

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المركز الجامعي لعين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : VOA

Thème

Valorisation des Bétons à base de granulats recyclés (granulats de brique) sous l'effet de température

Présenté Par :

-Bensafi boucif

-Belkacem oussama soufyane

Soutenu le

Devant le jury composé de :

Mme Derbal Ahlem

CUBBAT (Ain T'émouchent) Président

Mme Abdesselam Rabha

CUBBAT (Ain T'émouchent) Encadreur

Mme Belabaci zineb

CUBBAT (Ain T'émouchent) Examineur

Année universitaire 2017/2018

DÉDICACE

Je remercie

Mes Très Chers Parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements, que Dieu les protège.

Ma chère mère AICHA.

Mon Père HADJ .SAID et Cher Oncle.

Mes Frères, sœurs, neveux, et nièce.

Toute ma Famille, mes Proches et mes Amis fidèles.

Tous ceux qui m'ont soutenu de près et de loin.

Merci a tous.

DÉDICACE

: A Travail modeste

✚ *Ma mère et mon père.*

✚ *Mes frère et sur tout ma petite sœur rawya.*

✚ *Mes oncles et mes oncles.*

✚ *Mes tantes.*

✚ *Toutes les familles de BELKACEM et BETTIOUI.*

✚ *Sans oublie l'équipage :*

RIA, Mohammed, wadie, charaf, ayman, Merimee, houda, Yasmine.

Et bien sur toute les petites.

✚ *Tous mes amis*

✚ *Mon cher binômes « bensafi boucif ».*

✚ *Tout personé ayant participe de prés ou de loin à la réalisation de ce travaille.*

B*Sofiane**

Remerciement

Nous remercies dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

J'adresse mes plus sincères remerciements à notre encadreur, Mme ABDESSELAM.

J'adresse mes vifs remerciements au président et aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'être mes examinateurs.

Nous remercies parallèlement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, notamment mes enseignants et à tous les professeurs qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Nous remercions également aux responsables et tous les ingénieurs du laboratoire matériaux

Des constructions de la C.U.B.B.T.

Nous remercions aussi toute la famille : Bensafi et Belkacem.

Et enfin, que nous chers parents, familles et mes amis pour leur aides.

BENSAFI** BELKCEM***

Résumé

Aujourd'hui le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Les granulats représentent en moyenne 70% à 75% du volume du béton. A cet effet, il est opportun d'étudier la possibilité de valorisation des déchets de brique qui sont en abondance dans les briqueteries comme substituant des granulats naturels.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

Ce travail vise à étudier le comportement mécanique du béton à base des granulats recyclés (granulats de brique) sous l'effet de la température afin de bien profiter de ses qualités, sachant tous que la résistance au feu est faible pour le béton ordinaire.

En premier lieu deux types de béton sont confectionnés, béton ordinaire et béton de briques avec pourcentages différents de granulats de brique comme substituant (.....).

Par la suite, ces bétons sont soumis à différents degrés de température (300 à 600°C).

Enfin, l'évolution des bétons à base des granulats recyclés de brique sous l'effet de la température sont observé à l'aide des essais de perte de masse et de la résistance mécanique par compression.

Les bétons avec les granulats de briques affiches des bonnes résultats de résistance même sous température de 300°C et 600° et on remarque aussi que les béton avec forte pourcentage de granulats de briques ont les meilleur résistance a la compressions par comparassions avec le béton ordinaire.

Mots clés : béton, Granulats recyclés, brique, température, résistance mécanique, Perte de masse.

ملخص

الخرسانة اليوم هي المواد الأكثر استخداماً في مجال البناء. تمثل الحبيبات في المتوسط 70 % إلى 75 % من حجم الخرسانة. لهذا الغرض من المناسب دراسة إمكانية استعادة نفايات الطوب التي هي وفيرة في مصانع الطوب كبديل للحبيبات الطبيعية. ويعتبر الآن إعادة تدوير النفايات واستردادها حلاً للمستقبل من أجل سد العجز بين الإنتاج والاستهلاك وحماية البيئة.

يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك الميكانيكي للخرسانة القائمة على الركام المعاد تدويره (حبيبات الطوب) تحت تأثير درجة الحرارة للاستفادة الكاملة من صفاته، مع العلم أن مقاومة الحريق منخفضة للخرسانة العادية. في المقام الأول يوجد نوعين من الخرسانة العادية و المبنية من الطوب و هي بنسب مختلفة كبديل لمواد البناء الكهربائية (...). وتخضع الخرسانة بعد ذلك، لدرجات حرارة مختلفة (300 إلى 600) درجة مئوية.

وأخيراً ، لوحظ تطور الخرسانات القائمة على الركام المعاد تدويره من الطوب تحت تأثير درجة الحرارة باستخدام اختبارات فقد الكتلة و قوة الانضغاط.

تظهر الخرسانة مع ركام الطوب نتائج مقاومة جيدة حتى عند درجة حرارة 300 درجة مئوية و 600 درجة مئوية، ونلاحظ أيضاً أن الخرسانة ذات نسبة عالية من مواد البناء المتراكمة لديها أفضل مقاومة للضغط مقارنة مع الخرسانة العادية.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة ، الركام المعاد تدويره ، الطوب ، درجة الحرارة ، المقاومة الميكانيكية ، فقدان الكتلة.

Summary

Concrete today is the most commonly used materials in the area of construction the granules are in the average of 70% to 75% of the size of concrete.

For this purpose it is necessary to study the possibility of restoring the brick waste that is plentiful in the brick factories as an alternative to the natural granulat and now considered the recycling of waste and recovered a solution of the future in order to fill the gap between production, consumption and environmental protection.

The aim of this research to the study of mechanical behavior and concrete based on recycled debris (brick grains). Under the influence of temperature to take full advantage of his qualities, with the knowledge that the fire resistant regular low aggregate. First of all there are two types of concrete regular concrete and the brick, it is with different rates as an alternative building materials and emectric power. After that concrete under different temperatures (300 to 600) degree celsuis.

And finally, it was noted the development of concrete prestressing based on recycled debris of bricks under the influence of temperature using the loss of bloc and strength tests pressure.

Concretes with brick aggregates show good resistance results even at temperatures of 300 ° C and 600 ° C, and we also note that concrete with a high percentage of brick aggregates has the best compressive strength compared with ordinary concrete.

Keywords: Concrete, recycled, debris, bricks, temperature, mechanical resistance, the loss of the bloc.

Notation et abréviation

Module de finesse : MF

Module de d'élasticité du béton instantané : E_i

Equivalent de sable : ES

Coefficient d'aplatissement : A_p

Masse volumique apparente : ρ_d

Masse volumique absolue : ρ_s

Porosité des gravillons : P

Coefficient los Angeles : LA

Béton ordinaire : B-O

Béton de brique concassée avec sable naturel : B-N-R

Affaissement au cône d'Abram : A

Dosage en ciment : C

Contrainte de compression : σ_c

Resistance en compression de béton à 28j : f_{c28}

Age du béton au moment de l'essai : j

Dimension maximale des granulats : D

Sable Naturel : SN

Sommaire

DÉDICACE.....	I
DÉDICACE.....	II
Remerciement.....	III
Résumé.....	IV
ملخص.....	V
Summary.....	VI
Notation et abréviation.....	VII
Liste des Tableaux.....	
Liste des figures.....	

Chapitre I : Généralité sur les bétons

GENERALITES.....	1
2-OBJECTIF DE L'ETUDE.....	2
3-Plan de travail.....	3
I.1-Introduction.....	4
I.2 -Définition du béton.....	4
I.3 Histoire du béton.....	5
I.4- Les composants du béton.....	6
I.4.1- Le ciment.....	6
I.4.1.1 -Définition.....	6
I.4.1.2 -Production de ciment.....	6
I.4.2- Les granulats.....	7
I.4.3 -L'eau de gâchage.....	8
I.4.4 -Les adjuvants.....	8
I.4.5 -Le dosage du béton.....	10
I.5 Différent type de béton.....	10
I.6-Caractéristique de béton l'état frais.....	13
I.6.1-Caractéristiques physiques.....	13
I.6.1.1-L'ouvrabilité (plasticité).....	14
I.6.1.2-La Plasticité.....	14
I.6.1.3-Retrait.....	15

I.6.1.4 Perméabilité	15
I.6.2- Caractéristiques mécaniques	16
I.6.2.1-Résistance mécanique.....	16
I.6.2.2-Résistance à la traction	16
I.6.2.3 -Résistance à la compression	16
I.6.2.4 -Durabilité.....	17
I.6.2.5- Elasticité	17
I.7-Conclusion	19

Chapitre II: Emploi des déchets de brique dans le domaine génie civil

II.1-Introduction	20
II.2- Définitions	20
II.3- Production des déchets utilisés en génie civil.....	21
II.3.1-Sous produits de l'industrie	21
II.3.1.1- Le mâchefer.....	21
II.3.1.2-laitier de haut fourneau	21
II.3.1.3-Cendres volantes.....	22
II.3.2-Déchets de construction et de démolition.....	22
II.3.2.1-Production.....	22
II.3.2.2-Répartition	23
II.4-Les déchets de démolition de bâtiments.....	25
II.5 Recyclage des déchets.....	25
II.5.1 Définition	25
I.5.2 Législation européenne relative au recyclage des déchets.....	26
I.5.3 Technique de recyclage	26
I.5.3.1 Procédés de recyclage	26
I.5.3.2 La chaîne de recyclage.....	26
II.6- Déchets en Algérie	27
II.6.1- Lois Algériennes concernant les déchets [50].....	28
II.7-Classification des déchets dans le génie civil	29
II.7.1-Déchets dangereux (spéciaux)	29
II.7.2-Déchets banis	30
II.7.3Déchets inertes.....	30
II.8 - Recyclage des déchets de chantier	30

II.8.1- Elaboration des granulats recyclés.....	31
II.8.2-Opération de recyclage	32
II.8.3- Déchets de constriction et de démolition.....	32
II.8.4-Classification selon les densités des bétons.....	33
II.8.5- Classification selon la matière première.....	34
II.9-Bétons des déchets de brique utilisé comme granulats	35
II.9.1-Déchets de brique (recyclage et normes)	35
II.9.2-Propriétés de béton à base de déchets de brique	36
II.9.3- Domaine d'utilisation du béton de déchets de briques.....	36
II.10- Conclusion	37

Chapitre III: Effet de la température sur le béton

III.1- Introduction	38
III.2-Effets de la température sur le béton.....	38
III.3 -Influence de la température initiale sur la résistance du béton.....	39
III.4- Les Bétons soumis à haute température	40
III.5 -Effet des hautes températures sur la microstructure du béton	40
III.5.1- Effet de la température sur la pâte de ciment.....	41
III.5.2 -Effet de la température sur les granulats	43
III.6- Evolution des caractéristiques mécaniques avec la température	43
III.6.1- Résistance en compression à haute température	43
III.6.2- Résistance en traction à haute température	44
III.7-Comportement du béton au feu	46
III. 8-Conclusion.....	46

Chapitre IV : Matériaux utilisé et méthode d'essai

IV.1- Introduction	47
IV.2- Matériaux utilisés.....	47
IV.2.1-ciment.....	47
IV.2.2-Granulats	49
IV.2.3- Eau de gâchage.....	51
IV.3-Essai effectués sur les granulats	51
IV.3.1-Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.....	51
IV.3.1.2-Essai d'équivalent de sable.....	51
IV.3.1.3- Essai d'analyse granulométrique.....	52

IV-4 Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats	56
IV-4.1-Masse volumique.....	56
IV-4.2-Absorption d'eau	58
IV-4.3- Porosité.....	59
IV-4.4- los Angeles	59
IV.5-Conclusion.....	61

Chapitre V : Formulation des bétons

V.1- Introduction	62
V. 2-Formulation de béton	62
V-3-Dosage des Bétons et formulation	64
V.4-Essai réalisées sur le béton	66
V.5-Confection et Cure des éprouvettes	68
V.5.1-Modules pour éprouvettes	68
V.5.2- Confection des éprouvettes.....	68
V.5.3-Conservation des éprouvettes.....	69
V.5.4-Mode opératoire de cette formulation	69
V.6- d'affaissement au cône d'Abrams	70
V.7-Essai de vibration	71
V.8-Traitement thermique	72
V.8.1-choix des températures des essais	72
V.8.2- chargements thermiques.....	72
V.9-Essai de compression.....	73
V.10-Conclusion.....	74

Chapitre VI : Analyse et discussion des résultats

VI.1-Introduction	75
VI.2-Porosité.....	75
VI.3-Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique dans température (300° et 600°)	76
V.3- Conclusion.....	80
Conclusion générale	81

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralité sur les bétons

Tableau 1: Classe des granulats	8
Tableau 2: Tableau des différents adjuvants.....	9
Tableau 3: Dosage de béton pour 1m ³	10
Tableau 4: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	14

Chapitre II: Emploi des déchets de brique dans le domaine génie civil

Tableau 5: Taux de recyclage en Europe	31
Tableau 6: Classification des granulats légers minéraux	35

Chapitre III: Effet de la température sur le béton

Tableau 7: Les principales réactions physico-chimique dans le béton au cours de son 2chauffement [24]	41
Tableau 8: Les phases de l'évolution des résistances en compression en fonction de la Température.[28].....	44

Chapitre IV : Matériaux utilisé et méthode d'essai

Tableau 9: Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment.....	48
Tableau 10: Compostions chimique du Ciment de BENISAF CEMII/A42.5	49
Tableau 11: Analyse granulométrique par tamisage du sable nature (0/5)	54
Tableau 12: Analyse granulométrique par tamisage du gravillon recyclé (3/8)	54
Tableau 13: Analyse granulométrique par tamisage du gravillon naturel (3/8).....	55
Tableau 14: Masse volumique de ciment.....	57
Tableau 15: Masses volumiques des granulats	58
Tableau 16: Coefficient d'absorption d'eau des granulats	58
Tableau 17: Porosité des gravillons	59
Tableau 18: Coefficient los Angeles des gravillons.....	60
Tableau 19: Composition granulométrique des bétons	63

Chapitre V : Formulation des bétons

Tableau 20: Donnés de bases pour la formulation	65
--	----

Tableau 21: Eau totale et eau ajouté aux mélanges béton.....	66
Tableau 22: Compositions optimales des bétons type (B-N-R).....	67
Tableau 23: Composition optimale d'un m3 du béton ordinaire (B-O).....	67
Tableau 24: Essais sur les bétons	68
Tableau 25: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement	71

Chapitre VI : Analyse et discussion des résultats

Tableau 26: Porosité de béton.....	75
Tableau 27: Résistance à la compression des éprouvettes dans traitement thermique	76
Tableau 28: Résistance à la compression des bétons appris le traitement thermique	77

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur les bétons

Figure 1: Mélange de béton.....	4
Figure 2: Constituants de béton.....	6
Figure 3: Constituants du béton	7
Figure 4: Dimension des granulats.....	7
Figure 5: Béton léger.....	10
Figure 6: Béton haute performance.....	11
Figure 7: Béton projeté.....	12

Chapitre II: Emploi des déchets de brique dans le domaine génie civil

Figure 8: Les différents types de déchets.....	21
Figure 9: Production totale des déchets en Europe	23
Figure 10: Répartition des quantités des déchets par type	24
Figure 11: Compositions des déchets du bâtiment.....	29

Chapitre III: Effet de la température sur le béton

Figure 12: Evolution des composantes du ciment sous l'échauffement [25].....	42
Figure 13: Courbes d'analyse thermo gravimétrique thermique et d'analyse thermique différentielle d'une pate de ciment à différentes températures [26]	42
Figure 14: Perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux)[27]	43
Figure 15: Evolution de la résistance à la traction à chaud d'un béton à hautes performances.....	45
Figure 16: Evolution de la résistance résiduelle à la traction des pates de ciment avec la température [29]	45

Chapitre IV : Matériaux utilisé et méthode d'essai

Figure 17: Ciment utilisé BENI SAF CPJ CEM II/A42.55 (norme Algérienne NA 442)	47
Figure 18: Granulat recyclée de brique (3/8)	50
Figure 19: Granulat naturel gravillon (3/8)	50
Figure 20: Schéma sur l'essai d'équivalent de sable.....	52
Figure 21: Essais d'équivalent de sable dans laboratoire	52
Figure 22: Les tamis utilisé dans l'analyse granulométrique du gravillon recyclé (3/8).....	53
Figure 23: Les tamis utilisé dans l'analyse granulométrique de sable 0/5.....	53
Figure 24: Tamiseuse électrique du laboratoire	53
Figure 25: Courbes Granulométrique des granulats utilisés.....	56
Figure 26: Essai de la masse volumique apparente.....	57
Figure 27: Essai des masses volumiques absolues.....	57
Figure 28: Machine de Porosité laboratoire du C.U.A.T	59
Figure 29: Machine los Angles laboratoire de C.U.A.T.....	60
Figure 30: Travail dans l'Appareil de los Angles	60

Chapitre V : Formulation des bétons

Figure 31: Conservation des éprouvettes dans les moules	66
Figure 32: Conservation des éprouvettes dans l'eau de gâchage.....	69

Figure 33: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams	70
Figure 34: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams	71
Figure 35: La table vibrant es moules pour éprouvette de $7 \times 7 \times 7 \text{cm}^3$	71
Figure 36: Application d'essai de traitement thermique	72
Figure 37: Cycle thermique pour bétons	73
Figure 38: Schéma sur méthode d'essai de compression.....	73
Figure 39: Ecrasement des éprouvettes ($7 \times 7 \times 7 \text{cm}^3$) à la machine 250KN.....	74

Chapitre VI : Analyse et discussion des résultats

Figure 40: Porosité des bétons.....	76
Figure 41: La résistance à la compression des bétons	78
Figure 42: Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique 300° 79	
Figure 43: Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique 600° . 79	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

GENERALITES

Le béton est l'un des matériaux le plus utilisé dans le monde de la construction. Ces performances ne cessent de s'améliorer l'occurrence les résistances mécanique et la durabilité. Hier c'était le béton aujourd'hui ce sont les bétons grâce au développement technologique et à la recherche scientifique des nouveaux types par mes cette types les bétons de granulats recyclés.

Les bétons de granulats recyclés ; d'une masse volumique de 1500a1900kg/m³ (2200 à 2600k/gm³) pour les bétons ordinaires, ont une résistance comparable aux bétons de granulats rigides tout en étant de 25 à 35% plus légers. Ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies.

Le granulat est une matière première indispensable dans les industries du bâtiment et des travaux publics. Elle est produite et utilisée en très grandes quantités.

Dans tous les pays du monde, toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation.les granulats sont des matériaux dont le prix d'achat double tous les 50 kilomètres.

En parallèle, l'essor rapide du tissu urbain, dans tous les pays du monde, a provoqué une augmentation impressionnante des quantités de sous-produits et de déchets. Ces sous-produits proviennent des industries de fabrication de matériaux de construction et les déchets sont produits a des opérations de construction, rénovation et de déconstruction.

Les sous-produits et les déchets, qui autrefois ne suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude, ont commencé à constituer un problème économique et écologique vers la fin du 20eme siècle. Les quantités énormes qui sont produites sans cesse immobilisent de plus en plus de grandes surfaces pour le stockage des déchets et réduisent ainsi les disponibilités de terrains sans compter la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

Pour répondre d'une part, au besoin vital de la construction et d'autre part, au besoin universel de conserver les ressources et de protéger l'environnement, il a été question de se pencher beaucoup plus sur l'étude et la production de matériau granulat tant en quantité qu'en qualité .Par conséquent ,une grande importance a été accordée a l'usage de déchets et de sous-produits comme granulats pour le béton.

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 'autres applications dans le domaine de la construction, en particulier comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de brique peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication du béton.

Cependant le premier emploi considérable de brique recyclée comme granulats dans le béton a été marqué à la fin de la seconde guerre mondiale, dans les pays d'Europe qui ont été très ravagés, comme la République fédérale Allemande par exemple.

Les travaux, qui ont été réalisés en utilisant les types de brique qui sont utilisés communément dans la construction d'aujourd'hui, se sont concentrés plus sur les propriétés mécaniques du béton du granulat de brique, plutôt que sur les propriétés du granulat de brique lui-même. Ils ont montré que ;

-Il était possible de réaliser un béton de haute résistance en utilisant la brique concassée comme granulats grossier, avec réduction en poids.

-Une haute résistance au cisaillement dans les poutres fabriquées du béton du granulat de brique, à comparer avec ceux du béton normal.

-Une perte de 7% dans la résistance de compression du béton en utilisant de la brique hollandaise concassée comme granulat grossier, comparée avec celle du béton fait avec les granulats naturels.

En effet, l'usage de granulat de brique pour la fabrication du béton est jugé, par conséquent, pour être une solution pour les gérions ou les granulats naturels font défaut et ou une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

2-OBJECTIF DE L'ETUDE

- L'étude donc consiste à étudier les caractéristiques physico mécaniques et chimiques des granulats à base de déchets de brique, ainsi que les propriétés du béton à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser dans certains domaines de la construction.
- L'objectif visé par ce travail est d'évaluer expérimentalement le béton à base de déchets de brique en comparaison avec le béton ordinaire.

- Pour que nos résultats soient exploitables, en particulier dans le domaine de la construction, notre étude a été portée sur la composition des bétons à partir d'un mélange ternaire de sable (0/5).de gravillon (3/8).
- Etude du comportement des bétons l'effet de la température.

3-Plan de travail

Le présent travail de recherche portant sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés (brique), est scindé en deux parties : une recherche bibliographique et une étude expérimentale.

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

- ❖ Le premier chapitre du mémoire présente des généralités sur le béton par savoir ces constituants et leur différents types sur tout le type on a utilisé dans son travail (le béton à base de granulats recyclés).et aussi les caractéristiques des bétons.
- ❖ Le deuxième chapitre présente l'emploi des déchets dans le domaine génie civil.
- ❖ Le troisième chapitre présente l'effet de température sur les bétons.
- ❖ Etude expérimentale présente les matériaux utilisés et aussi formulation des bétons
Et aussi l'analyse des résultats

CHAPITRE I :

GENERALITE SUR LES BETONS

I.1-Introduction

Le béton est un mélange de plusieurs composants très différents dont les uns sont actifs et les autres inertes. Ce matériau des caractéristiques qui sont fonction de celles de ces composants.

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence .Environ 5 milliards de mètres cube de béton sont utilisés tous les ans de par le monde pour la construction d'ouvrages de toutes natures, notamment de bâtiments, d'immeubles, de ponts, de routes, de tunnels, de barrages, de centrales thermiques et nucléaires.

Le béton est un matériau composite, formé de ciment, de granulats (sable et gravillons), d'eau et éventuellement d'ajouts (adjuvants) destinés à améliorer de ses propriétés.

I.2 -Définition du béton

Le béton est un matériau composite présentant une forte hétérogénéité d'un mélange de granulats, d'une pâte de ciment incorporant éventuellement des adjuvants et additions .Le béton peut aussi être considéré comme un matériau multiphasique contenant trois phases ; solide (granulats et partie cimentaire), liquide (eau libre et adsorbée) et gazeuse (air et vapeur d'eau). Ses propriétés mécaniques se développent grâce à l'hydrations du ciment.



Figure 1: Mélange de béton

I.3 Histoire du béton

Les Romains de l'Antiquité savaient faire du béton. Ils avaient découvert que, pour fabriquer un liant hydraulique qui fasse prise sous l'eau, il fallait mélanger à de la chaux des déchets de fabrication des tuiles et des briques ou des cendres volcaniques (provenant notamment de Pozzuoli, dans la baie de Naples, qui donna son nom à la pouzzolane, roche volcanique). Cette connaissance leur a, par exemple, permis de construire des ports protégés par des jetées en béton qui faisait prise sous l'eau, contrairement à la chaux (Vitruve, De l'architecture). Leur savoir s'est ensuite perdu au Moyen Âge. C'est la mise au point et le développement de la

Production des ciments artificiels modernes qui a permis l'essor de la construction actuelle en béton. Aux barques en béton (1848) de Joseph-Louis Lambton (1814-1887) et aux caisses à fleurs (1849) de Joseph Monier (1823-1906) succèdent les réalisations d'entrepreneurs qui développent des « systèmes » de béton armé : François Cosignait (1814-1888), qui met au point le béton aggloméré ; Monier, dont les brevets de 1877 et 1878 seront exploités en Allemagne ; François Hennebique (1842-1921), dont la société construira plus de 7 000 ouvrages, parmi lesquels le siège de cette dernière au 1, rue Danton (1900) à Paris et la villa de l'architecte à Bourg-la-Reine (1903) sont des exemples encore existants ; Armand Considère (1841-1914), qui invente le béton fretté (1901)... En 1906, cette première phase prend fin avec la publication des Instructions relatives à l'emploi du béton armé, véritable premier règlement français de calcul des structures en béton armé. Au XXe siècle, c'est l'invention du béton précontraint par Eugène Freyssinet (1879-1962) qui ouvrira de nouveaux horizons au matériau béton. La précontrainte, qui consiste à garder le béton dans un état comprimé grâce à des câbles en acier tendus, permet d'atteindre de grandes portées avec du béton et a trouvé, notamment, son application dans les ponts. Depuis lors, les progrès dans les sciences des matériaux ont permis d'améliorer encore de manière spectaculaire les propriétés des bétons. [2]

I.4- Les composants du béton

Avant d'entrer dans les détails de sa composition, il est nécessaire de donner une définition au béton. Ce dernier est ce qu'on appelle un matériau composite. Il est résultat de différents constituants mélangés dans des proportions pouvant varier. De manière générale, les principaux ingrédients employés sont le sable, le gravier, le ciment, le tout gâché avec de l'eau.

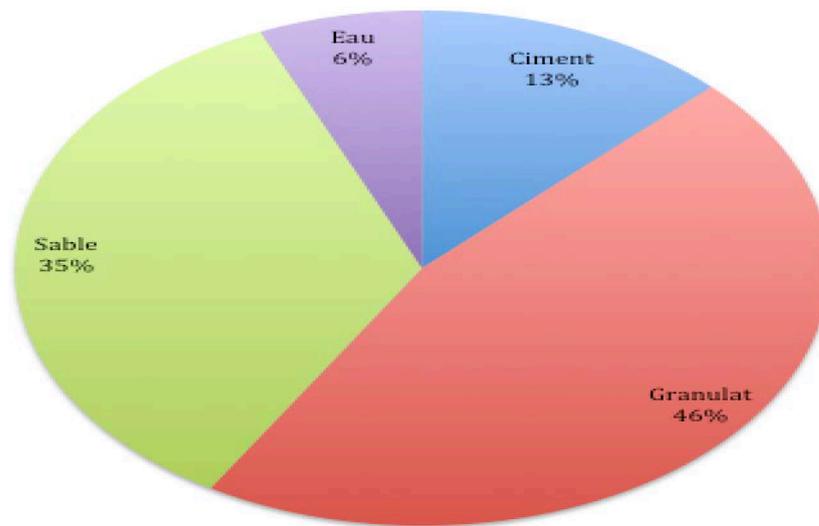


Figure 2: Constituants de béton

I.4.1- Le ciment

I.4.1.1 -Définition

Le ciment est le liant hydraulique par excellence. Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile, Il fait des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance.

I.4.1.2 -Production de ciment

- Clinker
- Gypse (max5%)
- Sable de laitier
- Cendre volante
- Pouzzolane
- Micro silice

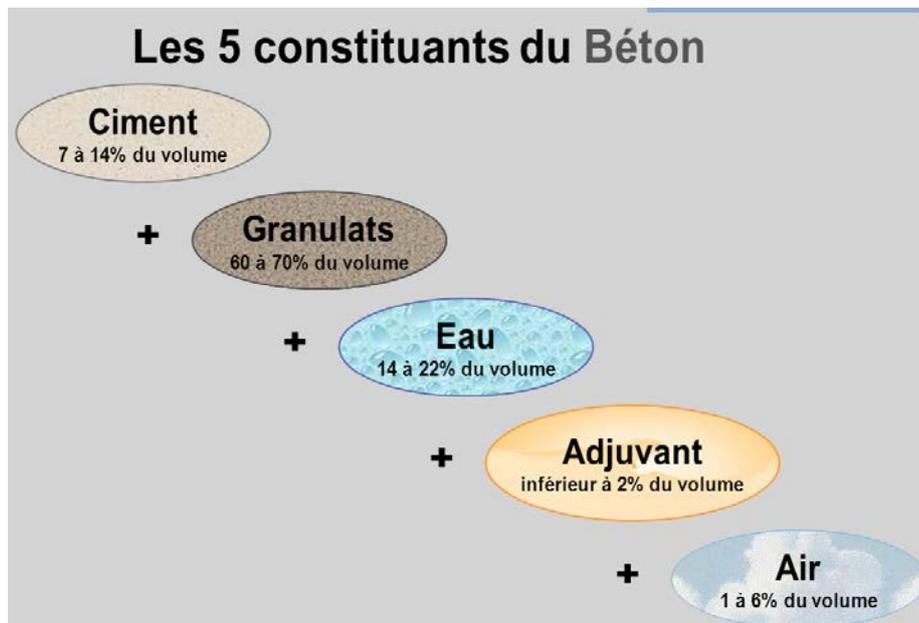


Figure 3:Constituants du béton

I.4.2- Les granulats

Les granulats, d'origine naturelle ou artificielle, sont des grains minéraux de dimensions variables. En tant principaux composants du béton, ils lui transmettent certaines caractéristiques techniques et esthétiques, notamment sa résistance. Le choix du type de granulat utilisé ne doit donc pas être fait à la légère car il aura une influence sur la durabilité de votre béton.

On distingue alors différentes sortes de granulats : les fillers, les sables, les graves, les gravillons et les ballasts.



Figure 4:Dimension des granulats

On classe les différents types de granulats en fonction de leurs dimensions, exprimées par la formule d/D .

d = diamètre le plus petit du granulat.

D =diamètre le plus grand du granulat.

Exemple :

Si un granulat possède peu de masse passant à travers un tamis de 3mm et beaucoup de masse passant par un tamis de 8mm, on le désignera « granulat3/8 ».

Type	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2\text{mm}$
Sables	0/D	$D < 4\text{mm}$
Graves	0/D	$D > 6.3\text{mm}$
Gravillons	d/D	$D > 2\text{mm}$ et $D < 1.25\text{mm}$
Ballasts	d/D	$D = 25\text{mm}$ et $D = 50\text{mm}$

Tableau 1:Classe des granulats

1.4.3 -L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément indispensable lors de la conception du béton. Elle Permet d'hydrater le ciment, ce qui libère ses capacités de liant, et rend également plus facile l'application du béton. L'eau utilisée doit être propre !(Evitez d'utiliser de l'eau de mer) et prenez garde à ne pas l'ajouter avec excès sous risque les performances de votre béton. En effet, cela pourrait diminuer sa résistance et sa durabilité.

1.4.4 -Les adjuvants

les adjuvants sont des produits chimiques ajoutés lors du malaxage du béton et faiblement dosés lors de la préparation(moins de 5% de la masse du béton).offrent la possibilité d'améliorer certaines caractéristiques du béton telles que son temps de prise ou son étanchéité .Très répandus aujourd'hui , il existe différents types d'adjuvants qui vous permettront d'obtenir le béton de vos rêves.

Nature	Effets
Prise et durcissement	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton. ➤ Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton. ➤ Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.
Ouvrabilité du béton	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer. ➤ Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Super plastifiant : <ul style="list-style-type: none"> • Fonction fluidifiant : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance. • Fonction réducteur : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.
Modification de certaines propriétés	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entraîneur d'air : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide. ➤ Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores. ➤ Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.
Les produits de cure	Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation.

Tableau 2:Tableau des différents adjuvants

I.4.5 -Le dosage du béton

	Béton de fondation	Dallage béton	Béton armé
Ciment	350 kg	300 kg	400 kg
Granulat	1050 kg	1100 kg	980 kg
Sable	800 kg	830 kg	720 kg
Eau de gâchage	175 L	155 L	195 L

Tableau 3: Dosage de béton pour 1m³**I.5 Différent type de béton**

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution le béton est un matériau dont la composition peut évoluer. On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées. En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous différentes formes, répond à nos besoins.

➤ Béton léger

Ce béton est jusqu'à 25% Plus léger que le béton conventionnel grâce à l'utilisation de billes de styromousse, de colcrete ou de zonalité. Il est surtout utilisé comme isolant thermique et sonore pour les toitures, comme couche de nivellement pour les planchers et les toits ainsi que pour les murs coupe-feu.

**Figure 5:**Béton léger

➤ **Béton de fibres**

Servant de renfort structural, ce béton contient des fibres réparties uniformément dans le mélange. Ces fibres synthétiques ou en acier réduisent les contraintes internes et préviennent la fissuration, augmentant la durabilité du béton.

➤ **Béton conventionnel**

Couramment utilisé pour les fondations, les trottoirs, les bordures et les planchers, ce béton peut contenir de l'air entrainé afin d'améliorer sa résistance au cyclé gel –dégel à l'épandage d'agents déglaçant.

➤ **Béton à haute performance**

Avec une force de plus de 50MPa, ce béton est souvent utilisé pour les éléments de béton préfabriqué ou précontraint nécessitant une résistance initiale élevée. Il est à partir de ciment hydraulique binaire et d'adjuvants, ce qui augmente sa résistance à l'abrasion, sa durabilité aux ions chlorure. Sa durée de vie est donc prolongée dans certaines conditions climatiques.



Figure 6:Béton haute performance

➤ **Béton auto plaçant**

Utile dans les endroits difficiles d'accès, les coffrages complexes ou comportant une forte densité d'armature d'acier, ce béton très fluide se place tout seul sous l'effet de la gravité. En plus d'assurer un étalement pouvant atteindre 750mm, il possède une cohésion suffisante pour combler presque tous les types d'espace sans ségrégation ni ressuage.

➤ **Béton anti lessivage**

Principalement utilisé pour des coulées sous l'eau, ce béton très fluide et sans ségrégation (affaissement de 200mm, plus ou moins 40mm) contient des adjuvants qui préservent ses caractéristiques physiques et l'empêchent de se désagréger, même au contact de l'eau.

➤ **Béton anti retrait**

Comportant un agent chimique anti retrait conçu pour les dalles, ce béton permet d'obtenir des surfaces extraordinairement planes. La réduction du retrait, qui atteint 80% après 28jours, prévient la fissuration lors de la cure du béton.

➤ **Béton projeté**

Propulsé à grande vitesse sur une surface sans coffrage, ce béton est surtout utilisé pour les parois, les barrages et les tunnels de mine.



Figure 7:Béton projeté

➤ **Béton coloré**

En ajoutant des granulats colorés ou des pigments au mélange, il est possible d'obtenir un béton de la couleur de son choix. Ce béton est surtout utilisé pour les dalles de béton et les produits décoratifs

➤ **Béton de remblai sans retrait**

Ce béton très maigre, dont la résistance est de 0.7MPa, est un matériau de remblayage auto compactant à densité contrôlée. Aucun compactage n'est donc nécessaire pour obtenir une capacité de support suffisante. Il est utilisé pour les fouilles et les tranchées des services publics.

➤ **Béton de sable**

Béton dans lequel le sable constitue le seul granulat. Sa composition diffère d'un Mortier car il contient généralement plus de fines. Ce type de béton, utilisé pour valoriser les ressources naturelles locales en l'absence d'autres granulats, possède une résistance mécanique faible que les bétons courants.

➤ **Béton compactés ou rouleau(PCR)**

Le pavage en béton compacté au rouleau (BCR) est composé de ciment, de granulats, d'adjuvants, d'eau et d'ajouts cimentaires si requis, qui nécessite l'apport d'une énergie de compactage externe pour être bien consolidé.

C'est un béton à faible teneur en eau, sans affaissement, mis en place et compacté par des équipements de terrassement en couches minces 250 mm. Le BCR n'est pas armé et sa mise en place se fait sans coffrage. Du point de vue structural, un revêtement en BCR est un ouvrage rigide au même titre que toute autre dalle de béton et est soumis aux mêmes critères de conception. Utilisé pour les grands ouvrages de Génie Civil et de travaux publics comme les barrages, les stationnements, les routes municipales, etc.

I.6- Caractéristique de béton l'état frais

I.6.1- Caractéristiques physiques

Les propriétés du béton durci (résistance mécanique en particulier) dépendent beaucoup des propriétés du mélange de béton (pâte de béton) et de la qualité de sa mise en œuvre. Le béton doit posséder une fluidité et une plasticité bien déterminée, c'est donc la caractéristique principale du béton à l'état frais.

I.6.1.1-L'ouvrabilité (plasticité)

L'ouvrabilité (fluide, maniabilité) : C'est la propriété du béton de s'affaisser sous son poids propre. Elle représente la consistance du béton frais exprimée par l'affaissement A(en cm) par le cône d'ABRAMS (ou mesurée par d'autres essais)

I.6.1.2-La Plasticité

C'est la propriété du béton de se déformer sans rupture et sans stratification des composants sous son poids propre ou sous une charge (lorsqu'il est pressé ou vibré).

Critères de choix :

L'ouvrabilité du béton est fixée au départ pour la confection (le dosage) du béton selon les données suivantes :

- La résistance en compression désirée du béton.
- La nature de l'ouvrage (ouvrage massif ou élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé).
- Conditions du bétonnage et moyens de serrage (vibration,...), voir le tableau

Plasticité	Serrage	Affaissement A en cm
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9
Béton mou	Piquage	10 à 13
Béton plastique	Léger piquage	≥ 14

Tableau 4:Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Qualités assurées :

La bonne ouvrabilité, assure pour le béton (armé ou non) :

- Facilité de la mise en œuvre du béton.
- Remplissage complet du coffrage.
- Enrobage efficace des armatures pour le béton armé.
- Une bonne compacité et corrélativement une bonne résistance mécanique (la compacité d'une pâte plastique est plus grande que celle d'une pâte molle).

Facteurs influençant l'ouvrabilité :

L'ouvrabilité dépend des facteurs suivants :

- Le dosage en E/C (est de l'ordre de pour 0.5 le béton courant) : plus ce rapport est élevé, plus la fluidité est élevée
- Le dosage en ciment : pour un rapport E/C fixe, l'augmentation du dosage en ciment augmente l'ouvrabilité ;
- La teneur en eau : l'ouvrabilité s'accroît avec la croissance du dosage en eau

Forme des granulats : les granulats roulés sont meilleurs que les granulats concassés.

- Plus le dosage en sable est élevé au profit des graviers exprimé par le coefficient G/S, plus l'ouvrabilité est améliorée.

I.6.1.3-Retrait

Le retrait est un phénomène qui existe de façon systématique au sein d'un béton et se développe sous divers formes depuis la prise du béton jusqu'à vieillissement (retrait plastique, et retrait séchage). Ceci engendre des fissurations superficielles de formes et directions quelconques et peuvent être avec le temps des causes principales de la dégradation.

Est une diminution dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, due à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux d'hydratation des grains de ciment.

Le siège du retrait se situe dans la pâte de ciment, peuvent se développer dans un béton en trois types :

- Retrait carbonatation
- Retrait plastique
- Retrait thermique

I.6.1.4 Perméabilité

La perméabilité est une caractéristique physique qui représente la facilité qu'a un matériau à permettre le transfert de fluide au travers réseau connecté. La loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé :

La perméabilité K .

La loi de Darcy (Henry Darcy, 18560) s'exprime par :

$$Q/s = K/n * DP/DX$$

La perméabilité k est donc :

$$K = Q/S * DX/DP * n$$

La perméabilité K s'exprime en m^3 .

I.6.2- Caractéristiques mécaniques

I.6.2.1-Résistance mécanique

La résistance mécanique est une caractéristique principale des bétons, car il est connu que le béton doit avoir des performances mécaniques pour être utilisé en construction des ouvrages.

La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir :

- La nature et la qualité des constituants (granulats, eau, adjuvant, ciments).
- Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation.
- Les conditions de mise en œuvre de ces constituants.

La résistance du béton se présente sous deux aspects essentiels résistance à la traction et résistance à la compression.

I.6.2.2-Résistance à la traction

Le béton est très fragile en traction, c'est à l'acier d'équilibre les efforts de traction permettant l'allongement du béton armé dans les zones tendues.

$$\text{Béton} \quad 1.8\text{Mpa} < FTJ < 3.6\text{Mpa}$$

La résistance à la traction est conventionnellement définie :

$$FTJ = 0.6 + 0.06f_{cj}$$

La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

Les techniques d'essai différentes :

- ❖ Essai de traction par flexion.
- ❖ Essai en traction directe.
- ❖ Essai de traction par fendage.

I.6.2.3 -Résistance à la compression

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus,

La résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton.

La résistance en compression, désignée par f_{c28} , est définie par des essais de compression simple, à 28j d'âge, sur des cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre.

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, la charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

1.6.2.4 -Durabilité

La durabilité du béton comme la capacité du matériau à conserver un comportement et une performance suffisamment satisfaisante dans les limites de la sécurité, lorsqu'il est soumis aux conditions réelles de service et pendant une durée prévue.

Est généralement utilisé pour caractériser de façon très générale d'un béton face à l'attaque d'un agent agressif physique ou chimique et aussi contraintes mécaniques (fluage).

La durabilité du béton dépend de plusieurs facteurs (d'actions physiques, chimiques ou mécaniques) qui affectent sa durée de vie. Plus particulièrement le gel. Les agents chimiques.

Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux bétons comme la porosité, perméabilité et diffusivité, la fissuration, les ions sulfates (oxydation des pyrites contenues dans certains granulats calcaires), réactions alcalis granulats, ou externe les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies de neige, l'eau de mer, les acides.

1.6.2.5- Elasticité

Elasticité c'est une caractéristique du béton pour évaluer ses contraintes et ses déformations
coefficient d'élasticité : $\text{Elasticité} = \frac{\text{contraint}}{\text{déformation}} \text{ relative}$.

En pratique, la déformation qui se produit au cours de chargement est considérée comme déformation élastique alors que son augmentation ultérieure, à charge constante, est considérée comme fluage.

En effet, la déformation totale est trois fois plus grande que la déformation instantanée.

Cela conduit à considérer deux modules élastiques :

Un module différé (EVJ).

Un module instantané(E_{II}).

Le BMAEL 91 propose la relation suivante être le module d'élasticité et la résistance à la compression du béton :

$$E_{II} = 3E_{vj}$$

Pour un chargement de longue durée d'application le module de déformation E_{VJ} est pris égal à :

$$E_{VJ} = 3700f_{cj}^{1/3} \text{ en (MPa)}$$

Pour un chargement d'un durée d'application inférieure à 24 heures, le module de déformation instantanée E_{II} du béton âge de j jours est pris égal à :

$$E_{II} = 11000f_{cj}^{1/3} \text{ en (MPa)}$$

Par mise vibration d'éprouvettes prismatique de longueur L, EI étant proportionnel au carré de la fréquence F on obtient le module d'élasticité dynamique :

$$E_{II} = (2.L.F)^2 w/g$$

Le module d'élasticité du béton dépend de sa résistance, de son âge, du contenu d'humidité et de type de granulat.

Pour les bétons de granulat léger de structure, il est de moitié environ par rapport à celui du béton courant. Pour les bétons courants, le module d'élasticité d'un béton peut varier de 25000MPa à 45000MPa.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$RCJ = Fr/A \text{ (KN/cm}^2\text{)}$$

Fr : est la charge maximale. Exprimée en N.

A : section de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0.5MPa (N/mm^2) près.

La résistance caractéristique du béton est la résistance à la compression à 28 jours notée R_{c28} ou f_{c28} .

I.7-Conclusion

Nous a permet de formules la conclusion suivantes sur l'étude bibliographique

Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croitre d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable.

L'emploie du béton, en grande quantité, nous permet d'affirmer que ce matériau est toujours en évolution. Ainsi, aujourd'hui, on dispose d'une large gamme de bétons et on choisit donc, pour chaque type d'ouvrage le béton adéquat. Nous citerons comme exemple les bétons légers, les bétons lourds....etc.

CHAPITRE II:

EMPLOI DES DECHETS DE BRIQUE
DANS LE DOMAINE GENIE CIVIL

II.1-Introduction

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement en granulats. Il ya des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, dans certains pays, à des difficultés pour à la déposer à la décharge gravats et de sous-produits inertes de l'industrie et dans d'autres pays, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement.

Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux

Cas des déchets de démolition par exemple, et utilisation de granulats faits à partir de ces déchets demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux normalisé.

L'usage de granulats de brique pour la fabrication du béton est jugé, par conséquent pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

II.2- Définitions

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

Un déchet est, selon la loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux du code l'environnement français : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».

On définit le déchet comme un produit ou n'importe quel résidu issu du métabolisme ou d'une activité humaine : domestiques, industrielles et agricoles, quand il ne peut plus être utilisé à d'autres fins par celui qui l'a fabriqué.

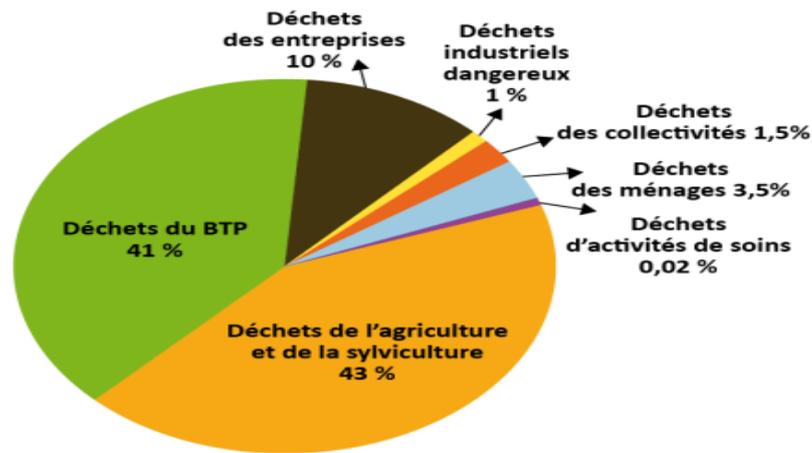


Figure 8: Les différents types de déchets

II.3- Production des déchets utilisés en génie civil

II.3.1-Sous produits de l'industrie

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

II.3.1.1- Le mâchefer

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé.

Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

II.3.1.2-laitier de haut fourneau

Sous-produits de l'industrie sidérurgique lors de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux, les laitiers sont formés de constituants non ferreux, des fondants et des cendres de coke. Leur composition en oxydes et leur structure vitreuse obtenue par trempe à l'eau leur confèrent des propriétés hydrauliques latentes, ce qui permet d'envisager leur utilisation en tant qu'ajout dans les ciments.

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

granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction de la couche de base, dans la fabrication des briques.

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

II.3.1.3-Cendres volantes

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granules légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées.

L'addition d'une faible quantité d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré.

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

II.3.2-Déchets de construction et de démolition

II.3.2.1-Production

Les déchets de construction et de démolition qui sont à la fois lourds et volumineux.

En France, en 2010, 260.2 millions de tonnes de déchets de construction sont produites chaque année.

En 2010, la production de déchets en France a représenté 355 million de tonnes, dont 260 million de tonnes pour les entreprises en dehors de la construction et 30 million de tonnes pour les ménages.

En Allemagne, en 1992, 43 millions de tonnes de matériaux de démolition ont été obtenus en ex-RFA.

La quantité de déchets produits chaque année dans l'Union Européenne est estimée à 3 milliards de tonnes. La Figure 9 illustre la production totale des déchets en Europe en 2002 par secteur.

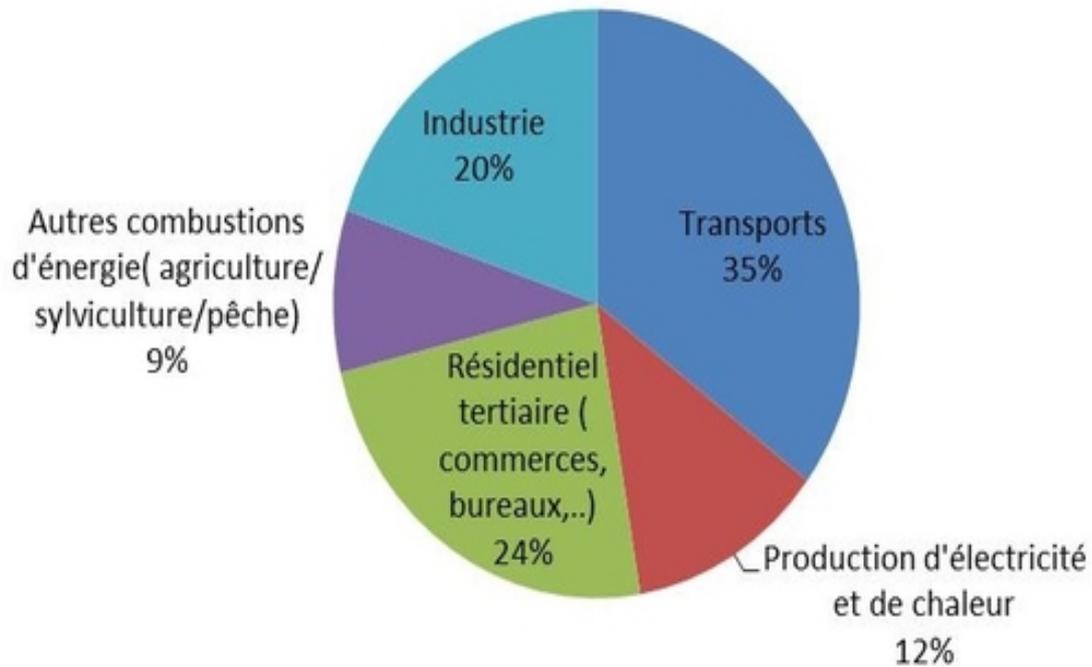


Figure 9: Production totale des déchets en Europe

En Algérie, les déchets de construction et de démolition, qui sont généralement classés parmi les déchets industriels, restent inconnus et sont estimés approximativement à des millions de tonnes par an.

II.3.2.2-Répartition

Les travaux de construction, de démolition produisent des tas de matériaux de construction : Béton armé, brique, verre, bois, plâtre...etc.

Ces tas sont plus ou moins composites suivant la nature de l'ouvrage.

Les quantités de déchets de démolition et de chantiers se répartissent approximativement.

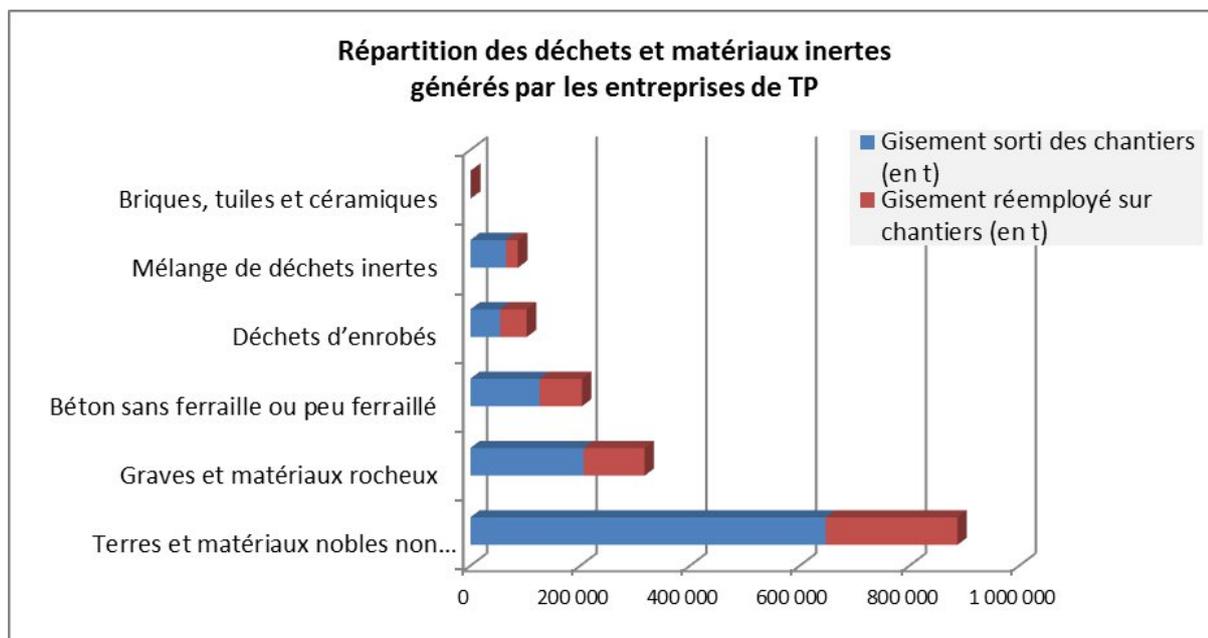


Figure 10: Répartition des quantités des déchets par type

Les déchets de construction et de démolition se subdivisent en plusieurs fractions.

- Les fractions pierreuses ou briquillons :
 - Cette fraction inerte se compose de béton ou de brique ou d'un mélange des deux (déchets mixtes). De céramique et de pierre naturelle.
 - Les déchets inertes comprennent près de 80% de tous mes déchets de construction et de démolition.
- Les déchets de revêtements routiers :
 - Ceux-ci concernent environ 15% des déchets de construction et de démolition. Les déchets de revêtements routiers (asphalte) ne sont pas considérés comme des déchets inertes étant donné qu'ils contiennent des hydrocarbonés.
- Les fractions non-pierreuses :
 - Une fraction difficilement ou non revalorisable de déchets : cette fraction comprend notamment le plâtre et le calcaire, le béton cellulaire, les matériaux bitumineux comme les couvertures de toitures et autres.
 - Une fraction revalorisable : cette fraction comporte des déchets de bois, de matériaux synthétiques de vieux métaux, de papier et de carton.

Toutes les réglementations et législations relatives aux déchets de construction et de démolition ont pour objectif premier de limiter la quantité de déchets ainsi que leur impact négatif sur l'environnement. Ensuite, il faut revaloriser le plus possible tous les déchets produits. Quant aux déchets dangereux, ils doivent faire l'objet d'un tri sélectif et être recyclés de manière rationnelle.

II.4-Les déchets de démolition de bâtiments

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets. En effet, la composition approximative des déchets de démolition en Grèce se répartit comme suit :

- béton (40 %), -
- Brique (30 %), -
- Bois (10 %), -
- Plastique (5 %),
- métaux (5 %),
- autres éléments (10 %)

. La démolition des routes génère des déchets d'enrobés mais également des déchets de bétons hydrauliques. Le traitement de ces déchets permet d'extraire les éléments non appropriés (comme les métaux) dans la fabrication de granulats recyclés pour usage routier. On distingue trois types de matériaux issus du recyclage :

- Granulat recyclé béton.
- Granulat recyclé enrobés.
- Granulat recyclé tout venant.

L'étude actuelle porte sur la caractérisation des propriétés des granulats recyclés de béton et leur valorisation dans la fabrication des bétons.

II.5 Recyclage des déchets

II.5.1 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. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont

complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent, c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de paire avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne. Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

I.5.2 Législation européenne relative au recyclage des déchets

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée. L'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000. Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux.

I.5.3 Technique de recyclage

I.5.3.1 Procédés de 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, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

I.5.3.2 La chaîne de recyclage

a. Collecte de 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 ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. 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. Le tri manuel est une de ces opérations.

b. 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.

c. 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.

II.6- Déchets en Algérie

Le gisement de déchets ménagers produit annuellement en Algérie comporte une fraction récupérable non négligeable que les services du MATET estiment les valeurs suivantes:

Papiers 385 000 tonnes/an

Plastique 130 000 tonnes/an

Métaux 100 000 tonnes/an

Verre 50 000 tonnes/an

Matière diverse 95 000 tonnes/an

D'après les données nationales, on peut résumer ce qui suit : [49]

- ❖ L'Algérie génère chaque année 10 à 12 millions tonnes de déchets ménagers.
- ❖ L'Algérie compte 3000 décharges sauvages. Ces décharges occupent une surface totale de l'ordre de 150 000 hectares.
- ❖ La décharge coûte annuellement à l'Algérie 0,19 % du PIB en impacts sur la santé et 0,13 % du PIB en pertes économiques (potentiel de recyclage et de valorisation non réalisés).
- ❖ Chaque année 200 000 tonnes de déchets d'emballages sont rejetés en Algérie. Les plastiques constituent 95% de ces emballages et les métaux représentent les 5% restants.
- ❖ Des 200 000 tonnes de déchets d'emballages rejetés annuellement, seulement 4000 tonnes sont récupérées soit 2% du gisement.

- ❖ Chaque année, 22000 tonnes de déchets d'activité de soins sont produits en Algérie.
- ❖ Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a programmé la réalisation de 1000 schémas directeurs de gestion des déchets solides urbains pour les différentes communes du pays.
- ❖ Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a programmé la réalisation de 300 Centres d'enfouissement Technique et décharges contrôlées.
- ❖ Il existe en Algérie 317 incinérateurs opérationnels pour la destruction des déchets d'activité de soins.
- ❖ Chaque année, les algériens utilisent près de 300 millions de piles et accumulateurs, soit environ 12 unités par habitant. On estime que 70% de ces piles finissent dans la nature ou à la décharge avec tous les risques de contamination de l'environnement par le mercure, le cadmium, le plomb, le zinc et le lithium.

II.6.1- Lois Algériennes concernant les déchets [50]

- **Loi N°90-08 portant code communal.**
- **Loi N°01-19 du 12/12/2001** relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des Déchets.
- **Loi N°03-10 du 19/07/2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Décret exécutif n° 02-175 de la 20/05/2002** portant création de l'Agence Nationale des Déchets.
- **Décret exécutif n° 02-372 du 11/11/2002** relatif aux déchets d'emballages
- **Décret exécutif n° 04-199 du 19/07/2004** fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages « ECO-JEM »
- **Décret exécutif n° 04-410 du 14/12/2004** fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations,
- **Décret exécutif 07-205 du 30/06/2007** fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilé

II.7-Classification des déchets dans le génie civil

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories soit liquides soit gazeux ou solide. Dans le cadre de travaux de génie civil on distingue trois grandes familles :

II.7.1-Déchets dangereux (spéciaux)

Les déchets spéciaux sont des déchets qui, en raison de leur composition ou de leurs propriétés, présentent un danger pour la santé humaine ou pour l'environnement.

Ce type de déchet doit donc subir un ensemble de traitements appropriés pour en réduire la toxicité et le risque de contamination. Ils nécessitent donc des filières spécifiques de collecte, transport, traitement, recyclage et élimination.

On distingue différents types de déchets spéciaux en fonction de leur origine :

- ❖ Les déchets ménagers spéciaux (DMS) produits par les ménages comme les aérosols, produits de jardinage, produits de bricolage, thermomètre au mercure, etc.
- ❖ Les déchets industriels spéciaux (DIS) produits par l'industrie lourde et les entreprises, comme les mâchefers, boues d'épuration, déchets phytosanitaires, solvants, etc.
- ❖ Les déchets d'activités de soins à risque infectieux et assimilés(DASRIA) produit les centres de soins hospitaliers et vétérinaires, comme les seringues, milieux de culture, fragments anatomiques, pansements, etc.

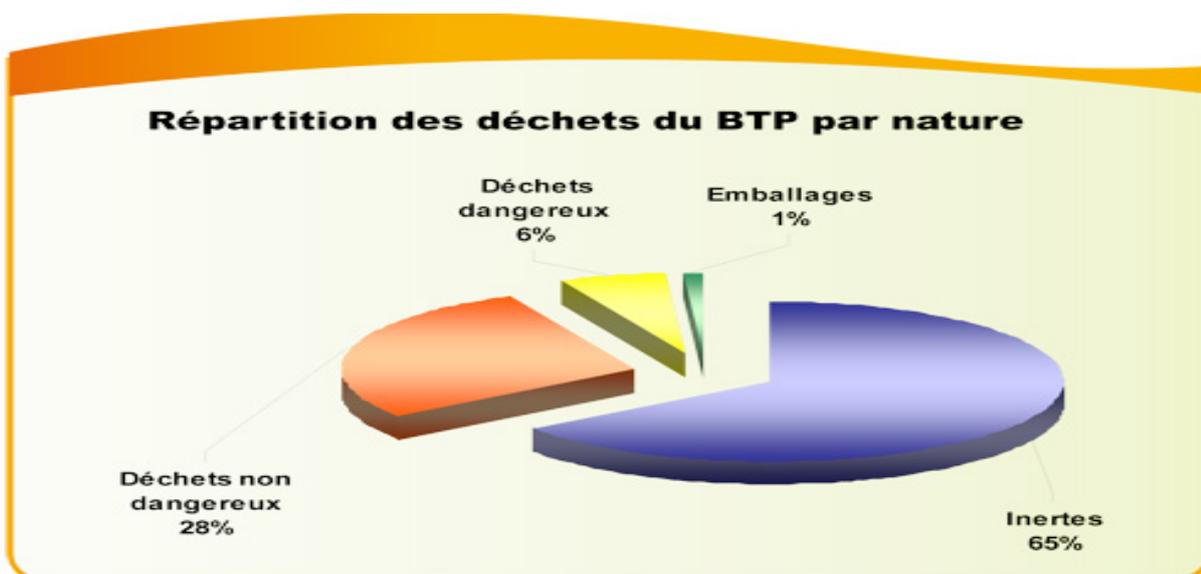


Figure 11:Compositions des déchets du bâtiment

II.7.2-Déchets banis

Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services. Ce sont des déchets qui ne présentent pas de danger particulier vis-à-vis des personnes ou de l'environnement et qui peuvent être éliminés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères. Il s'agit notamment de mélanges de déchets non dangereux, non inertes (DIB), Métaux, Plâtre-plaques et carreaux, Plastiques, Vitrages, et autres déchets non inertes non dangereux (plastique, métal, carton, bois).

II.7.3 Déchets inertes

Les déchets inertes sont des déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment, ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux.....).

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : le béton, les briques, les céramiques, les carrelages, les tuiles, les matériaux à base de gypse.

II.8 - Recyclage des déchets de chantier

Dans l'obligation de valoriser au maximum sur les déchets de chantier, il faut éviter de mélanger les différentes natures de déchets.

Le tri de ces déchets opéré directement sur les chantiers permet d'en valoriser près de 80% ceci grâce à différentes bennes de collecte. Une fois séparés, les différents matériaux sont acheminés vers des filières de valorisation.

La branche de la construction est celle qui produit les plus gros volumes de déchets, soit 500m³ par habitant. En 2004, le canton de Vaud a produit près de 1'200'000 tonnes de déchets de chantier, ce qui est conséquent comparé aux 600'000 tonnes de tous les autres catégories de déchets.

La valorisation des déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation connaît un développement assez important. A titre d'indication, le taux de recyclage dans certains pays d'Europe pour l'année 1995 est résumé dans le Tableaux II-1 suivant :

Pays	Déchets recyclés (millions t/an)	Part de recyclage Dans la production De débris(%)	Part de recyclage dans la consommation de granulat(%)
Pays-Bas	7,7	64,2	6,1
UK	7,2	14,8	2,5
Belgique	2,3	30,3	2,6
Danemark	14,9	24,0	3,6
France	3	9,0	0,7
Espagne	0,5	3,7	0,2

Tableau 5: Taux de recyclage en Europe

II.8.1- Elaboration des granulats recyclés

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

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition. En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont :

- ✓ Dés granulats naturels concassés partiellement.
- ✓ De la pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels.

L'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction consiste à réduire le plus gros élément à l'aide d'un brise-roches hydraulique, à couper les éléments longs à l'aide d'une cisaille, puis à concasser les matériaux selon la granulométrie désirée.

D'une façon générale, les déchets inertes de démolition peuvent être traités dans les installations spécialement conçues à cet effet. Elles peuvent être de trois :

Mobile : les installations sont montées sur remorque ou semi-remorque et peuvent être transportées aisément d'un lieu d'intervention à un autre.

Semi-mobile : les installations sont montées sur des structures métalliques et peuvent être déplacées sans problème moyennant des engins de manutention appropriés.

Fixes : les installations sont montées sur fondations.

II.8.2-Opération de recyclage

Une étude consacrée au recyclage de la fraction inerte des matériaux de démolition, réalisée en France, en 1992, par le Syndicat national des producteurs de granulats de recyclage, montre que :

Le recyclage par une installation mobile, outre le fait qu'il nécessite des chantiers de démolition importants (30 000 tonnes au minimum), présente des difficultés au niveau de la commercialisation des produits, pour plusieurs raisons :

Compétitivité souvent moins favorable que dans les grandes métropoles. Délais d'évacuation des matériaux courts (durée du chantier), Offre des produits se situant en marge du circuit organisé.

Le recyclage par une installation fixe collectant les matériaux de démolition sur une vaste aire géographique (la moitié d'un département, par exemple) est réalisable techniquement mais plus incertaine sur le plan économique car le cout de collecte doit être attractif que le cout de mise en charge. Ainsi pour un chantier de démolition situé à 50Km de l'installation de recyclage, le cout de mise en décharge, pour être dissuasif, devrait être supérieur au cout du transport à l'installation.

L'égalité des prix satisfaite sur pour un transport de granulats naturels sur une distance de l'ordre de 20kilomètres. La règle de compétitivité peut se traduire de la façon suivante, à prix égal rendu sur le chantier de mise en œuvre :

Les granulats recyclés supportent un sur cout, au départ de l'installation, qui correspond à une distance de transport de 20 km. Ce qui revient à dire que les granulats naturels bénéficient d'une possibilité de transport supplémentaire de 20km, environ.

II.8.3- Déchets de constriction et de démolition

Parmi les déchets dits inertes, certains pourraient être recyclés, ce qui permettrait de réduire d'autant les extractions de granulats tout en prolongeant la vie des décharges qu'ils contribuent actuellement à saturer. Ces matériaux recyclables sont dans deux catégories de produits :

Les matériaux de démolition et déchets de construction sont la source principale des granulats de recyclage et sont également valorisables en matériaux pour génie civil : les matériaux grossiers (béton armé, béton cellulaire), Les matériaux plus tendres (brique, tuiles, céramiques, etc.)

Les déblais de terrains naturels sont directement valorisables en matériaux pour travaux de génie civil d'aménagement : éléments grossiers, graviers et sables, Terres.

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de brique, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées.

II.8.4-Classification selon les densités des bétons

Le guide ACI 213R-87(28), distingue alors trois types de bétons de granulats légers, classées selon la masse volumique du matériau durci. Selon leur densité séchage à l'air libre pendant 28j, en regard de l'utilisation à laquelle chaque type est généralement destine.

Le béton de résistance moyenne se situe approximativement entre 70 et 75 kg/m³ et leur valeur d'isolation thermique est moyenne. Se situe entre les deux 800-1350 kg/m³ sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPA et ses caractéristiques d'isolation thermique se situent entre celles du béton léger et celles du béton structural léger.

Les bétons de structure à base de granulats légers dont la masse volumique est compris entre 1350 et 1900 kg/m³ comme son nom l'indique, ce béton est utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression de 17 MPA, et une densité après séchage libre pendant 28 jours inférieure à 1850 kg/m³. Les valeurs d'isolation thermique des bétons légers de structure plus faibles et sensiblement plus élevées que celle des bétons normaux.

Le béton léger de faible densité et la masse volumique sa masse volumique est comprise entre 300 et 800 kg/m³ avec faible densité, dépassant rarement 800 kg/m³. Les résistances à la compression sont faible elles se situent à peu près entre 7 et 70 kg/cm³.

II.8.5- Classification selon la matière première

Matières premiers	Préparation	origine	granulats	observations
Naturelles	Sans traitement Thermique	Volcanique	Pouzzolanes Cinérites Tufs volcaniques Ponces	
		Sédimentaire	(roches carbonatées) Calcaire coquilliers Calcaire poreux Tufs calcaires	Emplois Occasionnels dans les régions Dépourvues d'autres granulats
			(Roches siliceuses) Diatomites Gaizes spongiosités Diatomite calcinée	Emplois comme Granulats difficilement envisageable pour les produits non calcinée
		Sédimentaire à métamorphique	Gravillons céramiques creux	Produit très peu répandu
			Argiles expansées Ardoises expansées Schistes expansées	Dans leurs origines, passage continu de la diagenèse au métamorphisme

		Volcanique	Perlite expansée	
		Altération	Vermiculite exfoliée	
Artificielles	Traitement thermique	Sous-produits industriels	Décombres, briquillons Mâchefers	P.m. Emplois occasionnels
	Avec traitement Thermique approprié		Mâchefers, frites, Cendres volantes frittées Laitier expansé verre expansé	

Tableau 6:Classification des granulats légers minéraux

II.9-Bétons des déchets de brique utilisé comme granulats

II.9.1-Déchets de brique (recyclage et normes)

La brique est un matériau qui provient du démantèlement de bâtiment résidentiel, industriels, commerciaux, etc.

- De contaminants inorganiques (métaux et métalloïdes) en provenance de la matière première (granulaire naturel, matières résiduelles non dangereuses, ciment), d’enduits ou d’activités industrielles.

De contaminants organiques en provenance d’enduits, de déversements ou d’activité industrielle.

Il existe peu d’information disponibles sur le devenir des débris de brique de terre cuite qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres, d’un part techniquement, les débris de brique pratiquement recycle comme composant d’un matériau type maçonnerie.

Les débris de brique ont été très employés dans le type d'Europe très ravagés, à la fin de la seconde guerre mondiale. Des tas de décombres de villes dont les de briques générés, se trouvent en quantités énormes.

Les débris de brique ont été utilisés pour produire des granulats et des normes ont été élaborées telles que :

- ✓ Béton de débris de brique.
- ✓ Parpaings de béton de briques.
- ✓ Hourdis creux de planchers en béton léger.

II.9.2-Propriétés de béton à base de déchets de brique

Les briques concassées sont utilisées largement, bien que largement usage, il n'y avait pas d'études systématique des différentes propriétés du béton de granulats de brique.

Les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de brique concassée, résultantes des recherches sont :

La procédure de la reproduction de mélange pour bétons de granulats normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de brique concassée.

Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup élevée que celle de béton à base de gravier naturel.

Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le béton normal.

Pour la même résistance à la compression, la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal.

La masse volumique apparente de béton de brique concassée varie de 2000 à 2080 kg/m³.

Pour le béton à base de granulats de brique concassées, cette chute est plus importante .Elle est de l'ordre de 10 à 40%. Lorsque les granulats naturels sont remplacés par d mélange de granulats de béton et de briques concassées en même temps, la chute de résistance est en moyenne de 35 à 42%.

II.9.3- Domaine d'utilisation du béton de déchets de briques

Le béton de débris de brique a déjà trouve, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité.

Le béton à base de granulat de briques présente une bonne résistance au feu.

Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulas dans la construction d'assises routières, pour l'aménagement paysager et comme matériaux de remblaiement.

Isolant poreux pour les carrelages, les parpaings, avec une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50kg/m³. Des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30mm/m.

Les granulats à base de brique concassée conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrage soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, carreaux de cheminées, conduites de fumées, de parties de fours.

II.10- Conclusion

Le déchet est par définition « matière » et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle à une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Notre recherche dans les déchets, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil.

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats.

Parmi ces déchets, les débris de brique, qui peuvent d'une résistance acceptable. La fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

Les granulats de la brique concassée produisent des bétons d'une résistance acceptable. Le granulats de la brique peut être utilisé pour produire du béton de haute qualité.

Des essais effectués sur des bétons de débris de brique ont montré que, pour des bétons de masse volumique apparente de l'ordre de 2000kg/m³, on avait des résistances à la compression identiques à celle des bétons normaux.

CHAPITRE III:

EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LE BETON

III.1- Introduction

Bien que l'utilisation du béton dans le domaine de la construction ne cesse de croître, la détermination de ses propriétés reste essentiellement appuyée sur des méthodes empiriques. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne le comportement du béton à haute température.

En effet, la vaste étendue d'utilisation du béton pour la construction des infrastructures et des bâtiments l'expose à des situations accidentelles d'incendies sans qu'il soit toujours possible de prévoir le comportement du matériau et d'assurer ainsi une meilleure sécurité des usagers et des ouvrages. Les exemples récents d'incendies de tunnels sous la Manche et du Mont-Blanc ont mis en évidence des lacunes sur la compréhension des phénomènes d'écaillage et d'éclatement du béton et motivé la communauté scientifique à étudier plus en profondeur le comportement à haute température du béton.

III.2-Effets de la température sur le béton

Les essais de laboratoire sont habituellement effectués à une température, normalement constante. Comme les premiers essais ont été effectués dans les climats tempérés, la température choisie était généralement comprise entre 18 et 12 °c, de sorte que la plupart des informations de base sur le propriété des bétons frais et durcis sont fondées sur le comportement du béton assez température. Cependant, en pratique le béton est préparé sur une plage de températures très variés et demeure aussi un service à différentes températures. La plage de température a été considérablement élargie avec des constructions de plus en plus modernes dans des pays à climat chaud. Parallèlement, de nouvelles structures, tel que des plateformes de forage, sont érigés dans des régions très froides. En conséquence, la connaissance des effets de la température sur le béton est d'une grande importance c'est l'objet de ce chapitre.

En premier lieu, on examinera l'influence de la température du béton frais sur la résistance, puis en procédure as a une revue de traitement thermique du béton après sa mise en œuvre, soit par traitement à la vapeur à la pression atmosphérique, soit à la vapeur sous haute pression. Ensuite, les effets de l'élévation de la température dans le béton du au développement de la chaleur sur la passion du ciment seront étudiées, suivi de considérations sur le bétonnage par temps chaud et par temps froid. Finalement, on examinera et propriétés thermique du béton durci est l'influence des très hautes et très basses températures en service un client les effets du feu.

III.3 -Influence de la température initiale sur la résistance du béton

Nous avons vu qu'une augmentation de la température de mûrissement accélère les réactions chimiques d'hydratation et a fait ainsi avantageusement à résistance au jeune âge du béton sans aucun effet néfaste sur la résistance ultérieure. Une température plus élevée pendant et après le combat initial entre le ciment et réduire la durée de la période dormance, de sorte que la structure globale de la part de Simon hydrater s'établit très tôt. Rien qu'une température plaît élevé durant la mise en place et la prise augmente la résistance au très jeune âge. Elle peut avoir un effet inverse sur la résistance après 7 jours. En effet une hydratation initiale rapide de conduire à la formation de produits d'hydratation présentant une structure physique - Compact. Probablement plus pour, de sorte qu'un pourcentage de porc restaurant l'on remplit. En se basant sur la règle du rapport gel espace, cela conduira à une résistance plus faible comparée à celle d'une pas de Sim au moins pour, il a quel rapport quel espace élevé sur éventuellement atteinte.

Cette explication sur les effets néfastes température initial élevée sur la résistance à long terme à été Avancer par Verbeeck et Helmuth, qui suggèrent que la vitesse initiale d'hydratation rapide à des températures plus élevées retarde l'hydratation subséquente et cause une distribution non uniforme des produits d'hydratation à l'intérieur de la pâte. En effet, à une vitesse initiale d'hydratation élevée. Les produits d'hydratation n'ont pas suffisamment de temps pour diffuser loin du grain de ciment et pour se précipiter uniformément dans l'espace interstitiel (comme c'est le cas à des températures plus basses). Par la suite, une concentration est levée de produits d'hydratation se retrouve au voisinage des grands qui s'hydrate, ce qui retarde le hydratation subséquente et affecte défavorablement la Résistance à long terme. La présence de CSH pour au sein des grains de ciment a été confirmé par des images par électron rétrodiffusés.

En outre, la distribution non uniforme des produits d'hydratation François accepte défavorablement la résistance parce que le rapport gel flash espace disponible dans les interstices est plus faible que si l'on avait degrés = d'hydratation de. Les hommes locaux de faiblesse affaiblissent l'ensemble de la résistance de la pâte de ciment hydraté.

Pour ce qui a trait à l'influence de la température durant le jeune âge du béton sur la structure globale de la pâte de ciment hydraté, il est utile de rappeler qu'un faible d'un de résistance à court terme a aussi un effet bénéfique sur la résistance lorsque l'hydratation est ralenti parlons l'utilisation de retardateur. On a trouvé que les réducteur d'eau et le retardateur de prise en effet bénéfique Composant la réduction de la Résistance à long terme d'un béton son a du vent mûri à une température élevée. Cependant, on doit comprendre que cet effet et due à la réduction d'eau et par conséquent à un plus faible rapport au ciment. De plus la vitesse de perte de maniabilité est plus élevée lorsque ces adjuvants sont utilisés.

III.4- Les Bétons soumis à haute température

Le béton est le matériau formé par le mélange de ciment, de sable, de gravillon et d'eau, et éventuellement d'adjuvants et d'additions, et dont les propriétés se développent par l'hydratation du ciment. Le changement des propriétés physico-chimiques et mécaniques des bétons qui s'opèrent au cours d'un cycle thermique nécessite la connaissance des phases qui constituent la pâte de ciment à température ambiante. Ainsi dans ce chapitre, nous nous attacherons au début à faire une description détaillée de la pâte de ciment. Cette description débutera par une présentation globale des éléments constitutifs de la pâte de ciment, puis se poursuivra par une compréhension du rôle joué par l'eau dans cette structure, et par une analyse de l'interface pâte-granulats. [23]

III.5 -Effet des hautes températures sur la microstructure du béton

Dans cette partie nous présentons les effets physico-chimiques de la température sur la pâte de ciment et sur les granulats, et puis nous étudions par la suite le comportement à haute température du béton. [24]

Entre 30 et 120°C	L'eau libre et une partie de l'eau adsorbée s'échappent du béton. Elle est complètement éliminée à 120°C.
Entre 130 et 170 °C	Une double réaction endothermique peut avoir lieu correspondant à la décomposition du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
Autour de 180 °C et jusqu'à environ 300 °C	la première étape de la déshydratation. La chaleur brise le gel de ciment et arrache des molécules d'eau aux silicates hydratés. L'eau liée chimiquement commence à s'échapper du béton.
A environ 250 et 370 °C	On peut avoir de petits pics endothermiques indiquant des effets de décomposition et d'oxydation d'éléments métalliques (ferriques).
Entre 450 et 550°C	Il y a décomposition de la portlandien en chaux libre : $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
Autour de 570 °C	Il y a transformation de structure du quartz a en quartz P accompagnée d'un gonflement pour les granulats quartziques et basaltiques.
Entre 600 et 700 °C	Il y a décomposition des phases de C-S-H et formation de P -C2S. C'est la seconde étape de la déshydratation des silicates de calcium hydratés qui produit une nouvelle forme de silicates bi-calciques.
Entre 700 et 900 °C	Il y a décomposition du carbonate de calcium. Le calcaire se décompose autour de 800°C en $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ réaction fortement endothermique qui libère du gaz carbonique.
A dessus de 1300°C	Début de la fusion des agrégats et de la pâte de ciment.

Tableau 7: Les principales réactions physico-chimique dans le béton au cours de son 2chauffement [24]

III.5.1- Effet de la température sur la pâte de ciment

la présence de l'eau sous différentes formes comme nous l'avons déjà dit. Entre 30 et 120°C, l'eau libre et l'eau adsorbée s'évaporent, et au-delà de 105°C les hydrates commencent à se décomposer selon [25]. Cependant d'autres travaux, notamment ceux de

[25], montrent que la déshydratation de la pâte de ciment débute dès l'évacuation de l'eau évaporable.

Ensuite à Les principales modifications physico-chimiques se passent dans la pâte de ciment, en raison de partir de 180 °C et jusqu'au-delà de 800°C, le gel de CSH se décompose essentiellement en silicate de calcium $\beta\text{C}_2\text{S}$, βCS et en eau tandis que se forme l'hydroxyde de calcium CH qui donne l'oxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

A l'aide de la diffraction aux rayons X, les chercheurs ont observé un phénomène d'hydratation additionnelle entre 200 et 300°C. Cette réaction se traduit par une diminution des phases $\beta\text{C}_2\text{S}$ et C_3S ainsi qu'une faible augmentation de la quantité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La technique de la diffraction des neutrons, permet de suivre les transformations de phases des principaux constituants de la pâte de ciment. (La figure 9) présente un résultat d'essai mené, à l'ESRF (Européen Synchrotron Radiation Facilite), sur une pâte de ciment chauffée à la vitesse de 1°C/min jusqu'à 700°C. [25]

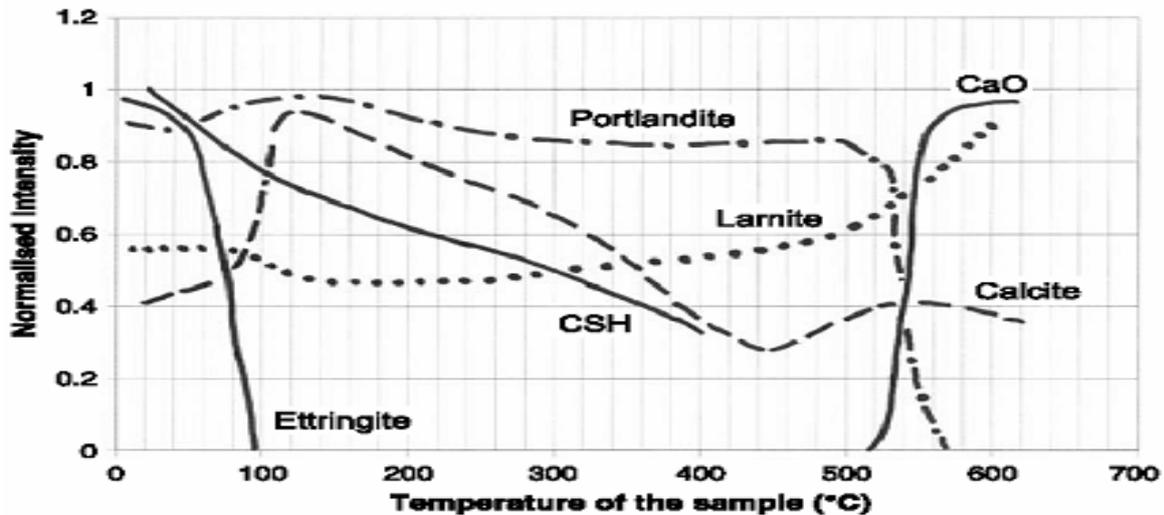


Figure 12: Evolution des composantes du ciment sous l'échauffement [25]

La figure 12 présente les courbes d'analyse thermo gravimétrique et d'analyse thermique différentielle réalisées sur une pâte de ciment après différents traitements thermiques. On y observe des zones bien marquées de décomposition de Portland ite et du carbonate de calcium. [26]

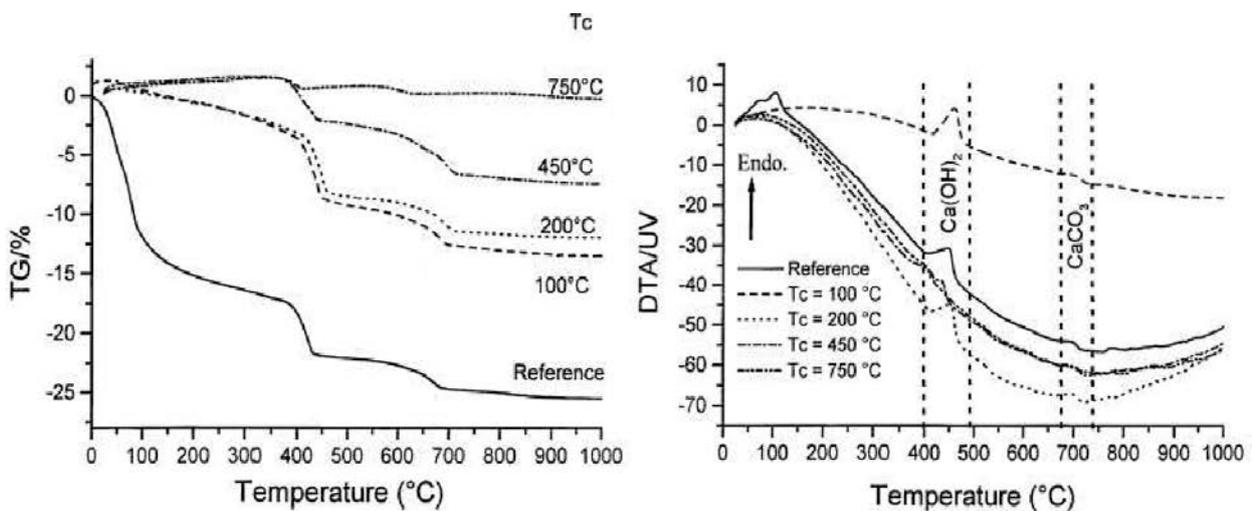


Figure 13: Courbes d'analyse thermo gravimétrique thermique et d'analyse thermique différentielle d'une pate de ciment à différentes températures [26]

III.5.2 -Effet de la température sur les granulats

A haute température, les granulats se décomposent et subissent des transformations chimiques et minéralogiques importantes qui modifient les caractéristiques micro structurales du matériau.

La majorité des granulats est généralement stable jusqu'à 600°C. Par contre, les granulats non siliceux peuvent subir des transformations chimiques et des réactions de décomposition à des températures inférieures à 600°C. Une analyse thermique différentielle (ATD) permet de déterminer, par des pics endothermiques et exothermiques, les températures auxquelles une instabilité peut survenir dans les granulats. Les analyses thermogravimétriques (ATG), donnent des indicateurs de la progression des réactions de décomposition en mesurant les variations de masse des granulats au cours du chauffage. La Figure 14 montre les résultats de perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux). [27]

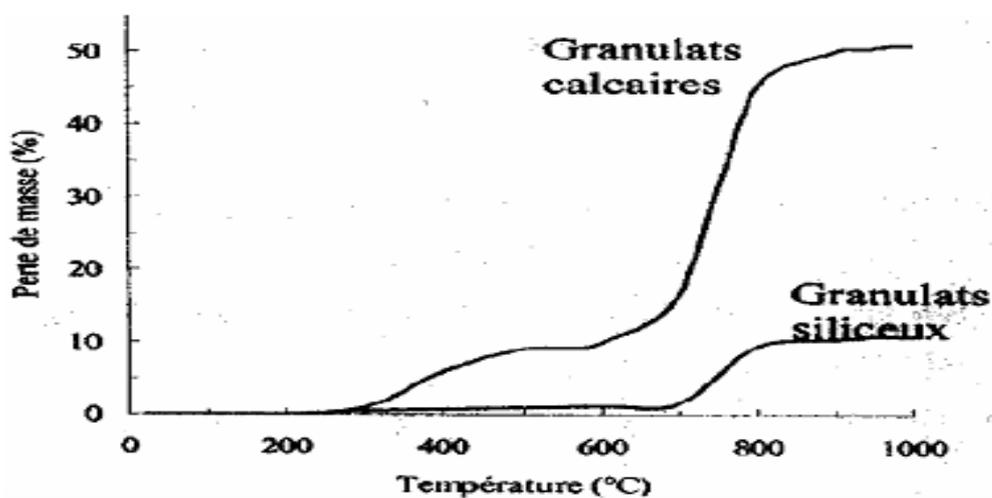


Figure 14: Perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux)[27]

III.6- Evolution des caractéristiques mécaniques avec la température

Le comportement à température ambiante des bétons est bien connu. Sous traitement thermique, la microstructure du béton subit d'importantes modifications physico-chimiques. Ces transformations au sein du matériau influencent le comportement mécanique. Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser à l'évolution des propriétés mécaniques du béton avec l'élévation de température.

III.6.1- Résistance en compression à haute température

L'essai de résistance à la compression résiduelle, est l'un des essais les plus couramment utilisés pour décrire l'évolution des propriétés mécaniques du béton avec la température. Il a l'avantage de se pratiquer sur un matériel simple (une presse hydraulique) et ne nécessite pas un personnel qualifié, à la différence de l'essai de compression à chaud. Ce dernier se pratique à la fin du palier

de stabilisation de température au cours du cycle thermique. Il est considéré comme étant plus représentatif du comportement du matériau à haute température.

Dans le Tableau 7.8 les hypothèses concernant l'apparition de ces phases son regroupé.

Phase	Plage des températures, environ :	Effet sur la résistance en compression	Hypothèses concernant l'explication du phénomène
I phase	de 20 °C à 120°C	diminution	<ol style="list-style-type: none"> 1. dilatation thermique de l'eau $\alpha = 70 \times 10^{-6}$ qui peut entraîner un écartement des feuillets du gel CSH et ainsi diminuer les forces d'attraction 2. un affaiblissement des liaisons entre les hydrates 3. pressions de la vapeur d'eau qui créent des contraintes internes non négligeables exercées sur le squelette
II phase	de 100 °C à 250 °C pour BHP d'E/C faible 100°C-400°C	augmentation	<ol style="list-style-type: none"> 1. départ d'eau - séchage 2. rapprochement des feuillets du gel CSH - renforcement des liaisons entre les hydrates
III phase	> 250°C pour BHP de E/C faible >400°C	diminution	<ol style="list-style-type: none"> 1. déshydratation du gel CSH 2. décomposition du portland ite 3. endommagement par la fissuration due à la différence de la dilatation thermique entre la pâte et les granulats

Tableau 8: Les phases de l'évolution des résistances en compression en fonction de la Température.[28]

III.6.2- Résistance en traction à haute température

La résistance en traction est un des éléments souvent cités dans les études d'instabilité thermique du béton à haute température. Il existe malheureusement peu de données expérimentales sur son évolution avec la température. Les quelques informations recueillies indiquent que la résistance en traction peut être obtenue, d'un point de vue thermique, à chaud ou en résiduel et d'un point de vue technique par fendage ou par traction directe.

Le chercheur a effectué des essais de traction directe durant le cycle thermique à la fin de la période de stabilisation du palier de température sur un BHP (100 MP). Elle observe

Que la résistance à la traction obtenue « à chaud » à 120°C, 250°C et 400°C est supérieure à celle déterminée à 20°C (figure 15). [28]

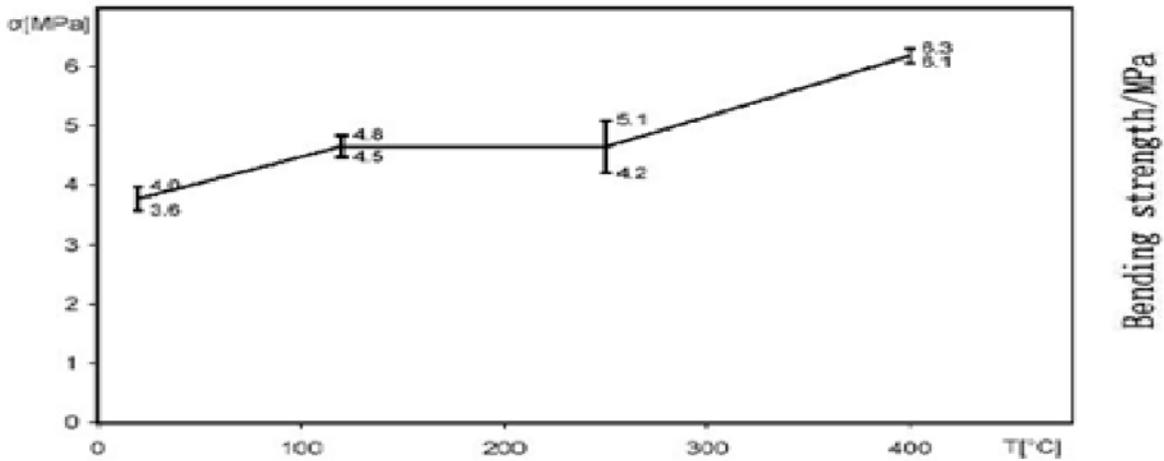


Figure 15: Evolution de la résistance à la traction à chaud d'un béton à hautes performances

Les essais sur la résistance résiduelle à la traction normalisée montrent une diminution de cette dernière avec la température. Ils soulignent que la baisse de résistance en traction est beaucoup plus rapide que celle de la résistance en compression, pour des températures supérieures à 400°C. Il apparaît, au vu de ses résultats, que la résistance en traction initiale des bétons n'a aucune incidence sur l'évolution de la résistance avec la température.

Le chercheur note que sur la résistance résiduelle à la traction par fendage est plus sensible aux effets de la fissuration que la résistance résiduelle à la compression. Il indique également que la baisse de résistance des pâtes à hautes performances est beaucoup plus rapide que celles des pâtes ordinaires dans la plage de température comprise entre 200 et 400°C (figure 16). [29]

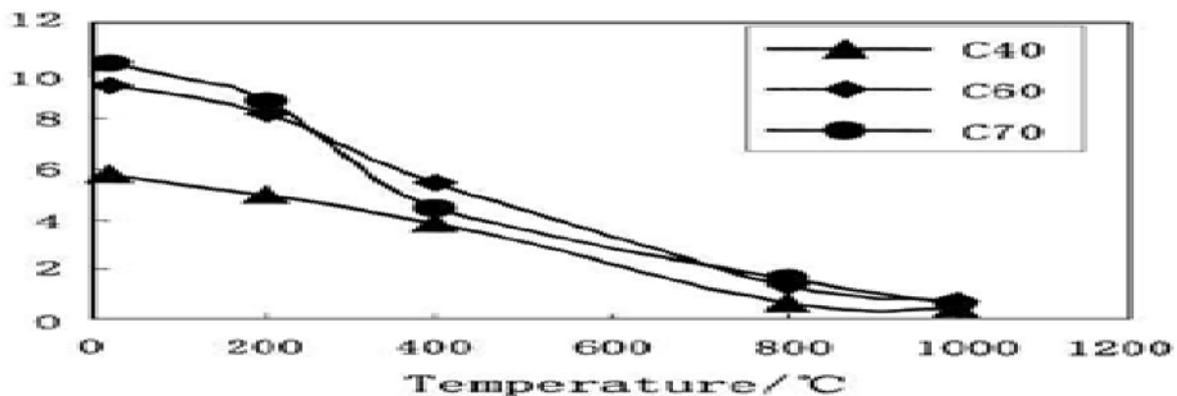


Figure 16: Evolution de la résistance résiduelle à la traction des pâtes de ciment avec la température [29]

III.7-Comportement du béton au feu

Bien que l'on est traité de la résistance au feu du béton à plusieurs occasions, le traitement complet de ce sujet en dehors de l'objectif de ce livre parce que la résistance au feu s'applique en réalité à un élément de bâtiment plutôt un matériau de construction. Cependant, on peut dire que, en général, le béton un bon comportement sur le plan de la résistance au feu, c'est-à-dire que le béton et non combustible virgule la durée d'exposition au feu durant laquelle il continue d'offrir de bonnes performances est relativement élevé et il ne dégage pas de fumée toxique. Les critères correspondant de performance sens de la capacité à reprendre les charges virgule la résistance à la pénétration des flammes et la résistance à la transmission de la chaleur lorsque le béton est utilisé comme matériau protecteur pour l'acier une analyse générale de la résistance au feu du béton est décrite par Smith. En pratique, on s'attend à ce que le béton de structure conserve sa capacité de solidité pendant le temps voulu, ce qui est tout à fait différent d'être résistant à la chaleur. En considérant le comportement du béton en tant que matériaux, on doit noter que le feu introduit du gradient élevé de température et, en conséquence, les couches chaudes de surface en tendance à se séparer du cœur plus froid du béton. La formation de fissures est favorisée au juif, dans les parties du béton pour consolider ou dans des plans des armatures, une fois les armatures exposés, elle véhicule la chaleur et accélère l'action de température élevées. Le type de granulats influence la tenue du béton température élevé. La perte de résistance est considérablement moindre lorsque les granulats ne contient pas de silice certaine forme de silice subissent un changement dimensionnelle. C'est le cas par exemple des calcaires, des roches signé basiques et particulièrement des brique concassée et du laitier de haut fourneau. Le béton de faible conductivité thermique

Thermique présente une meilleure résistance au feu de sorte que, par exemple, en béton léger résiste mieux au feu en béton ordinaire.

III. 8-Conclusion

Le béton est un matériau essentiel dans la composition des ouvrages, il est influe par les agressions chimique et par les problèmes d'incendies, la haute température est l'un des phénomènes influant énormément sur la microstructure de la pâte de ciment, ainsi que l'influence sur les caractéristiques mécanique de cette matière.

Dans cette partie on a travaillé sur la reconnaissance du phénomène de haute température et de son effet néfaste sur les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du béton, et pour cela l'analyse de béton semis à la haute température est nécessaire pour comprendre précisément ce matériau et son comportement.

CHAPITRE IV :

MATERIAUX UTILISE ET METHODE
D'ESSAI

IV.1- Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

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.

IV.2- Matériaux utilisés

IV.2.1-ciment

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment peut être défini comme un mélange d'oxyde basique, CaO , noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO_2 , noté S, Al_2O_3 , noté A, ou Fe_2O_3 noté F en notation cimentaire.

Le ciment utilisé lors de l'étude est de type CPJ CEM II/A 42.5 (norme Algérienne NA 442), conditionné en sac de 42.5 Kg, de BENI-SAF.



Figure 17: Ciment utilisé BENI SAF CPJ CEM II/A42.55 (norme Algérienne NA 442)

La composition chimique, les caractéristiques physiques, et la composition minéralogique du ciment sont portées sur les tableaux ci-dessous

1. SPECIFICATIONS		
1.1 Essais physico Mécaniques	Valeur mesurée	Norme NA 422/2013
Refus à 90um(%)	2.84	--
Consistance (%)	24.98	--
Début de prise (mn)	168	>60mm
Compression 02 jours (N/mm ²)	17.18	>10.0
Compression 07 jours (N/mm ²)	31.84	--
Compression 21 jours (N/mm ²)	46.48	--
Flexion 02 jours (N/mm ²)	3.52	--
Flexion 07 jours (N/mm ²)	5.52	--
Flexion 28 jours (N/mm ²)	7.14	--
Expansion à chaud sur pâte (mm)	0.59	--

Tableau 9: Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Composition Minéralogique Clinker	C₃S 63.91%	C₂S 12.57%	C₃A 8.29%	C₄AF 10.32%
Composition chimiques Ciment	Valeur mesurée		Norme NA 442/2013	
Perte au feu (en%)	1.38		--	
Cao libre (en%)	0.69		--	
SiO ₂ (en%)	28.14		--	
Al ₂ O ₃ (en %)	5.56		--	
Fe ₂ O ₃ (en%)	3.20		--	
Cao (en%)	56.00		--	
Mg O (en %)	1.05		<5	
SO ₃ (en%)	2.00		<3.5	
Chlorures (en%)	0.030		<0.1	
Insolubles (en%)	9.59		--	

Tableau 10: Compositions chimique du Ciment de BENISAF CEMII/A42.5

IV-2.2-Granulats

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé types de granulats :

- Granulats Naturels
- Granulats recyclés



Figure 18: Granulat recyclée de brique (3/8)

Les granulats naturels sont :

- Le sable naturel de classe granulaire (0/5)
- Le gravillon naturel de classe granulaire (3/8)



Figure 19: Granulat naturel gravillon (3/8)

Les granulats recyclés sont obtenus par concassage des déchets de la brique, ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire.

A défaut de concasseur à mâchoire dans le laboratoire, déchets de la brique a été concassée à l'aide des marteaux.

IV-2.3- 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.

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

IV.3-Essai effectués sur les granulats

IV-3.1-Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats

IV-3.1.2-Essai d'équivalent de sable

Essai d'équivalent de sable est spécifique aux sols grenus, il permet de mettre en évidence la proportion relative fine nuisible ou d'élément argileux dans les sols ou agrégats fins, ainsi de mesurer le taux de propreté des sables. Il a été effectué conformément à la norme (NF P18-598) [34], pour le sable naturel.

L'équivalent de sable est donné par :

$$ES = \left(\frac{h1}{h2} \right) \times 100\%$$

L'essai a donné les résultats suivants : $h1=9.4$, $h2=11.3$

$$ES = \frac{9.4}{11.3} \times 100\% = 83.18\%$$

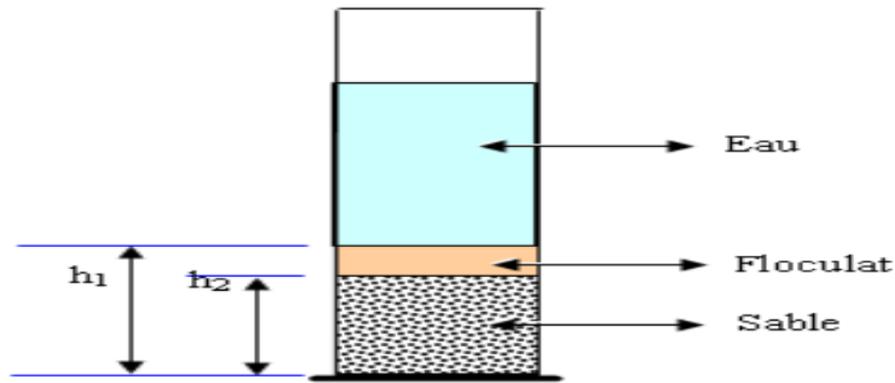


Figure 20: Schéma sur l'essai d'équivalent de sable



Figure 21: Essais d'équivalent de sable dans laboratoire

Nous remarquons le sable naturel (0/5) est un sable propre.

IV-3.1.3- Essai d'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux des différentes familles de grains constituant l'échantillon. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en série des tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas, le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis, on trace ensuite la courbe granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

La courbe granulométrique est la carte d'identité d'un granulat. Elle indique les proportions des grains de chaque dimension.

L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne NF EN 933-1[32]



Figure 22: Les tamis utilisés dans l'analyse granulométrique du gravillon recyclé (3/8)



Figure 23: Les tamis utilisés dans l'analyse granulométrique de sable 0/5



Figure 24: Tamiseuse électrique du laboratoire

Les résultats de l'analyse granulométrique par les granulats utilisés sont donnés dans les tableaux et la figure suivante :

Ouvertures des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé(%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
4	0	0	0	1000	100
2	413.7	81.2	8.12	918.8	91.81
1	361.6	14.5	1.45	904.3	90.43
0.5	291.3	32.1	3.22	872.2	87.22
0.25	754.6	515.4	51.51	356.8	35.68
fond	705.9	353.4	35.34	3.4	0.34

Tableau 11: Analyse granulométrique par tamisage du sable nature (0/5)

Ouvertures des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé(%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
8	1638.4	98.4	4.92	1901.6	95.08
5	2947.7	1424.4	71.22	477.2	23.86
4	1916	395.2	19.76	82	4.1
fond	1811.5	81.3	4.035	0.7	0.035

Tableau 12: Analyse granulométrique par tamisage du gravillon recyclé (3/8)

Ouvertures des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé(%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
8	1574.8	19.6	0.98	1980.4	99.02
5	2119.8	596.4	29.81	1384	69.2
4	2027.3	503.6	25.18	880.4	44.02
fond	2607.4	876.9	43.845	3.4	0.175

Tableau 13:Analyse granulométrique par tamisage du gravillon naturel (3/8)

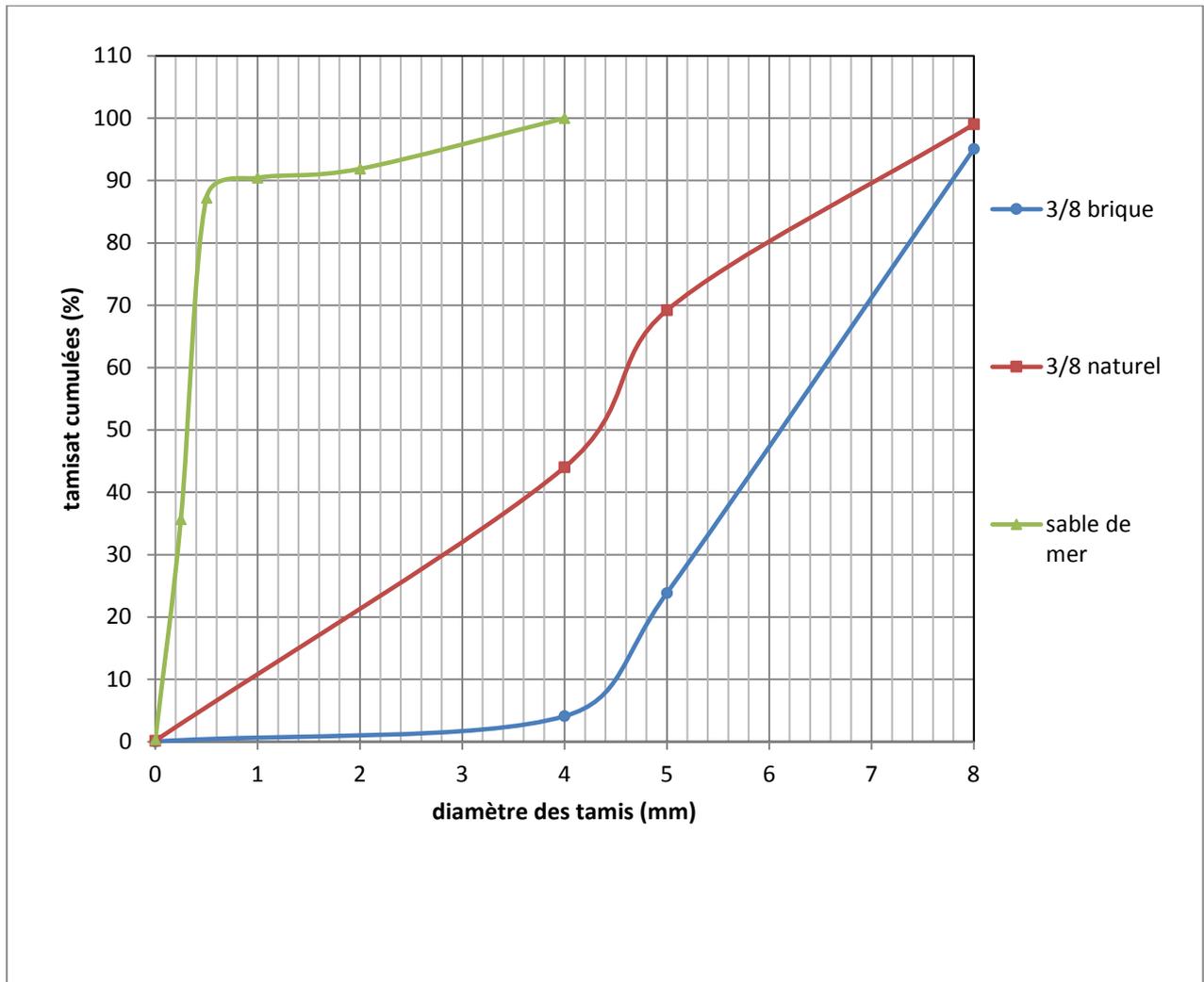


Figure 25: Courbes Granulométrique des granulats utilisés

IV-4 Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats

IV-4.1-Masse volumique

Les masses volumiques apparentes (ρ_d) et absolues (ρ_s) des différents étudiés sont mesurées d'après la norme NF P 18-554 et 555[18,19], les résultats sont indiqués dans les tableaux suivant :



Figure 26:Essai de la masse volumique apparente

Caractéristique physique	valeurs
La masse volumique apparente lâche	1.28g/cm ³
La masse volumique absolue	2.82g/cm ²

Tableau 14: Masse volumique de ciment



Figure 27: Essai des masses volumiques absolues

Masse volumique (g/cm ³)	Sable	Gravillon	
		Naturel (3/8)	Recycle (3/8)
Masse volumique apparente (ρ_d)	1.42	1.38	1.02
Masse volumique absolue (ρ_s)	2.78	2.33	1.98

Tableau 15:Masses volumiques des granulats

On remarque les valeurs des masses volumiques absolues sont respectivement les plus grandes. Par contre, celles des masses volumiques apparentes sont respectivement les plus faibles pour l'ensemble des granulats. Alor ce qui est logique. Les masses volumiques apparentes des granulats recyclés sont de l'ordre de 20 à 25% inférieures à celles des granulats naturels, ce qui représente un peu avantage économique en poids du béton.

IV-4.2-Absorption d'eau

C'est une mesure des pores accessible à l'eau , les coefficients d'absorption d'eau ont été déterminés conformément à la norme p 18-554v(18), pour les gravillons et la norme p 18-555(19), pour les sables .

Les coefficients d'absorption d'eau (A_b) est défini par la relation :

$$A_b\% = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau suivant :

Coefficient d'absorption d'eau	Gravillon	
	Naturel (3/8)	Recyclé (3/8)
$A_b(\%)$	0.91	8.45

Tableau 16:Coefficient d'absorption d'eau des granulats

On remarque gravillons naturels qui ont une faible absorption contrairement aux gravillons recyclés, absorbent beaucoup plus d'eau.

IV-4.3- Porosité

L'essai de porosité a été effectué conformément à la norme P 18-554 est défini par la relation :



Figure 28: Machine de Porosité laboratoire du C.U.A.T

Porosité	Gravillon naturel (3/8)	Gravillon recyclé (3/8)
(n)%	4.12	20.63

Tableau 17: Porosité des gravillons

On remarque que le gravillon recyclé est beaucoup plus poreux que le gravillon naturel.

IV-4.4- Los Angeles

L'essai consiste à mesurer d'éléments inférieure à 1.6 mm produit par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (3/8), soumis aux chocs d'une charge de 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles de 500 tours

L'essai a été effectué conformément à la norme P18-573 [36]



Figure 29: Machine los Angles laboratoire de C.U.A.T



Figure 30: Travail dans l'Appareil de los Angles

Le coefficient los Angeles (LA) est défini par la relation

$$LA = 100 \times m / 5000$$

Coefficient los Angeles	Gravillon naturel (3/8)	Gravillon recyclé (3/8)
LA(%)	14.2	52.72

Tableau 18: Coefficient los Angeles des gravillons

On remarque que la valeur du gravillon recyclé de brique concassée est assez élevée. Par contre, le gravillon naturel convient bien pour la confection de béton de qualité. Selon la norme p18-557 (37) la résistance mécanique des roches est directement liée à leur porosité

IV.5-Conclusion

Dans ce chapitre on remarque les gravillons recyclés présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons courants. Cependant, ils ont une faible résistance mécanique qui peut diminuer fortement la résistance globale du béton.

Le ciment , l'eau de gâchage ainsi que les gravillons naturels sont appropriés pour la confection des bétons, ils n'existe pas une relation rigoureuse entre la résistance des granulats et celle des bétons ;cependant de nombreux essais ont montré que plus la résistance du granulat est élevée, plus la résistance à la compression du béton est élevée[39], Une attention particulière est demandée lors de la composition des mélanges avec du sable naturel, du fait qu'il est peu chargé en éléments fins.

En conclusion, des différents mélanges seront confectionnés a base de ces matériaux afin d'apprécier les caractéristiques des granulats en brique concassée ainsi que leur influence sur les performances du béton.

Chapitre V :

Formulation des bétons

V.1- Introduction

Le béton ordinaire est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le liant peut être « hydraulique », car il fait prise par hydratation, il est appelé ciment, on obtient dans ce cas un béton de ciment, ou béton tout court. Le liant être aussi un hydrocarboné aussi bitume, ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux.

Pour l'établissement des projets, dans les cas courants, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours dit valeur caractéristique spécifiée [39].

Lorsque des sollicitations s'exercent sur un béton dont l'âge de jours (en cours d'exécution)

Est inférieur à 28, on se réfère à la résistance caractéristique f_{cj} obtenue au jour considéré.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer expérimentalement le béton à base de déchets de brique par personnage granulat et comparaison avec le béton ordinaire.

Les granulats employés dans la composition des bétons sont obtenus à partir d'un mélange ternaire de sable (0/5), gravillon naturel (3/8), gravillon recyclé (3/8).

V. 2-Formulation de béton

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- la méthode Baron ;
- la méthode Bolomey ;
- la méthode de Féret ;
- la méthode de Faury ;
- la méthode Dreux-Gorisse.

La formulation d'un béton doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins contraignante vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée dans la formule. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur

l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats.

D'autres exigences de la norme NF EN 206-1 imposent l'emploi de ciment particuliers en raison de milieux plus ou moins agressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que ce soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, etc.

Le tableau présente la composition granulométrique des différents bétons à étudier :

Type de béton	Granulats naturel		Granulat recyclé
	Sable naturel	Gravillon Naturel (3/8)	Gravillon recyclé (3/8)
B-O	x	x	
B-N-R 30%	x	x	x
B-N-R 50%	x	x	x
B-N-R 70%	x	x	x
B-N-R 100 %	x		x

Tableau 19:Composition granulométrique des bétons

Nous désignerons, dans ce qui suit, type de bétons à base de déchets de brique, par les indications suivantes :

- Béton ordinaire (B-O)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 30%)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 50%)
- Béton de brique concassée avec sable naturel et gravillon naturel et recyclé par personnage (B-N-R 50%)
- Béton de brique concassée avec sable naturel (B-N-R 100%)

V-3-Dosage des Bétons et formulation

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton

Dans les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange de ces différents constituant pour obtenir un béton dont les qualités soient celles recherchées la construction de l'ouvrage à réaliser.

La résistance \longrightarrow en compression du béton à 28j : f_{c28}

L'ouvrabilité \longrightarrow affaissement au cône d'Abram : A

Dans le cadre de notre travail, pour la formulation des mélanges nous avons donc opté pour l'utilisation de la méthode pratique pour la composition des bétons dit Dreux-go risse.

Cette méthode et simplifiée a été pour l'élaboration du B-O, celle de « Dreux- go risse ».

Elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié.

Le béton témoin étudié est un béton propriétés spécifiées qui d'après la norme NF EN206-1[27].

Le tableau présente les données de bases pour la formulation :

Données de base	Description (valeur)
Béton normal de classe	C25/30
Consistance	Béton plastique
Dimension maximale des granulats	D=8
Affaissement	6 à 9
Serrage	Vibration normale (courante)
Dosage en ciment	350 kg/m ³
Qualité des granulats	Bonne (courante)
Résistance en compression du béton à 28j	Fc28=25Mpa

Tableau 20: Donnés de bases pour la formulation

Pour la confection des éprouvettes, une étude de la formulation du béton a été menée avec une série des essais d'ajustement et de correction de la formule du mélange, suite à la composition granulaire du mélange ternaire des granulats adaptée et aux propriétés du béton désirées.

La composition optimale d un m^3 du béton ordinaire est représenté dans le tableau suivant :



Figure 31: Conservation des éprouvettes dans les moules

V.4-Essai réalisées sur le béton

Le tableau V-6 suivant nous indique les types d'essais effectués sur le béton, à différentes échéances d'âges ainsi que le monde de conservation des éprouvettes.

	B.O	B.N.R 30%	B.N.R 50%	B.N.R 70%	B.N.R
Ciment (kg)	350	350	350	350	350
E/R	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Affaissement (cm)	6	7	7	7	7.50
Eau	198	198	198	198	198
Eau ajout	0	25	33	57	78
Total	198	223	231	255	276

Tableau 21:Eau totale et eau ajouté aux mélanges béton

	30%	50%	70%	100%
Sable nature D/5	600 kg	600 kg	600 kg	600 kg
Gravier naturel 3/8	840 kg	600 kg	360 kg	kg
Brique 3/8	360 kg	600 kg	840 kg	1200 kg
Eau	198	198	198	198
Ciment	350 kg	350 kg	350 kg	350 kg
E/C	0.56	0.56	0.56	0.56
Affaissement	6 cm	7 cm	7 cm	7.5 cm
Eau ajouté	25	33	57	78

Tableau 22: Compositions optimales des bétons type (B-N-R)

	Sable 0/5	Gravie 3/8	Eau E	Ciment C	E/C	Affaissement
Volume	253	139	197	112	0.56	7 cm
Poids (kg)	630	1200	197	350		

Tableau 23: Composition optimale d'un m³ du béton ordinaire (B-O)

Type d'essai	Age (jours)	Mode de conservation	
		Eau	Air
Affaissement	Avant coulage		
Masse volumique (béton frais)	Avant coulage		
Air occlus	Avant coulage		
Masse volumique (béton durci)	28j		x
Compression	3, 7, 28j	X	
Auscultation dynamique	28j	X	
Absorption capillaire	Après 28j		x
Absorption par immersion	Après 28j		x

Tableau 24: Essais sur les bétons

V.5-Confection et Eure des éprouvettes

V.5.1-Modules pour éprouvettes

Selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé les moules (7×7×7) cm³

V.5.2- Confection des éprouvettes

Après la détermination du dosage des différents constituants, on opère par la préparation des éprouvette soigneusement suivant les conditions et les normes recommandes à cette procédure.

La préparation des mélanges à été effectuée suivants un dosage pondéral des granulant. La confection des éprouvette est faite conformément aux normes NF P18-404 (déc.1981)[41].

Qui consiste à introduire, en premier lieu dans un malaxeur les constituantes (sable, gravillon, ciment) et malaxer à sicles éléments, ajouter l'eau de gâchage et le malaxage pendant 4 min.

V.5.3-Conservation des éprouvettes

Après la mise en place du béton les éprouvettes sont conservées dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire à un bassin d'eau.



Figure 32: Conservation des éprouvettes dans l'eau de gâchage

Les éprouvettes confectionnées sont démoulées 24 heures après leur mise en place puis conservées dans un milieu approprié

V.5.4-Mode opératoire de cette formulation

Premièrement tout le malaxage qui on fait est manuel et cet présenté par les étapes suivant :

- Préparation des moules (nettoyage et graissage)
- Prépare et pesée chaque composant utilisé (ciment, granulats, brique, eau de gâchage)
- Verser l'eau dans le récipient
- Malaxage à sec des constituants solide (granulats de brique : gravier 3/8, sable fin, ciment)
- Ajoute de 1/3 du mélange d'eau
- Malaxage
- Ajoute des 2/3 restants d'eau
- Fin de malaxage.

Après avoir le béton est bien malaxé en arrêt et on fait l'essai d'affaissement au cône d'Abrams pour déterminer sa consistance.

V.6- d'affaissement au cône d'Abrams

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure. Il se compose de 4 éléments : (un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure ; une plaque d'appui ; une tige de piquage ; un portique de mesure).

L'essai de au cône d'Abram sert à mesurer la fluidité des bétons après gâchage.la mesure de l'affaissement conformément a la norme NF EN12350-2 consiste à :

- Introduire le béton frais dès la fin de sa confection, en trois couches recevant chacune 25 coups de picage.
- Araser le moule en évitant le compactage local du béton.
- Démoulé immédiatement en soulevant le moule à l'aide des poignées.
- Mesurer l'affaissement après une minute du démoulage.

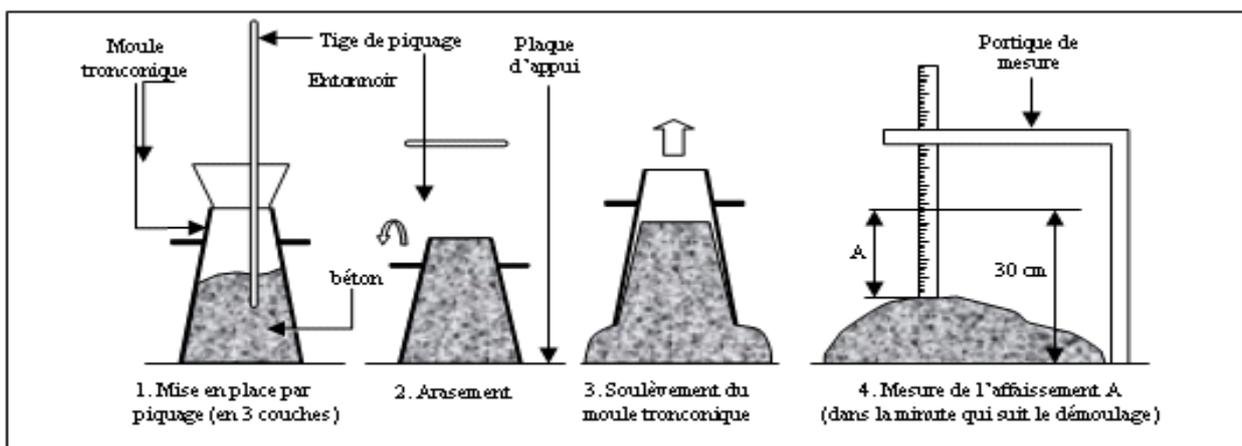


Figure 33: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau [6]

Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

Tableau 25: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement



Figure 34: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

V.7-Essai de vibration

Dans cet essai en verser le béton préparé dans moule a 16 et 25 alvéoles de dimensions en $7 \times 7 \times 7\text{cm}^3$ trois couches et la mise en place est réalisée par vibration de 75 coups à l'aide de la table vibrante, 25 coups pour chaque couche.

Figure 35: La table vibrante et moules pour éprouvette de $7 \times 7 \times 7\text{cm}^3$

V.8-Traitement thermique

V.8.1-choix des températures des essais

La température 300°C a été choisie pour encadrer la température de l'évaporation de l'eau dans le béton car à 150°C l'eau est complètement éliminée.

Les essais à 600°C, ont été choisis pour mieux connaître les multiples transformations physico-chimiques qui peuvent apparaître le béton.

V.8.2- chargements thermiques

Les échantillons ont été chauffés à différentes températures 300°C et 600°C, par palier de 20 mn tous les 100°C suivant la courbe de montée en température pour les essais de chauffage à une vitesse 5°C/mn. L'échantillon est pesé avant et après chauffage afin de déterminer la perte de masse à l'aide d'une balance électronique de précision égale à 1%.



Figure 36: Application d'essai de traitement thermique

Pour le traitement thermique on utilise un four à moufle on a utilisé deux températures 300 et 600 avec une montée de 5°/seconde une fois la température atteinte on laisse les températures pendant 2 heures puis on éteint le four et on laisse les éprouvettes refroidir.

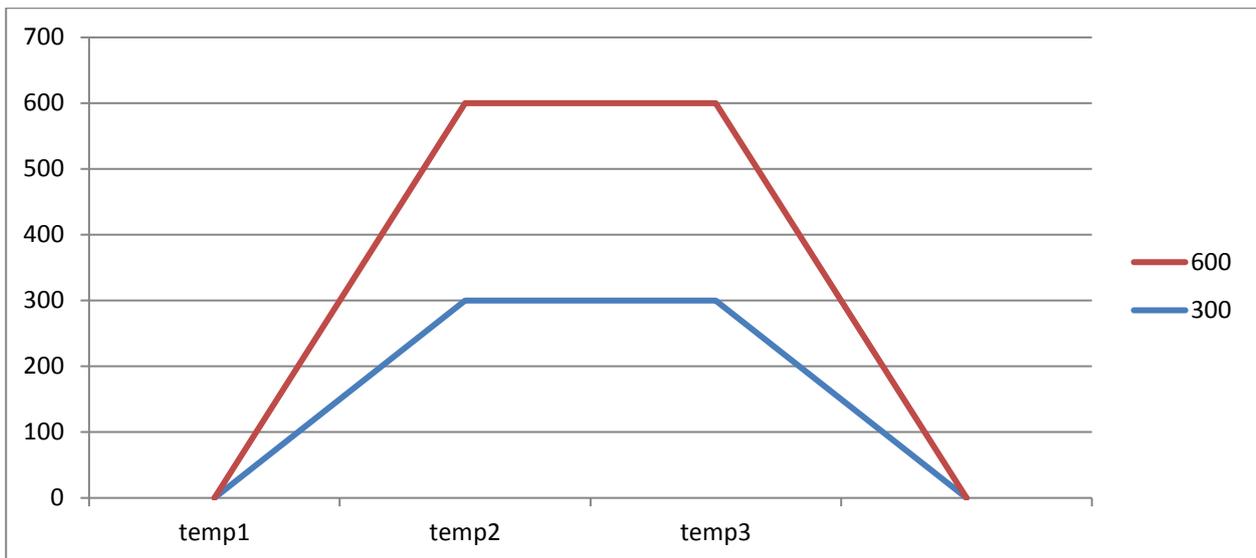


Figure 37: Cycle thermique pour bétons

V.9-Essai de compression

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

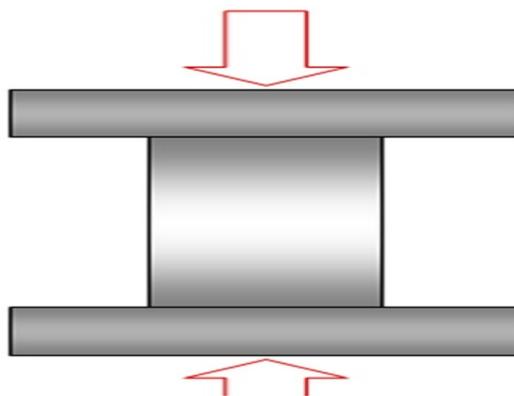


Figure 38: Schéma sur méthode d'essai de compression



Figure 39: Ecrasement des éprouvettes ($7 \times 7 \times 7 \text{cm}^3$) à la machine 250KN

V.10-Conclusion

Dans cette étude expérimentale nous avons exposé les constituants et les procédures utilisées pour la formulation de béton ordinaire (B-O), et de béton à base de granulats de brique (B-N-R). La caractérisation de béton concassé par granulats de brique à partir du ciment, granulats de brique, sable de mer et l'eau, il est passé par des opérations et des essais normalisés et ça dans le but de réduire au maximum toutes erreurs ou incertitudes, pour avoir un béton de bonne qualité.

Dans le prochain chapitre on citera les différents résultats d'essai obtenus et leurs interprétations pour finir son travail.

CHAPITRE VI :

ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

VI.1-Introduction

Une analyse et discussion des résultats, suivies d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, seront également présentées dans ce chapitre.

VI.2-Porosité

Le béton est un matériau composite caractérisé par une microstructure poreuse avec des pores de différentes tailles. La distribution de la taille des pores est continuellement modifiée pendant le processus d'hydratation. Elle est fonction du rapport E/C initial aussi bien que du degré d'hydratation. La structure poreuse et la distribution des pores au sein du béton jouent un rôle très important non seulement sur la résistance mécanique, mais aussi sur les phénomènes de transport et d'interaction avec le milieu extérieur. Cette interaction a lieu à travers les pores interconnectés. Le réseau poreux est aussi le récipient de l'eau liquide, de l'eau en forme de vapeur et de l'air sec.

La porosité est définie par le rapport entre le volume de pores (V_p) et le volume total (V_t) de matériau.

L'analyse des résultats du tableau et la figure a conduit de conclure ce qui suit :

Le béton de brique concassée avec sable naturel (B-N-R) est le moins poreux que le béton ordinaire (B-O).

	B-O	B-N-R30%	B-N-R50%	B-N-R70%	B-N-R100%
Porosité	10.54	14.76	16.18	18.79	21.4

Tableau 26: Porosité de béton

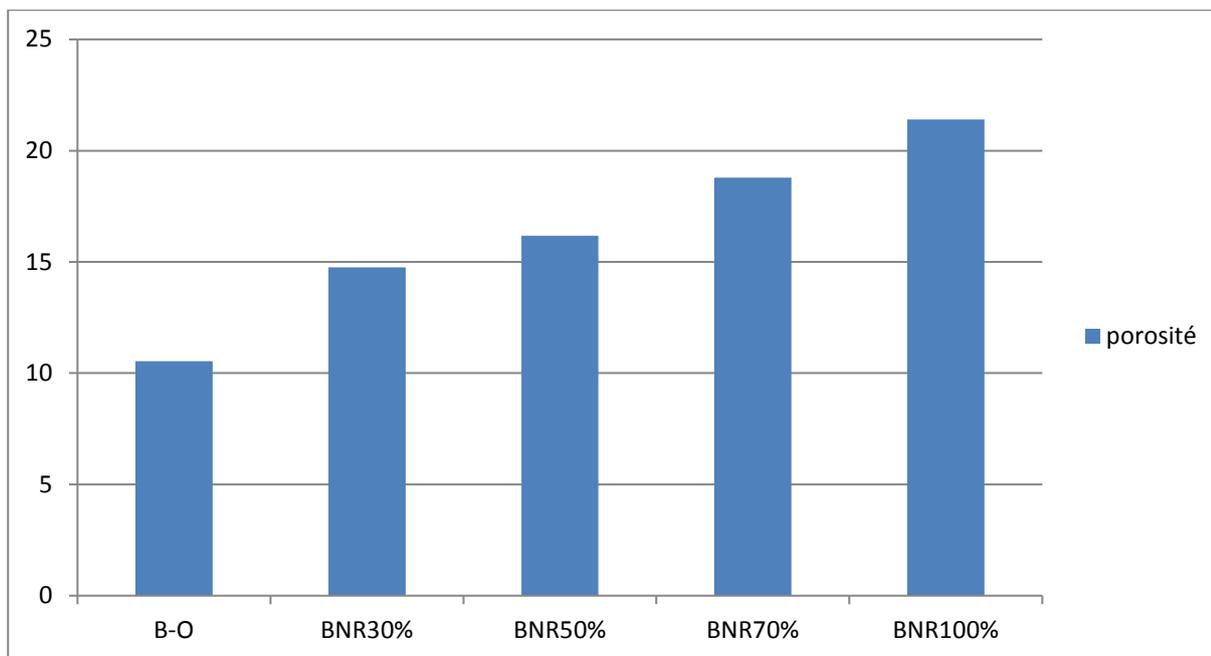


Figure 40: Porosité des bétons

Recyclé de brique concassé correspondent à celle d'un béton satisfaisant. Par contre la porosité du béton entièrement en brique concassé correspond à celle d'un mauvais béton.

VI.3-Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique dans température (300° et 600°)

	3 jours		7 jours		14 jours		28 jours	
	300°	600°	300°	600°	300°	600°	300°	600°
B.O	112,343	106	121,828	111,9	119	117,776	124.87	130.150
B.N.R 30%	123,393	113	124,9	115,975	121	119,5	125.33	129.44
BNR 50%	124,1	112	120,87	118,808	134,7	131,945	136.21	130.979
BNR 70%	129.2	113,83	122,9	120,40	135	133,499	136.79	134.07
BNR 100%	129,01	128,926	124,260	123,482	136	134	137.48	135.02

Tableau 27: Résistance à la compression des éprouvettes dans traitement thermique

Il s'agit de déterminer la contrainte de compression $\sigma_c = P/A$

- P : la charge appliquée
- A : la section de l'éprouvette

Les résultats sont donnés sur le tableau et sur la figure suivante

Type de béton	3jours	7jours	14jours	28jours
	MPa	MPa	MPa	MPa
B.O	8.5 ± 0.5	12 ± 1	15 ± 0.5	21.5 ± 1
B.N.R30%	10 ± 0	13.5 ± 1	19 ± 0	23 ± 0.5
B.N.R50%	11.5 ± 0.5	14.5 ± 0.5	22 ± 0.5	25 ± 0.5
B.N.R70%	12.5 ± 0.5	15 ± 0.5	23 ± 0	27 ± 1
B.N.R100%	14 ± 0.5	17 ± 0	25.5 ± 0.5	29.5 ± 1.5

Tableau 28: Résistance à la compression des bétons appris le traitement thermique

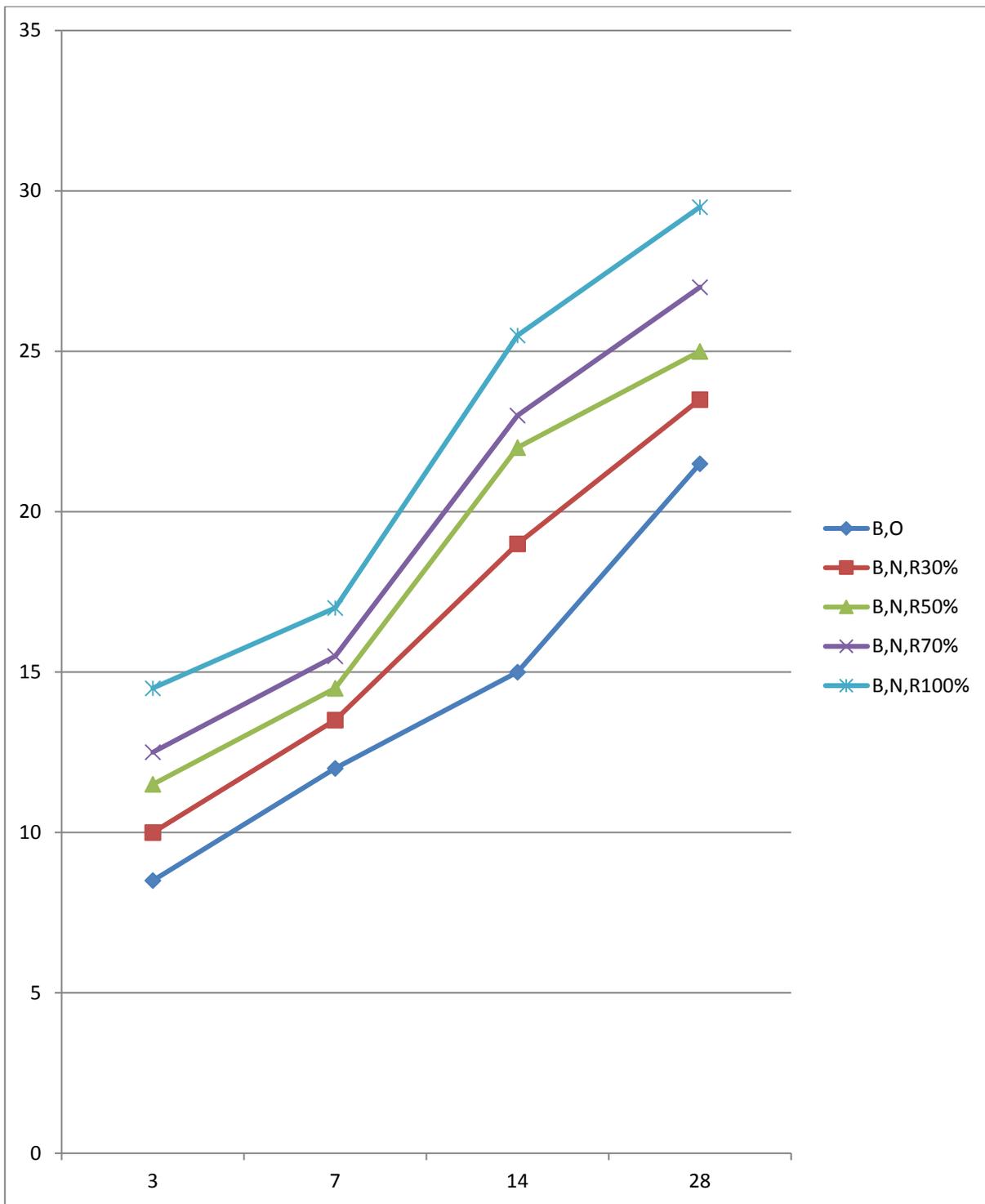


Figure 41: La résistance à la compression des bétons

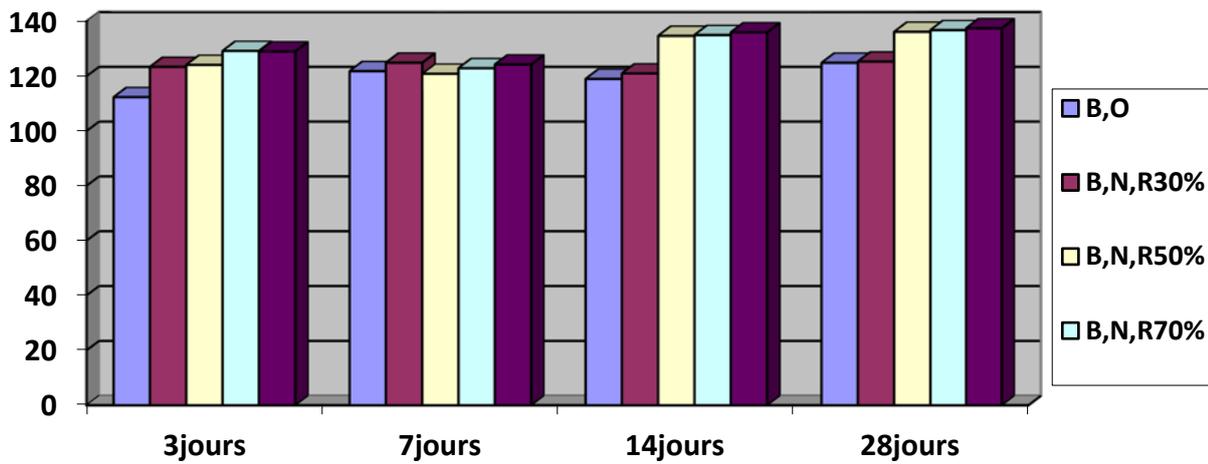


Figure 42: Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique 300°

On remarque sur le graphe suivant que les bétons avec les granulats de briques affiches des bonnes résultats de résistance même sous température de 300°C et on remarque aussi que les béton avec forte pourcentage de granulats de briques ont les meilleur résistance,

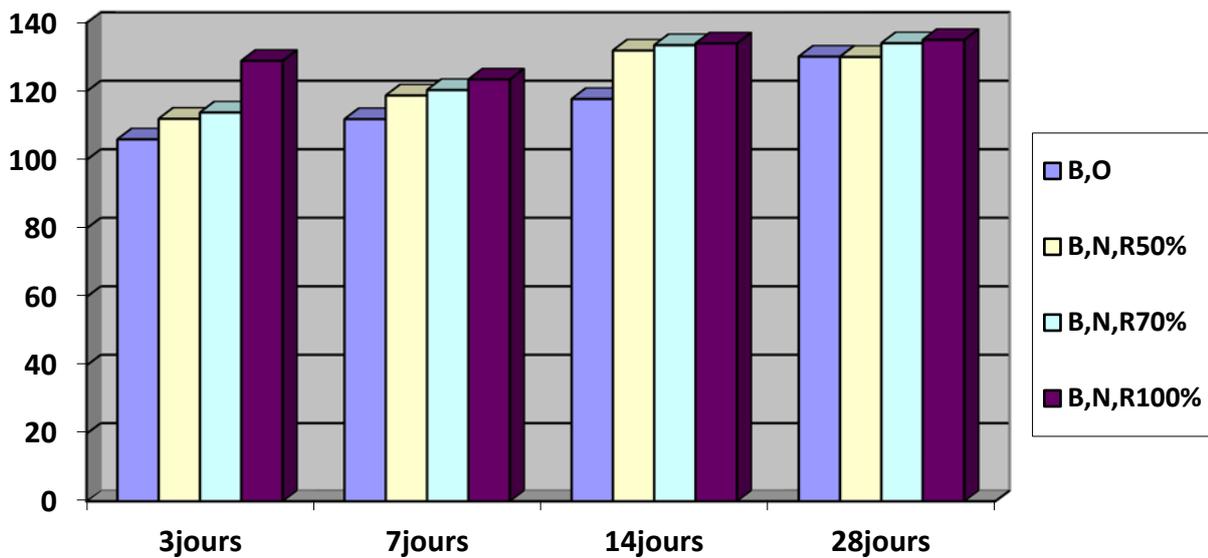


Figure 43: Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans traitement thermique 600°

On remarque que les résultats obtenus pour les éprouvettes conservés dans le traitement thermique 300° et 600° les mêmes le béton concassé par briqué

Donnée très bon résistance en compression par rapport au béton ordinaire.

V.3- Conclusion

Dans ce chapitre on a présentés les résultats de nos essais expérimentaux, on rappelle l'essai de la résistance à la compression sur des éprouvettes de béton à base de granulats de brique (B-N-R), pour objet d'évaluer leur résistance sous l'effet de la température et comparaisons avec béton ordinaire.

- Le béton de brique concassée avec sable naturel (B-N-R) est le moins poreux que le béton ordinaire (B-O).
- D'ici nous concluons que béton concassée par granulats de brique (B-N-R) qu'il a très on résistance aussi haut température par comparaison avec le béton ordinaire.

CONCLUSION GENERAL

Conclusion générale

Les granulats qui constituent la matière première indispensable à l'industrie des travaux publics du bâtiment, est produite et utilisée en grande quantité; toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation.

En revanche, les sous-produits et les déchets, qui autrefois suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude ont commencé constituer un problème économique et écologique vers la fin du 20ème siècle.

Les déchets dits inertes peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés comme granulats pour le béton.

Dans notre étude, nous visons de valoriser ce type de béton "béton à base de granulats recyclés (briques) " en testant la résistance et comparassions avec béton ordinaire

Par l'étude de comportement sous l'effet de la température.

L'étude des caractéristiques et les propriétés des bétons à base de déchets de brique ces Granulats ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de Tirer les conclusions suivantes :

Le recyclage des déchets inertes pour produire des granulats contribue à limiter :

- La mise en décharge de ces déchets.
- Le déficit en granulats de la région.
- Les transports des granulats vierges, et les transports de déchets (en sens inverse).
- Le recyclage des déchets de brique comme granulats est moins onéreux et ne demande

Pas pour son élaboration un matériel ou des stations spéciales comme celles conçues à

L'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.

Des recherches antérieures ont montré que :

- Il est possible de valoriser les déchets de brique comme granulats pour la

Fabrication du béton.

- Les granulats de la brique concassée produisent, en général, des bétons dont la très bon

Résistance sous l'effet de température avec une réduction en poids appréciable.

- Le granulat de la brique concassée peut être utilisé pour produire du béton de haute Qualité.

➤ La résistance du béton est en fonction de la densité des granulats de brique. Plus-la Densité des granulats est importante plus la résistance du béton est grande.

➤ 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, conduites De fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours ...etc.

➤ Le béton contenant des granulats de brique concassée est plus perméable que le Béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir Corrosion et efflorescence dans le béton.

➤ La masse volumique apparente des granulats recyclés expérimentés est de l'ordre de 33% Inférieure à celle des granulats naturels, ce qui représente un avantage économique en Poids du béton.

➤ 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.

➤ Les bétons à base de déchets de brique confectionnés, présentent une homogénéité Convenable et comparable à celle des bétons ordinaires.

➤ La masse volumique apparente du béton de brique concassée avec sable naturel est Approximativement de 20 % inférieure à celle du béton normal.

➤ Les bétons à base de déchets de brique obtenus sont des « bétons légers », d'après la Norme européenne [NF EN 206 -1].

➤ L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassée est presque le double de Celle du béton ordinaire.

➤ La porosité du béton augmente (compacité diminue) par substitution successive des Granulats naturels par les granulats de brique concassée.

➤ Le béton entièrement en brique concassée est plus poreux, en conséquence plus Perméable. Selon Gorisse, la porosité de ce béton correspond à celle d'un mauvais béton. Par contre, la porosité du béton avec granulats recyclé de brique concassée correspondent à celle d'un béton satisfaisant.

Enfin, les recherches antérieures ont montré que l'utilisation du granulat grossier de brique

Concassée peut produire un béton de structure de haute résistance avec, une économie de poids et, Très bon résistance par rapport à un béton ordinaire sue l'effet de température.

Références bibliographique

- [1] **A. BRAHMA** « Le béton » université de Blida institut de génie civil .Edition OPU, 1996.
- [2] **JEAN-MICHEL TORRENTI**, « BÉTON », Histoire du béton
- [3] **SIMON BERNARD** - Grenoble Ecole de Management.www.guidebéton.com.
- [4] **PREBAY, Y., ANDO, S., DESARNAUD,E., DESBARBIEUX**, In « Les enjeux du développement durable au sein de l'Industrie du Ciment » réduction des émissions de CO₂, Atelier Changement Climatique de l'École des Ponts T. (2006)
- [5] **DAVID FORTIN** « les types des bétons » www.betonfortin.com.
- [6] **BENGUELLA .A, BELHADJ.B**, « Formulation du béton à base des granulats »USTO 2013
- [7] **YANG KE**. « Caractérisation du comportement mécanique des bétons de granulats légers ».Université Cergy-Pontoise.2008
- [8] **MOKHTARI ABDESSAMED**. « Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier » Université de Kasdi Merbah Ouargla.2006
- [10] **MEATF**, « ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire de France », les pouzzolanes et les basaltes. 1977/1978
- [11] **VERNET, C.ET CADORET, G**, Compte- rendus du Colloque «Voies Nouvelles du Béton», Suivi en continu de l'évolution chimique et mécanique des bétons à hautes performances pendant les premiers jours, Cachan, France. (1991)
- [12] **NABIL BOUZOUBAA ET SIMON FOO**, « utilisation de cendres volantes et de laitier dans le béton » guide des règles de l'art, laboratoire de la technologie des matériaux, Canada. 2005
- [13] **ADAM.M** « propriétés des bétons » centre de recherches interuniversitaire sur le béton université SHERBOOK; édition EYROLLES.
- [[14] **Norme NF P18-540** : octobre .1997, granulats Définitions, conformité et Spécifications, Edition ANFOR, paris, 1997.

- [15] **Ramachandran V.S** : utilisation des déchets et sous-produits comme Granulats du béton, 2004.
- [16] **Allal M.A et sayagh C** : Recyclage des Déchets de Construction en Voiries-II Congrès Algérien de la Route, recueil des communications, Tome I, ARAL, Alger ,2001.
- [17] **Dbieb F** : valorisation des déchets de brique et béton de démolition comme agrégats de béton, mémoire de magister en génie civile-Université de Blida, 1999
- [18] **Ademe P-C** : guide des déchets de l'artisanat, APCEDE, [en ligne],2004.
- [19] **Concrete structure**, properties, and materials, Prentice-Hall, 1986.
- [20] **D. QUENARD, H. SALLEE**. « Le transfert isotherme de la vapeur d'eau condensable dans les matériaux microporeux du bâtiment », Cahiers de CSTB, n° 2525, 1991.
- [21] **MARTA CHOINSKA**. « Effets de la température, du chargement mécanique et de leurs interactions sur la perméabilité du béton de structure ». L'Ecole Centrale de Nantes .2006
- [23] **I. LEBER ET F.A. BLAKEY**, some effects of carbon dioxide on mortars and concrete, ACI J. AMER. Concur. Inst., (Sept. 1956).
- [24] **D.W. HOBBS**, deleterious alkali- silica reactivity in the laboratory and under field conditions, Mag. Concret. RES., 103-12 (1993).
- [25] **S. DIAMOND et N. THAULOW** Une étude de l'expansion due à la réaction alcalis-silice conditionnée par la taille des grains de l'agrégat réactif, la recherche sur le ciment et le béton. 1974.
- [26] **J-P, OLLIVIER., et A, VICHOT**. Durabilité du béton. Presse nationale des ponts et chaussées. France.
- [27] **ELSEN J., JACOBS J. et VYNCKE J**. Dégradation du béton par les sulfates : phénomène révolu ou à venir ? Bruxelles, CSTC-Magazine, automne 1996.
- [28] **KANEMA TSHIMANGA** «Influence des paramètres de formulation sur le comportement à haute température des bétons » l'université de Cergy-Pontoise 2007
- [29] **NOUMOWE A.N**. « Effet des hautes températures (300-600°C) sur le béton. Cas particulier du béton à hautes performances », Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 1995
- [30]. **BAZANT, Z.P ET KAPLAN, M**. Concrete at high temperature: material behavior and Mathematical modeling. London Longman concerted design and co construction series, 1996.

- [31] **ALONSO C, FERNANDEZ L.**, Dehydration and rehydration processes of cement paste exposed to high temperature environments. Journal of materials sciences.2004
- [32] **HARMATHY, T.Z.** „Effect of moisture on the fire endurance of building element“. National Resarci Council, Ottawa 1965. Canada
- [33] **GAWESKA I.**, « comportement à haute température des bétons à hautes performances - évolution des principales propriétés mécaniques ». Thèse de l'école nation des ponts et chaussées et de l'école polytechnique de Cracovie, 2004.
- [33] **MIN LI**, mechanical properties of high-strength concrete after fire. Cément and concrète resarci. 2004.
- [34] **BARKAT Abderezzak**, "valorisation des déchets de briques dans la réalisation des Ouvrages en béton," , Mémoire MAGISTER en Génie Civil, 2006.
- [35] **BASSIT AZZEDINE ET BEN FODDA ILIES**, "comportement des bétons à base de granulats recyclés, «Mémoire MASTER en Génie civil 2015,2016.
- [36] **Livre Propriétés des bétons Adam M.Nevile**, "Traduit par le CRIB centre interuniversitaire sur le béton Sherbrooke-Laval. Comportement du béton au feu «page371 ».
- [37] **Livre Propriétés des bétons Adam M.Nevile**, "Traduit par le CRIB centre interuniversitaire sur le béton Sherbrooke-Laval. Influence de la température initiale sur la résistance du béton « page 345 ».
- [38] **Norme NF P 18-555** : Granulats –Mesures des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables, Expérimentale décembre 1990.
- [39] **Norme Européenne NF P18-573** : décembre 1990, granulats Essai los Angeles, Edition AFNOR, paris, 1990.
- [40] **Norme Française NF P 18-598** : Octobre.1991, Granulats de sable, Edition ANFOR, paris ,1991.
- [41] **Norme Française XP P18-303**: aout, 1999, Eau de Gâchage pour béton, Edition AFNOR, paris, 1999
- [42] **Norme NF EN 933-1**: Mai 2012, Essais pour determine les caractéristiques granulométriques des granulats –partie 1 : détermination de la granularité-Analyse granulométrique par tamisage.
- [43] **Kleinogel A** : l'influence des drives élément physico-chimique sur les bétons Edition duond, paris, 1960.
- [44] **MIN LI**, mechanical properties of high-strength concrete after fire. Cément and concrète resarci. 200

