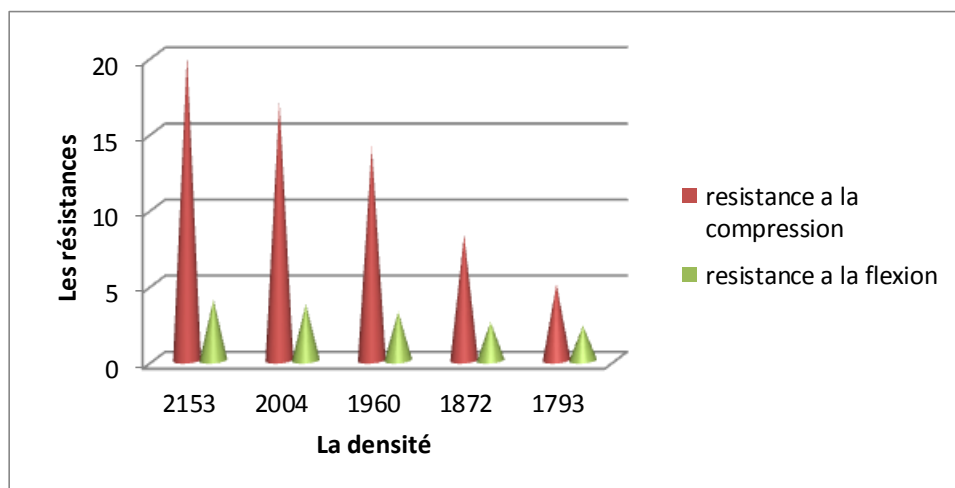


Fig III.10 Variation des résistances mécaniques en fonction de la masse volumique

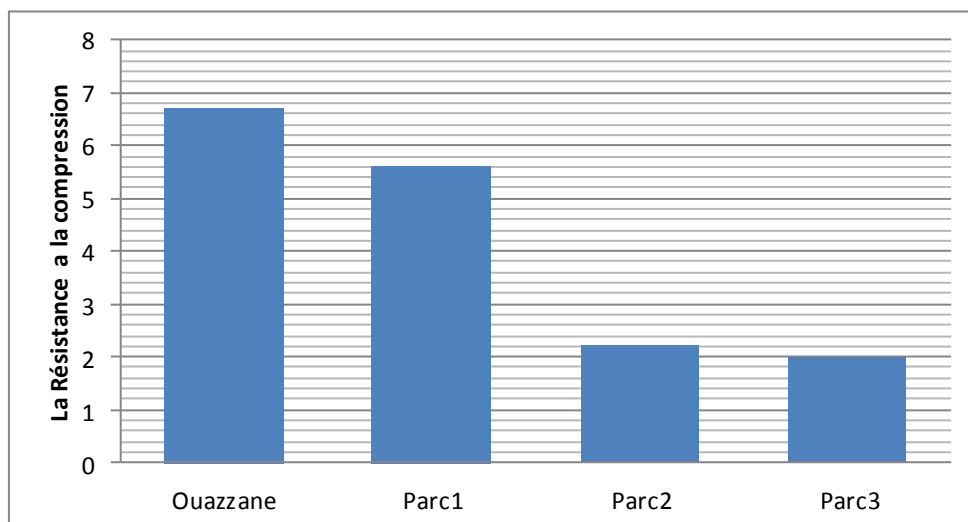
Chapitre III : Résultats des essais et interprétations

D'après la figure III.10 nous constatons que les résistances mécaniques évoluent dans le même sens que les masses volumique. Plus le matériau est léger plus sa résistance mécanique diminue.

	Echantillo1	Echantillon2	La moyenne	Résistance en MPa	Fc28j En KN	R28jen MPa
Ouazzane	65.83	68.55	67.19	6.719	101.46	10.146
Parc1	62.75	49.80	65.28	5.628	84.98	8.5
Parc2	20.35	23.58	21.97	2.197	33.17	3.32
Parc3	19.09	20.87	19.98	1.998	30.17	3.02

TableauIII.9 : les variations des Résistances a la compression

Afin de comparer nos résultats de résistances mécaniques à celles des blocs préfabriqués au niveau des parcs privés de la ville de Laghouat, nous avons pris des prélèvements de bétons frais que nous avons mis en moule sur place et qu'on a écrasés après sept (07) jours au niveau du laboratoire de génie civil. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.10 et sur la figure III.13. Les résultats obtenus sont largement supérieur à ceux du béton de granulats de brique et c'est évident mais en comparant les blocs réalisés au niveau des parcs par rapport à celui de notre béton on remarque de notre béton possède des résistances largement supérieurs à celles des blocs réalisés aux niveaux des parcs. Ceci est expliqué par le fait que le béton préparé au niveau du laboratoire est toujours meilleur relativement à celui préparé sur chantier. Ajouté à cela notre béton a été optimisé dans sa formulation que ce soit au niveau de l'eau de gâchage ou au niveau du choix des matériaux en particulier le sable ou on a utilisé deux types de sables avec un optimum de 75% de sable alluvionnaire et 25% de sable calcaire.



FigIII.11 : les variations des Résistances a la compression en fonction Ouazzane et les parcs

III.4.4. La conductivité thermique :

Les valeurs de la conductivité thermique sont représentées dans le tableau suivant :

TableauIII.10 : Récupératif des résultats des essais thermiques

N°	Code d'Echantillon	Conductivité thermique W/m.°c	Diffusivité thermique mm/s ²	Chaleur spécifique Mj/m ³ .°c
01	0 %	1,461691917	0,505106305	2,893830275
02	25 %	1,339794337	1,184589257	1,131020166
03	50%	1,173843839	0,848853514	1,382857960
04	75 %	1,000230844	0,705836528	1,417085692
05	100 %	0,742787593	0,659243079	1,126727934

Les variations de la conductivité thermique en fonction du dosage en granulats de brique sont représentées sur la figure III.12

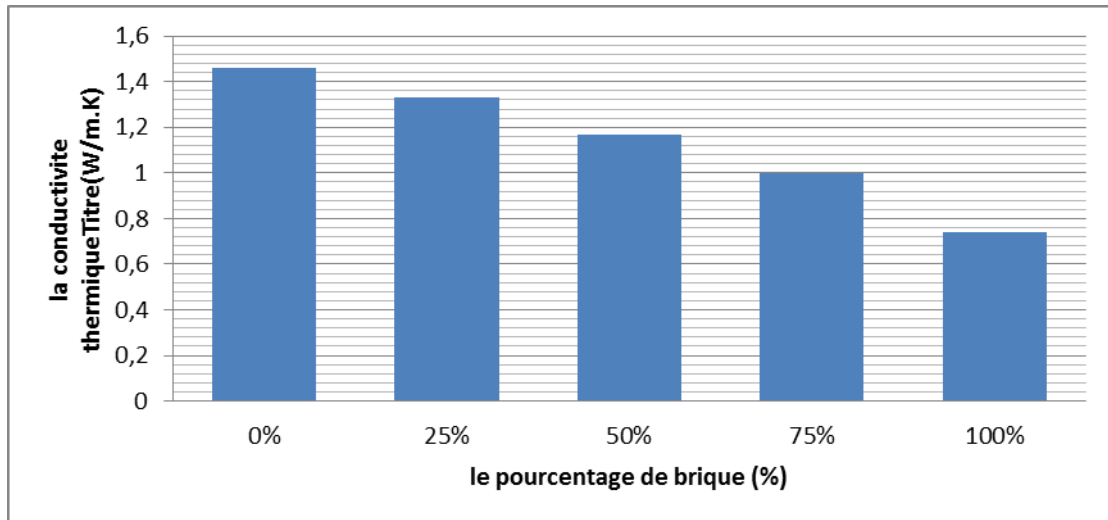


Fig III.12 Variation de la conductivité thermique en fonction du dosage de brique

On remarque que la conductivité thermique diminue en fonction de l'augmentation du dosage en brique. Cela est due au fait qu'on remplace une entité de matériaux faiblement isolante par un matériau fortement isolant. C'est à dire que l'incorporation de granulats de brique a un effet positif sur le pouvoir isolant des blocs

Les variations de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique apparente sont représenté sur la figure III.13

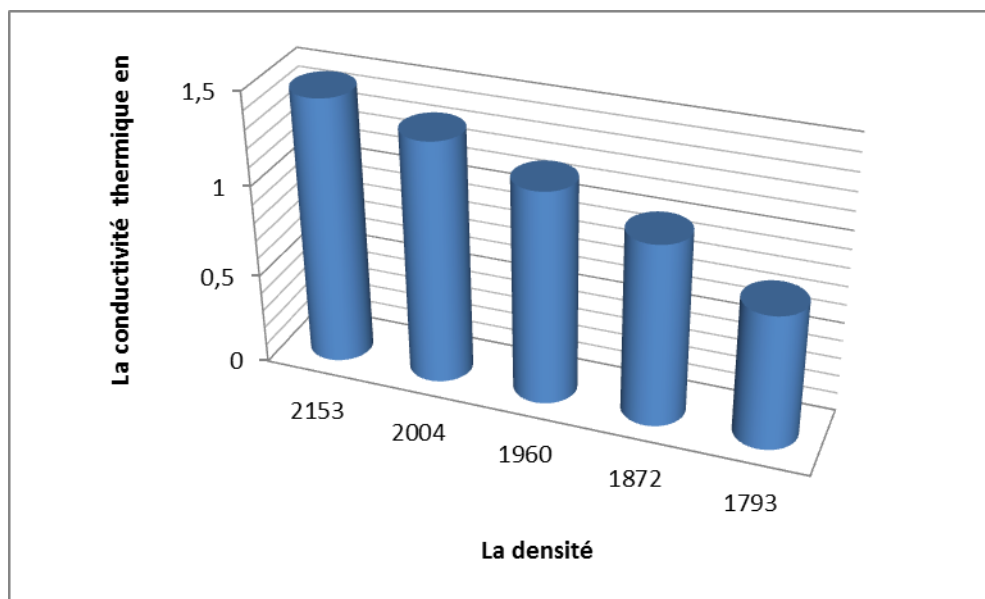
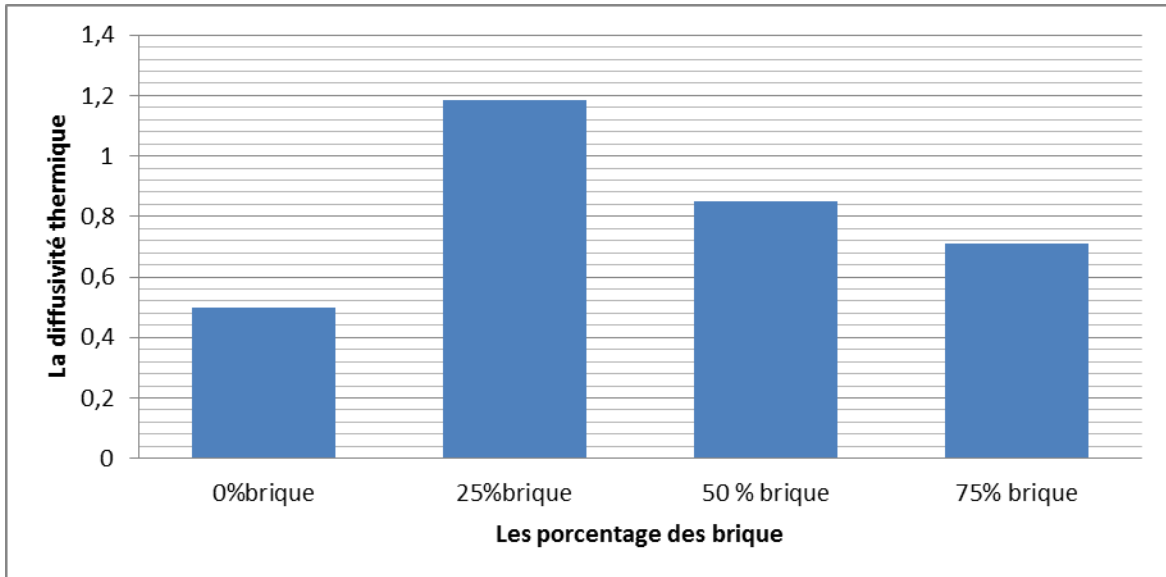


Fig III.13 Variation de la conductivité thermique en fonction de la densité

Chapitre III : Résultats des essais et interprétations

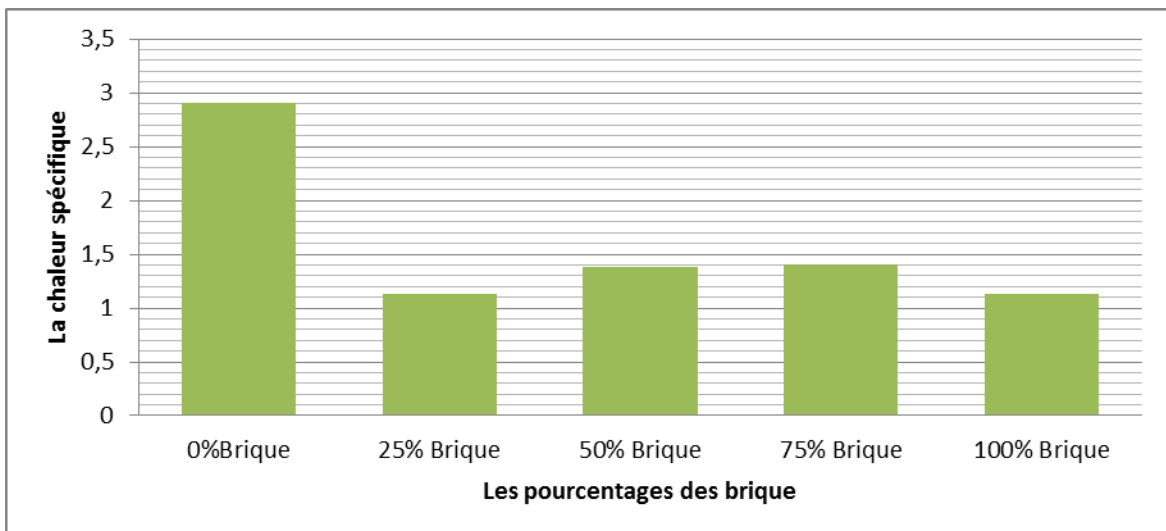
Ces variation montre que plus la densité du béton élaboré diminue plus la conductivité diminue. Puisque en substituant d'avantage de granulats naturels par les granulats de brique le matériaux devient plus léger à cause de l'augmentation des pores et par conséquent plus isolant.

Les variations de la diffusivité thermique en fonction du taux de substitution sont représenté dans la figure III.14



FigIII .14 : les variations des diffusivités thermiques en fonction les pourcentages des briques

L'allure de l'histogramme de la figure III.14 montre que plus on substitue de brique plus le matériau devient plus isolant et par conséquent sa diffusivité est plus faible.



FigIII .15 : les variations des chaleurs spécifiques en fonction des pourcentages de briques

L'histogramme de la figure III.15 montre que la capacité calorifique est d'autant plus grande que le matériau est d'autant plus isolant. C'est à dire plus on substitue d'avantage de granulats de brique plus la porosité du matériau devient plus grande et plus le matériau a l'aptitude à emmagasiner de chaleur. Pour le béton témoin il est logique qu'il a la plus grande capacité calorifique que le béton à base de brique plus la pierre origine du gravier est connue pour sa grande capacité calorifique.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la possibilité de valoriser les déchets de blocs de brique en les utilisant comme granulats dans l'élaboration des blocs préfabriqués utilisés dans le domaine de construction. La méthodologie adoptée consiste à remplacer les graviers naturels concassés 3/8 par les granulats à base de brique concassé à des proportions (0%, 25%, 50%, 75% et 100%). Le but de ce travail est de concevoir des blocs préfabriqués légers et thermiquement isolant et qui répondent aux normes en vigueur des blocs préfabriqués en matière de résistances mécaniques. Afin d'arriver à ces objectifs, une étude rigoureuse des matières premières a été menée en particulier sur les granulats de briques. Dans une deuxième étape, une formulation du mélange a été établie sur la base de la norme relative au béton destiné à la confection des blocs de bétons. Afin d'améliorer les résistances mécaniques, nous avons pensé à utiliser une combinaison de sable alluvionnaire avec du sable calcaire à des proportions respectives de 75% et 25% afin de profiter des proportions de fillers présentes dans le sable calcaire pour augmenter la compacité du béton. L'étude du béton élaboré à l'état frais a montré que l'incorporation de granulats de brique à des pourcentages de 25 à 100% fait diminuer le temps Vébé à cause de la légèreté des granulats de brique.

Les résultats des essais sur bétons à l'état durci ont montré que l'incorporation des granulats de brique allège le matériau. La substitution totale des granulats naturels par des granulats de brique allège les blocs élaborés de 17%. En revanche, nous avons noté une diminution des résistances à la compression et à la flexion du fait qu'on a remplacé une entité plus résistante par une entité moins résistante. Le taux maximum de réduction de la résistance à la compression est de 73.5% par rapport à celles du béton témoin. La valeur minimale des résistances à la compression est de 5MPa. Cette valeur reste acceptable selon les exigences des normes relatives aux blocs de béton préfabriqués.

L'apport le plus bénéfique de l'incorporation des granulats de brique réside dans les performances thermiques. En effet, le remplacement total des granulats naturels fait diminuer la conductivité thermique presque de 50% par rapport à celle du béton témoin. L'ajout des granulats de brique fait diminuer la diffusivité thermique et augmenter la capacité calorifique.

Enfin, de cette étude nous pouvons dire que la valorisation des déchets en les utilisant comme granulats est très bénéfique sur le plan de densité et caractéristique thermiques en ayant des blocs légers et isolants.

Recommandations

Notre travail représente une initiative de recherche sur les blocs de béton. On recommande d'effectuer d'autres travaux de recherche, afin de mieux comprendre les comportements rhéologiques et physico-mécanique des béton destinés à la préfabrication de blocs à l'états frais et durci .

On citera :

- l'influence de l'énergie de vibration sur les caractéristiques mécaniques.
- l'influence de l'utilisation de sable calcaire sur la perméabilité
- La quantité d'eau ajoutée aux mélanges à base de granulats de déchets de brique
Représente le coefficient d'absorption d'eau de ces granulats.

Références bibliographiques

Zenagui.z et Benyoucef.H (2012)« Fabrication des agglomérés des bétons légers avec lapouzzolane concassée ». Mémoire de master en génie civil .De l'université de Tlemcen

Lamalle.M ,(2016) « Bloc De Béton De Bois » Université de Liège – Faculté des Sciences
Mémoire de master en génie civil .De l' université de Liège .

Berredjem, L,(2009) « le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et comportement physique et mécaniques des bétons a base de ses recycles ». Mémoire Magister en génie civil, de l'université Badji Mokhtar - Annaba

Djakam, I.(2016)‘ Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux ’ Mémoire de master en génie civil, De L'université Mohamed Boudiaf – Msila

Bourmatte; (2017) « Granulats recycles de substitution pour bétons hydrauliques »Thèse de doctorat en sciences en génie civil. De l'université des frères mentouri Constantine.

Ziregue .A,(2005) « Valorisation de coproduits industriels influence de différents facteurs d'allègement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton à matrice calcaire-ciment » Mémoire de magister en génie civil .De l'université de Laghouat ;

Cherif.H,(2016) « Comportement des murs en maçonnerie sous sollicitation de cisaillement » Mémoire de master en génie civil .De l'université Tlemcen.

Bousmaha, A et Boutarouk,(2009), « Utilisation de sable des dunes dans les fabrication des blocs de béton » ’ Mémoire de master en génie civil, De l'université laghouat.

R.E.E.F Normes AFNOR, Centre scientifique et technique du bâtiment.

NP P 18-540 : Granulats : définitions, conformité, spécification. Octobre (1997).

NF P 15-560 : Analyse granulométrique par tamisage. Octobre (1978).

NF P 18-598 : Equivalent de sable. Novembre(1979).

NF P 18-451 : Essai d'affaissement. Décembre (1981)

NF P 18-305 : Béton prêt à l'emploi. Décembre (1994)

NF P 18-555: Mesure de la masse volumique, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux. Décembre(1980).

NF P 14-304 : Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons. Septembre (1983)

NF P 14-101 : Blocs en béton pour murs et cloisons définitions. Septembre (1983)

NF P 14-102 : Blocs en béton destinés à rester apparents .Septembre (1983)

NF P 14-301 : Blocs en béton de granulats courants. Septembre (1983)

NF P 14-402 : Blocs en béton pour murs et cloisons dimensions. Septembre (1983)

Résumé :

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la possibilité de valoriser les déchets de blocs de brique en les utilisant comme granulats dans l'élaboration des blocs préfabriqués utilisés dans le domaine de construction. La méthodologie adoptée consiste à remplacer Les graviers naturels concassés 3/8 par les granulats à base de brique concassé à des proportions (0%,25%, 50%, 75% et 100%). Sur la base des caractéristiques physiques et mécaniques le béton allégé par les granulats de brique est comparé par rapport au béton témoin à base de granulats naturels. Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer des bétons à base de déchets de brique malgré la défaillance mécanique de ces granulats. La résistance à la compression de ces bétons est acceptable et comparable à celle du béton ordinaire en revanche on signale un apport très pré-judiciaire en matière d'allègement et d'isolation du béton élaboré.

Mots clés : légèreté, déchets de brique ,valorisation, Isolation, Recyclage

ملخص المذكرة

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة إمكانية استغلال بقايا كتل الاجر عن طريق استخدامها كمجاميع في تطوير الكتل الجاهزة المستخدمة في مجال البناء. المنهجية المتبعة هي استبدال الحصى الطبيعي المهروس 8/3 بمواد الركام المكسرة بنسبة (0، 25 ، % 50 ، % 75 و 100 %). على أساس الخصائص الفيزيائية والميكانيكية ، تتم مقارنة الخرسانة المخففة بحبيبات بقايا كتل الاجر بالخرسانة المرجعية المصنوعة بالحصى الطبيعي. أظهرت نتائج هذه الدراسة أنه من الممكن تصنيع الخرسانة بحبيبات بقايا كتل الاجر على الرغم من انخفاض مقاومة الضغط لهذه الركام. قوة الضغط لهذه الخرسانة ملموسة وقابلة للمقارنة لتلك الخرسانة العادية ، ولكن في المقابل سجلنا تحسن كبير لخصائص العزل الحراري للقوالب المصنوعة.

الكلمات المفتاحية: الخفة ، النفايات ، العزل الحراري ، إعادة التدوير

Abstract

The main objective of this work is to study the possibility of exploiting the waste of brick blocks by using them as aggregates in the development of prefabricated blocks used in the field of construction. The methodology adopted is to replace crushed 3/8 naturel gravel with brick crushed aggregates in proportion (0%,25%,50%,75% and 100%).On the basis of the physical and mechanical characteristics, concrete reduced by brick aggregates is compared to control concrete based on naturel aggregates. The results of this study have shown that it is possible to manufacture concrete based on brick waste despite the mechanical failure of these aggregates. The compressive strength of these concretes is acceptable and comparable to that of ordinary concrete, but a very pre-judicial contribution is made to the lightening and insulation of the concrete ;

Key words : lightness,brick waste recovery,insulation ,recycling .