



Ministère de l'enseignement Supérieure
Et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie

Département de GENIE CIVIL



FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master

Intitulé

Etude de la structure porteuse et de la durabilité du béton à base d'agrégats recyclés

Réalisé par :

- ❖ KHEZZARI Abdelbaki
- ❖ KRAA Abdelaziz

Proposé et encadré par

Encadreur. AMRIOU Abderrachid
CO- Encadreur. BENCHEIKH Mohamed

Année universitaire : 2021 /2022



Dédicace

*Loué soit Dieu, qui a éclairé notre chemin et nous a permis
d'accomplir cet humble travail, que je dédie au cœur
battant de mon père et de ma mère, qui m'ont soutenu dans
mon parcours académique, à mon compagnon qui m'a
impliqué dans ce travail, et à ceux qui nous ont aidés à le
réaliser.*

À ceux qui ne peuvent exprimer leurs remerciements.

*À tous les frères et sœurs et à tous les membres de la
famille.*

*À tous les collègues et camarades de classe, en
particulier la promotion 2021/2022,*

*Et à tous ceux que nous avons connus de près ou de loin,
et à tous les amis du chemin.*



Remerciement




*Nous adressons nos sincères remerciements au professeur superviseur, **Amariou Abderrachid**, qui nous ont accompagnés tout au long de cette recherche et nous ont fourni des informations et des conseils précieux. Et à tous les travailleurs du département de génie civil et aux travailleurs du laboratoire, nous voudrions mentionner*

***Sawsan Shoukeir** pour l'aide et les installations qui nous ont été fournies. Que Dieu les récompense de tout le meilleur.*

Enfin, nous ne manquons pas d'adresser nos salutations à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir cet humble travail.

Résumé

L'utilisation des déchets est devenue une alternative attractive à l'élimination ; Des recherches sont menées sur l'utilisation des déchets de béton et des sous-produits. Ces produits comprennent les déchets de concassage de béton et de briques, et chacun de ces résidus a un effet spécifique sur le comportement du béton frais et durci. Le programme de recherche comprend donc des travaux sur la valorisation des déchets et sous-produits de construction/démolition, ainsi que le développement de nouveaux matériaux : béton à base de ces granulats recyclés. Dans ce travail, nous présentons les résultats d'un programme expérimental consacré à l'étude d'une variété de bétons à base de granulats issus de brique recyclés et concassés. Les paramètres de base sont :




-  Confection des échantillons de béton à partir de déchets de briques
-  Taux de remplacement en granulat recyclé : **0% -25% -50% -75% -100%**
-  Dosage ciment : **350 kg/m³**

Dans cette étude, nous avons observé le comportement à l'état frais et durci de divers matériaux fabriqués à partir de granulats recyclés. Le béton fabriqué à partir de ses granulats recyclés présente une bonne maniabilité, durabilité. Comme pour toute nouvelle source d'agrégat, la durabilité, la classification et les propriétés de l'agrégat doivent être vérifiées.

Mots clés : granulats recyclés, valorisation de déchets, durabilité béton de granulats recyclés.

Abstract

The use of waste has become an attractive alternative to disposal; Research is being conducted on the use of concrete waste and by-products. These products include concrete and brick crushing waste, and each of these residues has a specific effect on the behavior of fresh and hardened concrete. The research program therefore includes work on the recovery of construction/demolition waste and by-products, as well as the development of new materials: concrete based on these recycled aggregates. In this article, we present the results of an extensive experimental program devoted to the study of a variety of mortars and concretes based on these alternative aggregates. The basic parameters are:

-  The origin of the demolition of concrete from waste bricks
-  Recycled aggregate replacement rate: **0% -25% -50% -75% -100%**
-  Cement dosage: **350 kg/m³**

In this study, we observed the fresh and hardened behavior of various materials made from alternative recycled aggregates, concrete made from recycled aggregates exhibits good workability, durability and resistance to the effect of frost and of the thaw. The compressive strength varies depending on the initial strength and the water/binder ratio of the new concrete. As with any new source of aggregate, the durability, classification and properties of the aggregate should be verified. The higher the replacement rate of recycled aggregates, the lower the compressive strength, these aggregates can be used at limited rates in concrete.

Keywords: recycled aggregates, waste, recovery, environment, recycled aggregate concrete.

المخلص

اصبح استخدام النفايات بديلاً جذاباً للتخلص منها ؛ تجرى الأبحاث حول استخدام نفايات الخرسانة والمنتجات الثانوية تشتمل هذه المنتجات على نفايات تكسير الخرسانة والطوب ، ولكل من هذه المخلفات تأثير محدد على سلوك الخرسانة الطازجة والمتصلبة. لذلك يتضمن برنامج البحث العمل على استعادة نفايات البناء / الهدم والمنتجات الثانوية ، بالإضافة إلى تطوير مواد جديدة: الخرسانة على أساس هذه الركام المعاد تدويره. في هذه المقالة، نقدم نتائج برنامج تجريبي مكثف مخصص لدراسة مجموعة متنوعة من الخرسانة بناءً على هذه الركام البديلة. المعلمات الأساسية هي:

✚ تحضير الخرسانة من نفايات الطوب

✚ معدل استبدال الركام المعاد وتدويره 0% 5% 2% 50% 75% 100%

✚ -جرعة الأسمنت 350 كجم / م³

في هذه الدراسة، لاحظنا السلوك الجديد والمتصلب للمواد المختلفة المصنوعة من الركام المعاد تدويره البديل، فالخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره تُظهر قابلية تشغيل جيدة ومتانة ومقاومة لتأثير الصقيع والذوبان. كما هو الحال مع أي مصدر جديد للركام، يجب التحقق من متانة وتصنيف وخصائص الركام..

الكلمات المفتاحية: ركام معاد تدويره ، نفايات ، استرجاع ، بيئة ، متانة، خرسانة ركام معاد تدويرها.

Sommaire.....	I
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures	VII
Introduction générale	1

SOMMAIRE

CHAPITRE I : Déchet De Brique

I.1.Introduction.....	3
I.2.Définition Des Déchets.....	3
I.2.1.La Définition Réglementaire.....	4
I.2.2.L'approche Environnementale Puis Sanitaire.....	4
I.2.3.L'approche Economique.....	4
I.2.4.L'approche Fonctionnelle.....	4
I.3.Classification Des Déchets.....	5
I.3.1.Biologique.....	5
I.3.2.Chimique.....	5
I.3.3.Technologique.....	5
I.3.4.Economique.....	5
I.3.5.Ecologique.....	5
I.3.6.Accidentelle.....	5
I.4.differents types des dechets.....	6
I.4.1.Déchets Ménagers Et Assimilés.....	6
I.4.2.Déchets Encombrants.....	6
I.4.3.Déchets Spéciaux.....	6
I.4.4.Déchets Spéciaux Dangereux.....	6
I.4.5.Déchets Inertes.....	7
I.4.6.Déchets Ultimes.....	7
I.4.7.Déchets Biodégradables.....	7
I.4.8. Les déchets d'emballages :.....	8
I.5.Classification Des Déchets.....	8
I.5.1.Selon L'origine.....	8
I.5.2.Selon Leur Mode De Traitement.....	8
I.5.3.Selon Leur Effets Sur L'environnement.....	9
I.6.dechets utilises en genie civil :.....	9
I.6.1.Laitiers De Haut Fourneau.....	9
I.6.2.Laitier D'acier.....	10
I.6.3.Cendres Volantes.....	11
I.6.4.Mâchefer.....	11
I.6.5.Boues Rouges.....	12
I.6.6.Béton Récupéré.....	13
I.6.7. Verre De Récupération.....	13
I.6.8.Sciure De Bois.....	14
I.6.9.Lin De Textile.....	15
I.6.10.Marbre.....	16
I.6.11.Céramique.....	16
I.6.12.Carrelage.....	17

I.6.13. Brique Concassé.....	18
I.7. Les Ajouts Minéraux :	19
I.7.1. Déchets de brique ;.....	19
I.7.2. Définition De Brique ;.....	19
I.7.3. Types De Brique ;.....	20
I.7.4. Principaux Constituants De La Brique Et Caractéristiques Chimiques:.....	21
I.7.5. Mode De Fabrication De Brique.....	21
I.7.5.1 L'extraction.....	21
I.7.5.2 Façonnage	21
I.7.5.3 Séchage.....	22
I.7.5.4 Cuisson.....	22
I.7.6. Valorisation des déchets de la brique :.....	23
I.7.6.1. Recyclage.. :.....	23
I.7.7. Propriétés des bétons des déchets de brique. :.....	24
I.7.6. Utilisations Des Bétons Des Déchets De Brique :.....	25
I.8. Fumée De Silice	26
I.8.1. Domaines D'application (La Norme NFP 18-502).....	28
I.9. L'eau de gâchage :	28
I.10. Les Adjuvants:.....	29
I.10.1. Intérêt Des Adjuvants :.....	29
I.10.1.1. Classification Des Adjuvants.....	29
I.10.1.2. Le Super Plastifiant :.....	30
I.10.2. Les Avantages Principaux De L'utilisation Des Super Plastifiants :.....	30
I.10.1.1. Le Super Plastifiant :	30
I.10.1.1.1 Facteurs Affectant L'action Des Super Plastifiants :.....	30
I.10.4. Domaines D'utilisation De Super Plastifiants :.....	31
II. Types d'agrégats recyclés.....	32
II.1. Introduction :	32
II.2. Construction et gestion des déchets de démolition :.....	32
II.2.1 États-Unis d'Amérique : [30].....	32
I.2.2. Gestion des déchets :.....	33
I.2.2.1. Définition :	33
I.2.2.2. Principe de gestion des déchets :.....	33
I.2.2.3. Technique de gestion des déchets :	34
I.2.2.3.1. Décharge :	34
I.2.2.3.2. Incinération :	36
I.2.2.3.2. Compost et fermentation :.....	37
I.2.2.3.3. Traitement biologique et mécanique :	38
I.2.2.3.4. Pyrolyse et gazéification :.....	38
I.2.2.3.5. Composition des agrégats recyclés :.....	38
I.4. Déchets En Algérie :	39
I.4.1. Naissance d'une véritable politique environnementale :	39
I.4.2. Problématiques des déchets :	41
I.4.2.1. Déchets Solides et Urbains :.....	41
I.4.2.2. Déchets Industriels :.....	44
I.4.2.3. Déchets Hospitaliers :.....	45
I.4.3. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics:	48
I.4.3.1. Pneus usagés et déchets plastiques :	48
I.4.3.2. Déchets de la construction/démolition :	48
III. Conclusion :	19

CHAPITRE II : Revue générale sur la durabilité du béton

II. Introduction.....	50
II.1.Durabilité :.....	50
II.2.Les structures poreuses des bétons :.....	51
II.3.Les indicateurs de durabilité.....	52
II.3.1. Les indicateurs de durabilité spécifiques	53
II.3.1.1 Indicateurs de durabilité spécifique à l'alcali-réaction :	53
II.3.2. Les indicateurs de durabilité généraux :	53
II.3.2.1. La Perméabilité aux gaz :.....	54
II.3.2.2. Mesure de la perméabilité aux gaz :.....	55
II.3.2.3. Méthode de mesure disponible :.....	55
II.3.2.4. Mesure au perméamètre à charge constante (CEMBUREAU) :.....	56
II.3.2.5. Pré-conditionnement des éprouvettes.....	57
II.3.3. Perméabilité a l'eau :.....	57
II.3.3.1. Perméabilité à l'eau du béton :.....	57
II.3.3.2. Mesure directe dans le cas des bétons perméables :.....	58
II.3.3.3. Méthodes applicables dans le cas des bétons faiblement perméables :.....	58
II.3.3.4. Appareillages existant au niveau du laboratoire développement des Géo matériaux - l'université de M'Sila- (Algérie).....	59
II.3.3.5. Absorption.....	60
II.3.4. La porosité :.....	61
Conclusion	63

CHAPITRE III : Caractéristique des matériaux utilisés

III.1.Introduction	64
III.2. Les matériaux utilisés	64
III.3. Essais sur les granulats	65
III.3.1. Analyse Granulométrique.....	65
A.Principe de l'essai :	65
B.Mode opératoire :	65
C..Les résultats des analyses granulométriques.....	65
III.3.2..Masse volumique apparente :	67
A.Gravier de fraction 3/8 et 8/16:	68
a. But de l'essai :.....	68
b : Mode opératoire de l'essai:.....	68
III.3.3: Masses volumiques absolues:.....	69
a. But de l'essai :.....	69
b. Mode opératoire :.....	70
III.3.4.Absorption d'eau :.....	71
III.3. 5 Porosités:.....	72

III.3. 6 La Compacité:	72
III.3.7. Indice des vides:	73
III.3. 8 Résistance à la fragmentation:.....	73
III.4 Sable concassé 0/5 :.....	74
III.4.1: composition granulométrique.....	74
III.4.3: Module de finesse :.....	75
III.4.2: Equivalent de sable : NF P 18-598	75
A / Equivalent de sable visuel (ESV):.....	76
B / Equivalent de sable visuel (ESP):	77
III.4.4: Masses volumiques apparentes:	79
III.4.4 .1: Principe de l'essai:	79
III.4.4 .2: Mode opératoire:.....	80
III.4.5 Masses volumiques absolues:.....	80
III.4.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555):	81
III.4.7: Compacité:	81
III.5. Les ajouts.....	83
III.5.1. Sable de brique concassé 0/5	83
III.5.2. Composition Granulométrique.....	83
III.5.3. La Fumée de silice (FS).....	84
III.5.3. Le ciment :.....	85
III.6. L'eau de gâchage :.....	86
III.6.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :.....	86
III.6.2. L'adjuvant : (MEDAFLOW 30).	87
III.6.3. Description.....	87
III.6.4 Caractéristiques :	89
III.7. La formulation des bétons :.....	90
III.7.1. Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :.....	90
III.7.2. Dosage en ciment et en eau :.....	90
III.7.3. Ajustement du dosage en eau :.....	92
III.7.4. Dosage des granulats.....	93
III.7.4.1. dreux-gorisse.....	94
III.7.4.2. La ligne de partage :.....	96
III.7.4.3. Dosage en masse des granulats :.....	97
III.7.4.4. Coefficient de compacité :	98
III.7.4.5. Quantité des agrégats en pourcentage :.....	99
III.7.4.6. Volume absolu de l'ensemble des granulats :.....	99
III.7.4.7. Dosage des granulats en kg dans 1 m.....	99
III.8. Matériaux Et Essais.....	100
III.8.1. Le malaxage : [NA EN 12390-2].....	100
III.8.2. Affaissement au cône d'abrams (slump test) : [NA EN 12350-2].....	101
III.8.3. Vibration : [NA EN 12390-2].....	102
III.9. Essais Sur Béton Durci.....	103
III. 9.1. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique).....	103
III.9.2. Absorption par immersion totale.....	104

III.10.1. Durabilite.....	104
III.10.2. Porosité accessible l'eau.....	105
III.10.3.Absorption d'eau par capillarit.....	105
III.10.4.Conduite de l'essai.....	105
III.10.3.Essai mouillage et de séchage.....	106
III.10.3.1. Calculer la perte de masse :.....	107

CHAPITRE IV: Résultat et discussion

IV.1. Introduction.....	108
IV.2. Résultats et interprétations.....	108
IV.2.1 Essais sur béton frais :.....	108
IV.2.1.1 Affaissement : nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :.....	108
IV.2.2 Essais sur bétons durcis :.....	110
IV.2.2.1 Caractéristiques physiques :.....	110
A) Masse volumique à l'état sec :.....	110
B) Absorption par immersion totale	111
IV.2.2.3. Durabilité.....	112
A) Porosité accessible à l'eau.....	112
B) Absorption d'eau par capillarité.....	113
C) Essai mouillage / séchage.....	114
Conclusions generales.....	115

Liste des tableaux

Chapiter I	Chapiter	Pag
Chapiter I	Valorisation des Déchets	
Tableau I. 1	Composition chimique de la brique réfractaire [15]	21
Tableau I. 2	Composition chimique type de certaines fumées de silice [3]	26
Chapiter III	Caractéristique des matériaux utilisent	
Tableau III. 1	Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé	66
Tableau III. 2	L'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé	67
Tableau III. 3	Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé.	69
Tableau III. 4	Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	70
Tableau III. 5	Coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé.	71
Tableau III. 6	La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	72
Tableau III. 7	Compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	72
Tableau III. 8	Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	73
Tableau III. 9	Los angeles des fractions (3/8) et (8/16) du granulats concassé	73
Tableau III. 10	L'analyse granulométrique d'un sable 0/5	74
Tableau III. 11	Equivalent du sable	78
Tableau III. 12	Comparaison des résultats	79
Tableau III. 13	Masse volumique apparente du sable Concassée 0.5	80
Tableau III. 14	Masse volumique absolue du sable Concassée 0.5	81
Tableau III. 15	Porosités (%) du sable.	81
Tableau III. 16	Compacité c(%) du sable	82
Tableau III. 17	Indice de vide des fractions sable concassée 0.5	82
Tableau III. 18	L'analyse granulométrique d'un sable de brique concassé	83
Tableau III.19	Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice	84
Tableau.III.20	Caractéristiques chimique de l'eau de gâchage [56]	86
Tableau.III.21	Caractéristiques de medaflow 30	89
Tableau III .22	Valeurs approximatives du coefficient granulaire	91
Tableau III.23	Correction du dosage en eau selon le diamètre, d du mélange granulaire	93
Tableau III. 24	Valeur du terme correcteur k.	95
Tableau III. 25	Valeurs du coefficient de compacité γ	98
Chapiter IV	Résultat et discussion	
Tableau IV	Affaissement	108

Liste des figures

Figure	CHAPITER	Page
Chapiter I	Déchet De Brique	
Figure I.1	Compositions des déchets du bâtiment	9
Figure I.2	Laitier de haut fourneau	10
Figure I.3	Laitier d'acier	10
Figure I.4	Cendre volante	11
Figure I.5	Mâchefer	12
Figure I.6	Boue rouge	12
Figure I.7	Béton récupéré	13
Figure I.8	Déchet de verre	14
Figure I.9	Sciure de bois	15
Figure I.10	Lin de textile	15
Figure I.11	Marbre	16
Figure I.12	Céramique	17
Figure I.13	Carrelage	17
Figure I.14	Brique concassé	18
Figure I.15	Schéma de fabrication des briques	23
Figure I.16	Fumée de silice	27
Figure II.17	Formes des granulats recyclés	39
Chapiter II	Durabilité du béton	
Figure II.1	Description Schématique d'un Matériau Poreux	51
Figure II.2	Démarche Scientifique Adoptée Pour l'évaluation De La Durabilité Associée Aux Processus De Transport	52
Figure II.3	La perméabilité aux gaz	55
Figure II.4	Mesure de la perméabilité au gaz k selon la méthode cembureau [15]	56
Figure II.5	Principe De Fonctionnement Des Appareils De Mesure De La Perméabilité A l'eau [1].	58
Figure II.6	Perméabilimètre a trois cellules (laboratoire du développement des géo matériaux – université de msila)	59
Figure II.7	Perméabilimètre permettant les tests de six éprouvettes	60
Figure II.8	Relation entre la résistance a la compression et la porosité	61
Chapiter III	Caractéristique des matériaux utilisent	
Figure III.1	Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé	66
Figure III.2	'Analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé	67
Figure III.3	Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé	68
Figure III.4	L'analyse granulométrique d'un sable concassé 0/5	74
Figure III.5	Essais d'équivalent de sable	76
Figure III.6	Essais d'équivalent de sable	77
Figure III.7	Essais d'équivalent de sable	78
Figure III.8	L'analyse granulométrique d'une brique concassé	83
Figure III.9	Poudre de la fumée de silice.	85

Figure III.10	Evolution de la résistance en compression1	87
Figure III.11	Le Super plastifiant (MEDAFLOW 30).	89
Figure III.12	Courbe d'analyses granulométriques des granulats	93
Figure III.13	Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment prévoir en fonction du rapport C/E	95
Figure III.14	Les lignes de parta	97
Figure III.15	Le malaxage de béton	100
Figure III.16	Affaissement au cône d'abrams	101
Figure III.17	La vibration	102
Figure III.18	Pesée hydrostatique.	103
Figure III.19	Dispositif essai de capillarité	106
Figure III.20	Eprouvette Emergée Dans l'eau	107
Figure III.21	Eprouvette séchée dans	107
Chapiter IV	Résultat et discussion	
Figure IV.1	Valeurs de E/C pour du béton sans fumée de silice.	109
Figure IV.2	valeurs d'E/C pour les bétons avec fumée de silice.	109
Figure IV.3	valeurs de la masse volumique pour du béton sans fumée de silice	110
Figure IV.4	Valeurs de la masse volumique pour du béton fumée de silice	110
Figure IV.5	Valeurs de l'absorption par immersion totale pour du béton sans fumée de silice	111
Figure IV.6	Valeurs de l'absorption par immersion totale pour du béton fumée de silice	111
Figure IV.7	Valeurs de la porosité accessible à l'eau pour du béton sans fumée de silice	112
Figure IV.8	Valeurs de la porosité accessible à l'eau pour du béton fumée de silice	113
Figure IV.9	valeurs d'absorption d'eau par capillarité pour du béton.	114
Figure IV.10	valeurs de la perte de masse pour du béton.	115

Introduction generale

INTRODUCTION GENERALE

En développement durable, l'environnement est l'un des objectifs de sa réussite, par la diminution d'émissions des gaz à effet de serre, la réduction de la consommation énergétique, l'utilisation rationnelle des ressources naturelles et le recyclage des déchets. Le recyclage des agrégats peut s'intégrer dans ce concept.

Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux public mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages.

Actuellement, la valorisation de déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et connaît un développement assez important et le taux de recyclage des débris de construction / démolition a atteint dans certains pays les 80%.

La durabilité d'une structure est en partie liée à la résistance qu'offrent les matériaux poreux constitutifs à la pénétration des agents agressifs. Si la porosité est le paramètre principal de cette résistance, deux autres grandeurs physiques sont importantes : la perméabilité et la diffusivité du matériau. Celles-ci sont considérées comme des indicateurs principaux de durabilité. Ils dépendent fortement du réseau poreux, de sa connectivité et de la teneur en eau du matériau. L'absorption d'eau par immersion et la capillarité sont similaires, elles augmentent avec l'augmentation du taux de substitution des granulats naturels par ceux recyclés dans le béton.

L'objectif de ce travail est une contribution expérimentale à l'étude de la durabilité des différentes compositions de bétons ordinaires à base des granulats naturels et déchets de brique à recycler avec différentes combinaisons granulaires avec ajout d'adjuvant et d'un pourcentage limité de fumée de silice.

Les déchets de brique concassés sous forme d'agrégat fin recyclés (sable) qui par la suite, peuvent être mélangés partiellement avec les agrégats naturels pour former un autre type de béton. L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats fins recyclés sur les caractéristiques physico –mécaniques ainsi que la durabilité des bétons.



Plan de travail :

Nous commençons en premier temps par une introduction générale qui fait exposer la motivation réelle de cette recherche ; en expliquant la problématique et de trouver une solution économique et écologique en face des problèmes d'environnement.

- **Chapitre I :** Valorisation des déchets
- **Chapitre II :** Revue générale sur la durabilité du béton
- **Chapitre III :** Etude expérimentale avec toutes les étapes vécues au sein du laboratoire de Géo- matériaux selon le programme envisagé de cette recherche suivit d'une analyse de résultats trouvés sur le comportement mécanique et physique.
- **Chapitre IV :** Résultat et discussion

Chapitre I

Valorisation des Déchets

Valorisation des déchets

I.1. Introduction

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

Ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication du béton.

L'usage de déchet de brique pour la fabrication du béton est jugé, le niveau bas de recyclage de ce dernier peut être à cause de manque des recherches dans leur application et utilisation en construction des routes. Il faut ajouter que la brique à cause de son mauvais comportement en compression et avoir un haut degré d'absorption d'eau ne peut pas être utilisée facilement dans le béton.

Ce genre des déchets est une menace sérieuse pour l'environnement et hygiène des eaux souterraines de surcroît il a un aspect qui frappe désagréablement à l'œil.

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

I.2. Définition des déchets

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs Propriétés.

Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel.

I.2.1. Définition réglementaire

La définition du déchet est établie par la loi française de 1975. Le déchet y est défini comme « 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 l'abandon. ».

I.2.2. Approche environnementale... puis sanitaire

Le point de vue environnemental est le plus proche des problématiques de santé publique, de par le lien historique qui rapproche les nuisances environnementales des problèmes sanitaires. Le déchet est représenté comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement. La diffusion des polluants dans le milieu s'accompagne souvent d'un risque sanitaire. L'évaluation des nuisances sanitaires associées aux déchets et à leurs modes de gestion est un champ complexe de la santé environnementale qui, peut-être plus que tout autre champ, requiert une approche scientifique multidisciplinaire. L'approche environnementale et sanitaire a fortement influencé la réglementation relative aux déchets, le premier objectif de gestion étant de prévenir ou réduire la Production et la nocivité des déchets.

I.2.3. Approche économique

Le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique.

C'est tout l'enjeu de la valorisation, dont la part croissante doit permettre d'exploiter la richesse contenue dans les déchets et faire baisser la part des quantités stockées, stockage qui ne doit en principe concerner que les déchets ultimes.

I.2.4. Approche fonctionnelle

Dans ce cadre, le déchet est considéré comme un flux de matière issu d'une « unité fonctionnelle » représentée par une activité ou un ensemble d'activités. Cette unité fonctionnelle a pour but de fabriquer un produit (matériel ou immatériel) et, pour ce faire, fonctionne avec des flux d'entrée (matières premières, eau, énergie) et de sortie (le produit recherché et les sous-produits non désirés). Parmi ces flux de sortie, non assimilables directement par le milieu naturel, on retrouve les déchets proprement dits, mais également les éléments perturbés du milieu naturel affectés par l'activité, regroupés sous le nom d'effluents.

[1]



I.3. Classification des déchets

La classification des déchets n'est pas une chose facile et universelle. Ils peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs recherchés et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées. Leur classification s'avère souvent très pratique et parfois indispensable pour faciliter l'abord d'une question complexe relative à la gestion des déchets et notamment quand il s'agit d'optimiser le choix de leur mode de gestion que se soit à la source ou sur le circuit de leur production. [2]

« Les techniques de l'ingénieur » fait une classification très détaillée des déchets en six groupes comme suit selon leurs origines.

I.3.1. Biologique

Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matières fécales, cadavre.....).

I.3.2. Chimique

Toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors si l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction $A+B \rightarrow C+D$; D sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.

I.3.3. Technologique

Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production, il y a inévitablement des rejets qu'il faut prendre en compte tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc.....

II.3.4. Economique

La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduit un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

I.3.5. Ecologique

Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique, ...et ainsi de suite.

II.3.6. Accidentelle

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.

I.4. Différents types des déchets

I.4.1. Déchets ménagers et assimilés

Déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics et hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages.[3]

I.4.2. Déchets encombrants

Toutes déchets provenant des ménages qui par leur poids, leur dimension ou leur volume ne peuvent être chargés dans les véhicules de collecte avec les déchets ménagers ordinaires et qui doivent faire l'objet d'une collecte spéciale. [4]

I.4.3. Déchets spéciaux

Toutes déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.[2]

I.4.4. Déchets spéciaux dangereux

Toutes déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement. Sont considérés comme déchets dangereux les déchets de matériaux de construction suivant :

- * Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses
- * Verres contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances
- * Bois contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances traitées à la créosote ou aux cuivre-chrome-arsenic ou revêtu
- * de peinture au plomb Mélange bitumeux contenant de goudron
- * Goudron et produit goudronnés

- * Déchets métallique contaminés par des substances dangereuses
- * Câble contenant des hydrocarbures, du goudron ou autres substances
- * Terres, cailloux boue de dragage, ballast de voie contenant des substances dangereuses
- * Matériaux d'isolation contenant de l'amiante



- * Autres matériaux d'isolation à base de ou contenant des substances dangereuses
- * Matériaux de construction à base (plâtre) contaminé par des substances dangereuses
- * Déchets de construction ou de démolition (y compris en mélange) contenant des substances dangereuses.

I.4.5. Déchets inertes

Tous déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances.

Ces déchets 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 avec les autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner la pollution de l'environnement ou de nuire à la santé publique. Sont considérés comme déchets inertes les déchets de matériaux de construction suivants :

- * Béton, briques, tuiles et céramiques
- * Verre
- * Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de substances dangereuses et ne contenant que des déchets minéraux.
- * Matériaux de construction à base de gypse (ne contenant pas de substances dangereuses) : carreaux de plâtre, plaques de plâtre, enduit plâtre.

I.4.6. Déchets ultimes

Tout résidu résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

I.4.7. Déchets biodégradables

Tous déchets pouvant subir une décomposition biologique naturelle, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins ainsi que le papier et le carton. [4]



I.4.8. Les déchets d'emballages :

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons...etc. [5]

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets. [6]

- ✧ Béton (40%),
- ✧ Brique (30%),
- ✧ Bois (10%),
- ✧ Plastique (5%),
- ✧ Métaux (5%),
- ✧ Autres éléments (10%).

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.

I.5. Classification des déchets

I.5.1. Selon l'origine

- ✚ Déchets industriels
- ✚ Déchets urbains.

Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets. La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique.

I.5.2. Selon leur mode de traitement

Les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- ✚ Déchets inertes
- ✚ Déchets banales
- ✚ Déchets spéciaux
- ✚ Déchets dangereux.

I.5.3. Selon leurs effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- ✚ Déchets inertes
- ✚ Déchets fermentescibles
- ✚ Déchets toxiques.

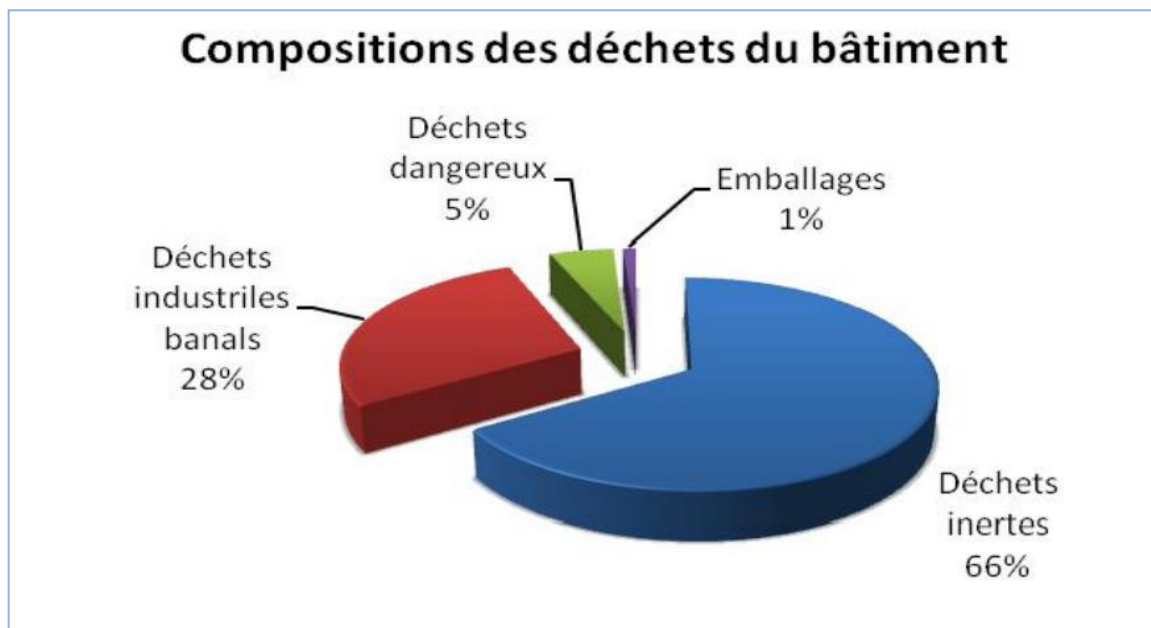


Figure I.1: Compositions des déchets du bâtiment [6]

I.6. Dechets utilises en genie civil

I.6.1. Laitiers de haut fourneau :

C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au mènèrai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité. Sont utilisés comme matériaux de construction depuis assez longtemps.

Les laitiers granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base, dans la fabrication des briques. Les laitiers expansés sont utilisés pour la production des granulats légers et les laitiers refroidis à l'air, sont concassés et utilisés comme granulats pour les bétons. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable.



Figure. I.2.Laitier de haut fourneau

I.6.2. Laitier d'acier

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique métastable ; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. [2]



Figure. I.3.Laitier d'acier

I.6.3. Cendres volantes

C'est un produit provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons, où elles remplacent en partie le ciment portland, à la production des granulats légers et d'autres matériaux de construction, ainsi qu'à l'exécution des remblais dont elles ont un effet favorable grâce à leur faible poids.

Notant que les cendres volantes sont sensibles au gel, du fait de leur composition granulométrique. [7]



Figure. I.4. Cendre volante

I.6.4. Mâchefer :

C'est le résidu de la combustion de la houille, dans les centrales électriques anciennes. Il 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. [8]

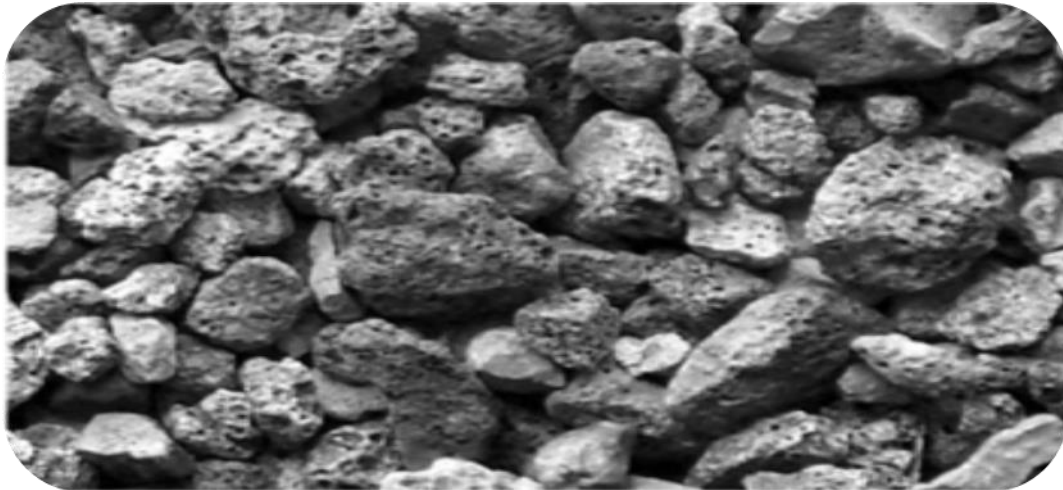


Figure. I.5.Mâchefer

I.6.5. Boues rouges

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310) °C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



Figure. I.6. Boue rouge

I.6.6. Béton récupéré

Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées. [9]



Figure. I.7. Béton récupéré

I.6.7. Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion. En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de

métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol. [10]



Figure. I.8.Déchets de verre

I.6.8. Sciure de bois

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. Ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait. C'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa résistance faible. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. [9]



Figure. I.9. Sciure de bois

I.6.9. Lin de textile

Le développement industriel et économique de ces dernières décennies a entraîné une forte production de déchets agricoles. Parmi ces déchets, on distingue ceux issus de l'industrie textile de lin fibre, notamment les poussières extraites par aspiration lors teillage. Ces déchets, peu ou pas valorisés, constituent une source potentielle de problèmes environnementaux majeurs. L'exploitation des déchets agricoles dans les matériaux de construction est une alternative très intéressante qui présente un double objectif. Elle permet d'une part, de répondre aux besoins en matériaux nouveaux, présentant des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques. D'autre part, de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage de ces déchets. [2]



Figure. I.10. Lin de textile

I.6.10. Marbre

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et colorie sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Le déchet du marbre a été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions.

Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels.



Figure. I.11.Marbre

I.6.11. Céramique

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique polycristalline) ; par assimilation, on désigne sous le terme « céramique » les objets ainsi fabriqués.



Figure. I.12. Céramique

I.6.12. Carrelage

Le carrelage est un revêtement de sol et de mur formé de carreaux de céramique, terre cuite ou ciment, juxtaposés et collés. Il est couramment utilisé pour la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur. Le terme désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action.[2]



Figure. I.13. Carrelage

I.6.13. Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulat léger. Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite » [11]

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton.

Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [9]



Figure. I.14.Brique concassée :

I.7. Les Ajouts Minéraux :

I.7. 1.Déchets de brique :

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

On appelle « briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites). On appelle « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée .[11]

I.7.2. Définition de brique :

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction.

Les briques se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permette de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement ? La brique est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions. En plus de résister à la chaleur, la brique a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique .[12]

I.7.3. Types de brique :

a) Selon Leur Utilisation :

Face brique : Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Ils sont les briques les plus visibles, de sorte qu'ils sont de meilleure qualité et plus durable. Découper fil brique est un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturé, puis couper par fil.

Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures. [13]

Briques de construction : Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Elles sont faites d'argile, et cuits dans des fours pour les rendre dur et fort. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres surfaces, et non pour les extérieurs, afin qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durable. [13]

Briques vernissées : Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement en céramique). Le regard glacé provient de la fusion de différents minéraux et des ingrédients lorsque les briques sont brûler ou cuits. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaires est très essentiel [13]

b) Selon leur forme :

Briques pleines : La brique pleine ordinaire au format 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur). Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), elle présente une gamme de teintes très variée. Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux. [13]

Briques perforées et blocs perfores : La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression (les perforations sont disposées verticalement à l'intérieur du mur) et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par seul élément. [13]

Briques creuses : Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, permettent la réalisation de murs spécialement isolants. Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. En revanche, leur résistance à la compression est très faible. Cette maçonnerie reçoit généralement un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments. [13]

On distingue deux désignations de brique creuse :

C : briques à faces de pose continues, montées à joints de mortier horizontaux continus.

RJ : brique à rupture de joint, afin d'améliorer le comportement thermique du mur.

I.7.4. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :

Après avoir broyé les briques réfractaires, nous avons déterminé leur composition chimique par spectrophotomètre de fluorescence X. [14]

Tableau. I.1. Composition chimique de la brique réfractaire [15]

Composition chimique %	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	PAF	K₂O	Na₂O	CaO	MgO	SO₃	C
Brique réfractaire	55.2	30.71	3.85	2.92	1.59	1.42	1.39	1.35	0.3	00

I.7.5. Mode de fabrication de brique :

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc. [16]

I.7.5.1 L'extraction

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques :(décapeuse, pelles chargeuses ...etc. La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.

I.7.5.2 Façonnage

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures étirage et pressage.

I.7.5.3 Séchage

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés. L'énergie consommée varie de 3.5×10^6 à 4.10×10^6 J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 KW h.

I.7.5.4 Cuisson

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est à dire. Que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850° et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement. Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classé en deux catégories principales : Les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu. Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Concernent la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- * Jusqu'à 200° C environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage.
- * De 200 à 450° C, décomposition de matière organique.
- * De 450 à 650° C, décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution.

De 650 à 750° C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires). [16]

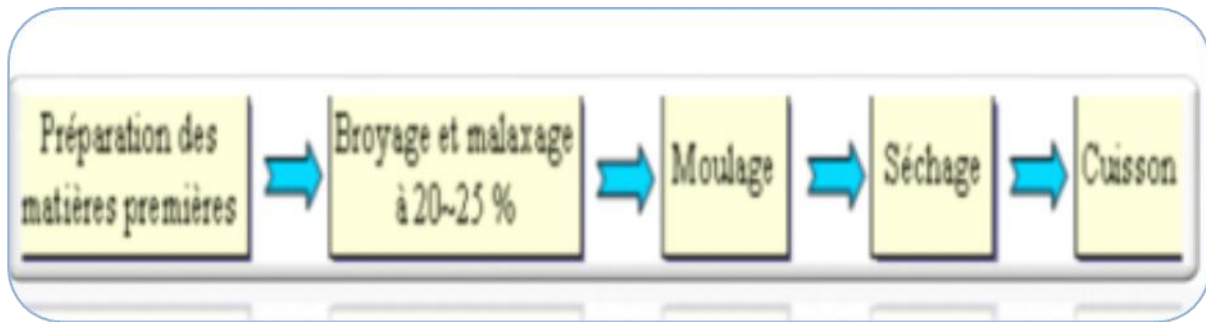


Figure. I.15. Schéma de fabrication des briques [17]

I.7.6. Valorisation des déchets de la brique :

I.7.6.1. Recyclage :

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 pair 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. [18]

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- 1) **Réduire** : Qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets ;
- 2) **Réutiliser** : Qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage ;
- 3) **Recycler** : Qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage. [19]

I.7.7. Propriétés des bétons des déchets de brique :

Les briques concassées sont utilisées largement pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante. Les résultats des essais du béton de granulats de brique sont favorablement comparables avec ceux du béton normal, obtenus par l'ACI. Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes Propriétés du béton de granulats de brique. [20]

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

- * L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton.
- * Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulats avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulats pendant 30 min.
- * La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulats normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de déchet de brique.
- * L'utilisation du granulats grossier de déchet de brique peut produire un béton déstructure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal. [21]
- * La masse volumique apparente du béton de déchet brique varie de 2000 à 2080 kg/m³ Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal.
- * La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 MPa.
- * Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal. [20]
- * Le béton contenant des granulats de déchet brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut savoir corrosion et efflorescence dans le béton. [15]

I.7.8. Utilisations des bétons des déchets de brique :

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

- * De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m³, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm², présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.
- * Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg/m³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm², une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm², des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm/m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur (Z environ 0,25 kcal/m⁰c pour 1050 kg/ m³).
- * Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de débris de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée. [22]
- * Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage. [23]
- * Le béton de débris de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité. [22]
- * Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager. [24]
- * Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu. [15]

I.8. Fumée de silice

La fumée de silice est un sous produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de Ferro silicium). [25]

Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO_2 se forme et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultra fines de silice SiO_2 . [25]

Tableau I.2. Composition chimique type de certaines fumées de silice. [25]

Composés	Silicium (grise)	Ferro silicium (grise)	Blanche
SiO_2	93.7	87.3	90.0
Al_2O_3	0.6	1.0	1.0
CaO	0.2	0.4	0.1
Fe_2O_3	0.3	4.4	2.9
MgO	0.2	0.3	0.2
Na_2O	0.2	0.2	0.9
K_2O	0.5	0.6	1.3
Perte au feu	2.9	0.6	1.2



Figure. I.16. Fumée de silice

Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice (**Tableau I.2**).

La teneur en SiO_2 de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO_2 de la fumée de silice est élevée.

Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO_2 . La fumée de silice produite lors de la fabrication d'un alliage Fe – Si à 75% à une teneur en silice généralement supérieure à 85%. Du point de vue structural, la fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse. [25]

Du point de vue morphologique, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre $0.03\mu\text{m}$ et $0.3\mu\text{m}$ (le diamètre moyen habituel se situant en dessous de $0.1\mu\text{m}$), de telle sorte que la dimension moyenne des sphères de fumée de silice est 100 fois plus faible que celle d'une particule de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/ 10 de micron.

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa très forte teneur en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse.

Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler.

Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice. Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique.

La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme fumé de silice est le plus généralement utilisé. La densité de la fumée de silice est généralement de 2.2, mais aussi un peu plus élevée lorsque la teneur en silice est plus faible. Elle est moins dense que le ciment Portland dont la densité est 3.1. Ce produit se présente sous.

la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise. Lorsque l'on considère les propriétés du béton aux fumées de silice, il importe de garder à l'esprit qu'on utilise ces dernières de deux manières différentes : [25]

- Comme substitut du ciment, pour réduire les quantités de ciment utilisées, en général pour des raisons d'économie
- Comme ajout, pour améliorer les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci

I.8.1. Domaines d'application (La Norme NFP 18-502)

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

I.9. L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [26]

I.10. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. [27]

I.10.1. Intérêt des adjuvants :

La raison de l'utilisation croissante des adjuvants est qu'elle confère physiquement et économiquement au mortier des avantages considérables. Ces avantages comprennent, entre autres, l'utilisation de mortier dans des conditions qui présentaient auparavant des difficultés considérables. Ils permettent l'utilisation d'une grande gamme de matériau dans le mortier. Même s'ils ne sont pas toujours bon marché, les adjuvants ne représentent pas nécessairement des dépenses supplémentaires, car leur utilisation peut engendrer des économies.

Les adjuvants fournissent à la formulation de mortier une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des mortiers, adapter leur formulation au temps froid et au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du mortier durci. Il y a toutefois lieu d'insister sur le fait que, même utilisés de manière adéquate et bénéfique pour le mortier, ils ne peuvent en aucun cas servir à corriger la mauvaise qualité des autres constituants ni leur dosage incorrect, ni des erreurs de manutention lors du transport, de la mise en place du mortier. [28]

I.10.1.1. Classification des adjuvants :

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps, mais leur développement réel et la multiplication de leur utilisation n'ont commencé que depuis 1960. Leur qualité et leur constance s'améliorent sans cesse. Les adjuvants peuvent être organiques ou inorganiques selon leur composition chimique, mais leur caractère chimique, distinct de celui des autres minéraux utilisés dans la fabrication du mortier, est essentiel. Ainsi, dans la nomenclature Américaine on les appelle adjuvants chimiques, mais ici cette qualification est superflue, car les produits minéraux incorporés dans le mortier, dont la teneur est souvent supérieure à 5% de la masse du ciment, sont appelés liants ou ajouts. Les adjuvants peuvent être classés selon leur fonction, on distingue :



- ❖ Les entraîneurs d'air.
- ❖ Les réducteurs d'eau.
- ❖ Les retardateurs de prise, les accélérateurs de prise.
- ❖ Les super plastifiants.
- ❖ Les adjuvants divers (ceux qui améliorent la viscosité, l'adhérence, etc.). [28]

I.10.2.2. Le Super Plastifiant :

Les super plastifiants sont des produits chimiques qui ajoutés au mortier permettent de réduire sa teneur en eau jusqu'à 30% (c'est un super réducteur d'eau), c'est-à-dire trois ou quatre fois plus qu'un réducteur d'eau normal. [28]

I.10.3. Les avantages principaux de l'utilisation des super plastifiants :

I.10.3.1. Le super plastifiant :

- La production de mortier de haute ouvrabilité sans réduire la teneur en ciment et la valeur de la résistance.

- La production d'un mortier contenant moins de ciment, mais ayant une résistance et une ouvrabilité normale. Grâce à cette découverte, il est maintenant possible de fabriquer des mortiers fluides qui contiennent seulement la quantité d'eau nécessaire pour hydrater les grains de ciment. On évite ainsi l'eau qui ne participe jamais à l'hydratation du ciment et qui affaiblit la structure durcie du mortier et augmente sa porosité.[28]

I.10.3.2. Facteurs affectant l'action des super plastifiants :

La capacité des super plastifiants d'augmenter l'affaissement du mortier dépend de plusieurs facteurs :

- **Le type de super plastifiant :**

Pour obtenir un affaissement de 260 mm à partir d'un Affaissement initial de 50 mm, il est nécessaire d'ajouter 0,6 de SMF ou MLS, mais seulement 0,4% de SNF.

- **Le dosage en super plastifiant :**

L'augmentation de l'affaissement est proportionnelle au dosage en super plastifiant, mais l'efficacité diminue au-delà d'un certain dosage. De plus la concentration en super plastifiant influence le taux et la vitesse d'hydratation des constituants.

- **Le rapport E/C :**

Les mesures de la viscosité et de l'affaissement montrent que pour des rapports E/C compris entre 0,4 et 0,65, l'addition d'une certaine quantité de super plastifiant augmente l'affaissement et diminue la viscosité en augmentant le rapport E/C.



- **Le moment de l'addition :**

Si le super plastifiant est ajouté au début avec l'eau de malaxage, l'affaissement augmente considérablement, mais dans le cas où il est ajouté entre 5 et 50 minutes après le début du malaxage, généralement l'affaissement par rapport au premier cas est moindre.

- **La température :**

Pour des températures allant de 5 à 300C, il n'y a généralement pas de différence d'affaissements dus à l'addition de super plastifiant. Au-delà de 300C, l'efficacité du super plastifiant diminue. [28]

I.10.4. Domaines d'utilisation de super plastifiants :

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- ❖ Bétons à compacité, et donc durabilité.
- ❖ Bétons à haute performance.
- ❖ Bétons autoplaçants. [29]

II. Types d'agrégats recyclés.

II.1. Introduction :

Les granulats sont considérés comme des constituants essentiels dans la composition du béton ordinaire ou des mortiers.

L'utilisation des granulats recyclés a une grande importance du point de vue environnement car d'un côté elle permet de récupérer les matériaux résultants de la démolition des constructions due aux catastrophes naturelles ou la démolition du vieux bâti. De l'autre côté ; leurs réutilisations permettent de protéger la nature de l'exploitation excessive de la réserve des granulats ordinaires.

II.2. Construction et gestion des déchets de démolition :

II.2.1 États-Unis d'Amérique : [30]

Sur les quelque 2,7 milliards de tonnes de granulats utilisés actuellement aux États-Unis, le compte trottoirs pour 10-15%, alors que d'autres la construction de routes et les travaux d'entretien consomme un autre 20-30%, et le volume d'environ 60-70% d'agrégats sont utilisés dans le béton de structure. RA aux États-Unis est produit par les producteurs d'agrégats naturels, des entrepreneurs et des centres de recyclage de débris, qui ont une part de 50%, 36% et 14%, respectivement. Mesures incitatives pour le transport des déchets de béton et de granulats transformés à partir de sites de production sont donnés à promouvoir l'utilisation de la RA, mais une grande partie de la production est approprié seulement comme matériau de remblai ou de base de la construction.

- Processus de fabrication des agrégats recyclés :

Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont

- ❖ Sélection, stockage et traitement des produits bruts.
- ❖ Préparation des matériaux avant concassage : cette étape consiste à réduire les plus gros éléments l'aide d'un brise roche hydraulique (BRH) et à retirer les impuretés les plus grosses.
- ❖ Trisannuel.
- ❖ Déferrage électromagnétique.
- ❖ Concassage et criblage : étape destinée à les matériaux de faibles caractéristiques.
- ❖ Concassage secondaire éventuel de la fraction supérieure issue du concassage primaire.

- ❖ Stockage.
- ❖ Analyses éventuelles avant utilisation.

I.2.2. Gestion des déchets :

I.2.2.1. Définition :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité.

I.2.2.2. Principe de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions.

La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- * Réutiliser.
- * Réduire.
- * Recycler

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième R » : « Repenser », qui implique que le système actuel a des faiblesses et qu'un système parfaitement efficace exigerait qu'un regard totalement différent soit porté sur les déchets. Certaines

Solutions " repensées sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile. Afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles, afin de pouvoir utiliser les chutes pour découper les petites pièces du patron. Ainsi, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile.

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, les apports de matières premières et la composition des produits. Parfois le principe de « prévention de la pollution » indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source. Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. Plusieurs villes aux États-Unis ont mis en place des taxes dont le montant est fonction des quantités d'ordures déposées (Paye quand tu jettes : Pay As You Throw - PAYT) qui se sont révélées efficaces pour réduire le volume des déchets urbains.

L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets. Une autre approche, plus controversée, est de considérer la réduction de l'utilisation de substances toxiques. On s'intéresse ici à réduire l'utilisation de substances toxiques, alors même que la tendance est plutôt à la hausse. Cette approche, dans laquelle c'est le principe de précaution qui est mis en avant, rencontre une vive opposition des industries chimiques. Ils accusent cette démarche de stigmatiser les produits chimiques.

Certains états américains, comme le New Jersey et l'Oregon ont mis en place des politiques de réduction des déchets toxiques.

I.2.2.3. Technique de gestion des déchets :

I.2.2.3.1. Décharge :

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

Les anciennes carrières ou celles mal gérées peuvent avoir de forts impacts sur l'environnement, comme l'éparpillement des déchets par le vent, l'attraction des vermines et les polluants comme les lixiviats qui peuvent s'infiltrer et polluer les nappes phréatiques et les rivières. Un autre produit des décharges contenant des déchets nocifs et le biogaz, la plupart du temps composé de méthane et de dioxyde de carbone, qui est produit lors de la fermentation des déchets.

Les caractéristiques d'une décharge moderne sont des méthodes de rétention des lixiviats, tels que des couches d'argile ou des bâches plastiques. Les déchets entreposés doivent être compactés et recouverts pour éviter d'attirer les souris et les rats et éviter l'éparpillement.

Beaucoup de décharges sont aussi équipées de systèmes d'extraction des gaz installés après le recouvrement pour extraire le gaz produit par la décomposition des déchets. Ce biogaz est souvent brûlé dans une chaudière pour produire de l'électricité. Il est même préférable pour l'environnement de brûler ce gaz que de le laisser s'échapper dans l'atmosphère, ce qui permet de consommer le méthane, un gaz à effet de serre encore plus nocif que le dioxyde de carbone. Une partie de ce biogaz peut aussi être utilisé comme carburant.

Beaucoup d'autorités locales, particulièrement dans les zones urbaines, ont des difficultés pour ouvrir de nouvelles décharges car les riverains s'y opposent. Peu de personnes veulent d'une décharge dans leur voisinage. C'est pourquoi le coût de stockage des déchets solides dans ces régions est plus coûteux, les détritiques devant être transportés plus loin pour être stockés.

Certains s'opposent aux décharges quelques soient les conditions ou le lieu, en expliquant qu'au final le stockage en décharge laissera une planète véritablement polluée avec plus aucune fissure ou espace sauvage. Certains futurologues ont déclaré que les décharges seront les « mines du futur » : comme certaines ressources s'appauvrissent, on pourra justifier qu'il est nécessaire de les extraire des décharges où elles avaient été enfouies considérée alors comme non valorisable.

Cet état de fait et la prise en compte croissante des impacts de la consommation excessive des ressources a permis, dans plusieurs régions, d'accroître les efforts pour minimiser la quantité de déchets mis en décharge. Ces efforts sont la mise en place de taxes ou prélèvements sur les déchets mis en décharge, le recyclage des matériaux,

Leur transformation en énergie, la conception de produits nécessitant moins de ressources, et une législation imposant aux fabricants la prise en charge des coûts d'emballage et de stockage des déchets. Un sujet connexe est le concept d'écologie industrielle, où les flux de matière entre les industries sont étudiés. Les sous-produits d'une industrie peuvent être utiles à une autre, cela permet de réduire les flux de déchets.

I.2.2.3.2. Incinération :

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons. Les controverses concernent généralement les problèmes environnementaux et sanitaires liés aux incinérateurs qui ont fonctionné dans le passé, avant l'application des normes actuelles.

En premier lieu, il s'agit d'un mode d'élimination de déchets qui a un taux de valorisation limité. L'incinération détruit les ressources naturelles contenues dans les déchets et ne permet pas de récupérer 100% du pouvoir calorifique des déchets. L'énergie récupérée, sous la forme de chaleur ou d'électricité, provient du refroidissement des fumées de combustion dans une chaudière, qui permet de récupérer de la chaleur, qui peut être utilisée directement ou à son tour entraîner une turbine pour produire de l'électricité. L'incinération est malgré tout identifiée en France en 2002 comme la deuxième source d'énergie renouvelable pour la production d'électricité (après l'hydraulique) et pour la production de chaleur (après la biomasse).

Deuxièmement, l'incinération des déchets solides des villes produit une certaine quantité de polluants atmosphériques (dioxines et furannes, métaux lourds, gaz acides, poussières), dont les valeurs limites d'émissions sont fixées par la réglementation. Au cours des années 1990, des avancées dans le domaine du contrôle des rejets et de nouveaux règlements gouvernementaux ont permis une réduction massive de la quantité des différents polluants atmosphériques, y compris les dioxines et de furannes. L'Union européenne et l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) ont pris la décision de créer des normes très strictes concernant l'incinération des déchets.

L'incinération produit aussi un grand nombre de résidus solides (mâchefers) qui doivent être éliminés en décharge ou qui font l'objet d'un traitement si une valorisation en technique routière est envisagée. Dans les années 1980, l'entreposage en lieu sûr des mâchefers, qui à cette époque étaient aussi mélangés aux cendres, était un problème environnemental important. Au milieu des années 90, des expériences en France ont été réalisées pour traiter et élaborer des mâchefers (extraction des métaux ferreux et d'aluminium, criblage, broyage, concassage, maturation à l'air libre pour favoriser des réactions de carbonatation et d'oxydation). Les résultats positifs des suivis de plate-forme expérimentales utilisant des mâchefers sous les routes ont permis le développement de cette filière.

I.2.2.3.2. Compost et fermentation :

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage.

Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers. Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'existent aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.

2.2.3.3. Traitement biologique et mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un traitement mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques.

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage. La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable.

La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre.

Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage.

TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environmental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

I.2.2.3.4. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits. Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs.

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

I.2.2.3.5. Composition des agrégats recyclés :

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

- * Des granulats naturels concassés partiellement.
- * Des la pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels

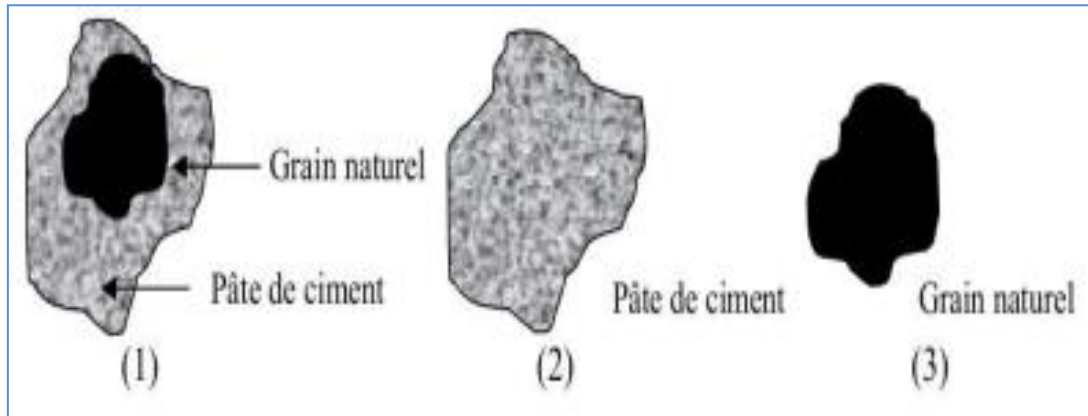


Figure II.17: Formes des granulats recyclés

I.4. Déchets En Algérie :

I.4.1. Naissance d'une véritable politique environnementale :

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement. Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 Md, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), prévu jusqu'en 2010.

Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

- ↳ Sur le plan de la politique environnementale, le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) fixe les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2010.
- ↳ Ces politiques sont appuyées par le Fonds National de l'Environnement et de dépollution (FEDEP) qui intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de recyclage des déchets, ainsi que par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le



- ↳ principe du pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.
- ↳ Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :
- ↳ Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- ↳ Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- ↳ Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- ↳ Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
- ↳ Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- ↳ Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- ↳ Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
- ↳ Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005. Le montant de la taxe est de 24.000DA/tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques et de 10 500 DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés.
- ↳ Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :
- ↳ Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP)
- ↳ L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.
- ↳ L'Agence Nationale des Déchets.
- ↳ Le Conservatoire National des Formations à l'environnement
- ↳ Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques
- ↳ Le Commissariat National du Littoral.
- ↳ Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
- ↳ Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable.

I.4.2. Problématiques des déchets :

I.4.2.1. Déchets Solides et Urbains :

Selon l'Agence Nationale des Déchets en Algérie, la production de déchets ménagers est estimée à 7 M tonnes/ an, chiffre en constante augmentation.

Les estimations chiffrées font état de 0,7kg/hbt/ jour dans les grandes villes, contre 0,5kg/hbt/jour dans les villes plus moyennes.

La solution technique retenue par l'Algérie pour le traitement des déchets ménagers est l'enfouissement. A ce titre, plusieurs centres d'enfouissement techniques (CET) ont été réalisés. Selon le MATET, 65 CET ont déjà été lancés/ sont achevés ou sont en cours d'étude. C'est la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui fixe les bases de la mise en place d'un Programme National de Gestion des Déchets Ménagers (PROGDEM). Le schéma directeur a été défini et des appels d'offres sont lancés ou vont être lancés au niveau de chaque wilaya (48). Pour la wilaya d'Alger, le schéma directeur est actuellement en cours d'élaboration. La situation à Alger a beaucoup évolué ces dernières années puisque jusqu'en 1997, les ordures ménagères étaient déversées dans une décharge non contrôlée (2500 tonnes/ jour), la décharge de Oued Smar qui s'étend sur 30 hectares. Depuis 1997, et suite à un début de contamination des nappes phréatiques du aux écoulements de la décharge, le CET de Ouled Fayed a été construit. Il comprend 5 casiers sur 40 hectares. A ce jour, 1 casier (2 selon l'Ademe) est déjà rempli.

A noter que l'ADEME et l'EPIC Net Com, en charge de la gestion des CET d'Alger, vont ouvrir à titre expérimental un nouveau casier.

La décharge d'Oued Smar qui existe depuis 1978, devrait être fermée cette année et réhabilitée. En Juillet 2007, a été lancé un second appel d'offres national et international portant « Exécution des travaux de fermeture et de réaménagement de la décharge de Oued Smar (wilaya d'Alger) » (le premier appel d'offre avait été déclaré infructueux, compte tenu du trop faible nombre de soumissionnaires, d'après le MATET. 3 nouveaux CET sur la wilaya d'Alger devraient voir le jour. Plusieurs interlocuteurs rencontrés



En Algérie ou en France dénoncent déjà le fait que les CET, à peine construits, sont déjà dépassés et que, très rapidement, les mêmes problématiques se profilent : fuites de lixiviats, contamination des nappes phréatiques, inadéquation des méthodes de traitement à la typologie des déchets. En plus de la typologie des déchets (70% du contenu d'une poubelle algérienne est d'origine organique), le dimensionnement de Ouled Fayed n'a pas non plus tenu compte des paramètres climatiques : la forte humidité qui règne à Alger (800 mm/ an) renforce le caractère humide des déchets. Concernant la collecte sélective, un programme test est mené cette année dans 2 communes pilotes : HYDRA et EL MOURADIA. Cette collecte sélective concernera les emballages/ plastiques, le verre et les déchets encombrants. Là encore, un maillage reste à mettre en place car la collecte de déchets encombrants suppose la création de déchetteries qui n'existent pas encore en Algérie. 2 stations de transfert devraient voir le jour. Le second appel d'offre pour la station de transfert de Baraki est déjà lancé en 2007, celui relatif à la station de transfert d'Oued Koreïche est lancé cette année.

Si l'on s'intéresse maintenant à la collecte et à la gestion des déchets ménagers de la wilaya d'Alger, c'est l'EPIC NET COM qui en a la charge. Créé en 1996, NET COM opère sous la tutelle de la Direction de l'Environnement.

A ce jour, l'EPIC est considéré comme une forme transitoire avant d'avoir recours à d'autres formes de gestion. La gestion mixte ou la gestion déléguée ne sont pas écartées par les autorités algériennes.

D'ailleurs, plusieurs solutions sont actuellement testées dans différentes communes. En effet, NET COM gère actuellement 28 sur les 57 communes (contre 15 en 1996) que compte la wilaya. Ce qui représente 2,5 Mhbt pour une superficie totale de 186 km², 2000 tonnes de déchets/ jour et 320 véhicules pour la collecte et le nettoyage urbain. Les communes de Bordj El Kiffan, Kouba ont été données en concession à un opérateur privé. La commune de Gué de Constantine (120 000 hbts) serait également en passe d'être concédée.

En Algérie ou en France dénoncent déjà le fait que les CET, à peine construits, sont déjà dépassés et que, très rapidement, les mêmes problématiques se profilent : fuites de lixiviats, contamination des nappes phréatiques, inadéquation des méthodes de traitement à la typologie des déchets. En plus de la typologie des déchets (70% du contenu d'une poubelle algérienne est d'origine organique), le dimensionnement de Ouled Fayed n'a pas non plus tenu compte des paramètres climatiques : la forte humidité qui règne à Alger (800 mm/ an) renforce le caractère humide des déchets. Concernant la collecte sélective, un programme test est mené cette année dans 2 communes pilotes : HYDRA et EL MOURADIA. Cette collecte sélective concernera les emballages/ plastiques, le verre et les déchets encombrants. Là encore, un maillage reste à mettre en place car la collecte de déchets encombrants suppose la création de déchetteries qui n'existent pas encore en Algérie. 2 stations de transfert devraient voir le jour. Le second appel d'offre pour la station de transfert de Baraki est déjà lancé en 2007, celui relatif à la station de transfert d'Oued Koreïche est lancé cette année.

Si l'on s'intéresse maintenant à la collecte et à la gestion des déchets ménagers de la wilaya d'Alger, c'est l'EPIC NET COM qui en a la charge. Créé en 1996, NET COM opère sous la tutelle de la Direction de l'Environnement.

A ce jour, l'EPIC est considéré comme une forme transitoire avant d'avoir recours à d'autres formes de gestion. La gestion mixte ou la gestion déléguée ne sont pas écartée par les autorités algériennes.

D'ailleurs, plusieurs solutions sont actuellement testées dans différentes communes. En effet, NET COM gère actuellement 28 sur les 57 communes (contre 15 en 1996) que compte la wilaya.

Ce qui représente 2,5 Mhbs pour une superficie totale de 186 km², 2000 tonnes de déchets/ jour et 320 véhicules pour la collecte et le nettoyage urbain. Les communes de Bordj El Kiffan, Kouba ont été données en concession à un opérateur privé. La commune de Gué de Constantine (120 000 hbts) serait également en passe d'être concédée.

I.4.2.2. Déchets Industriels :

Le cadastre relatif à l'élimination des déchets spéciaux a été réalisé en 2002 et a donné lieu au Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNADGES) qui a permis de caractériser le déchet par typologie et niveau de dangerosité. Ce document est important car il permet de contrôler le suivi de l'évolution de la production des déchets spéciaux. En effet, les estimations données par le MATET sont alarmantes : les stocks de déchets spéciaux sont estimés à 2.8Mt. La production de déchets spéciaux est estimée à 325 000 tonnes/ an. Ce stockage massif et la production non contrôlée de ces matières dangereuses ne sont évidemment pas anodins en termes de santé publique et d'incidence sur l'environnement. Compte tenu de la législation en vigueur et conformément au principe du pollueur payeur défini dans le cadre du FEDEP (Fonds National de l'Environnement et de Dépollution), chaque industriel est responsable de ses déchets produits et à ce titre, il est tenu de les traiter. Pourtant le cadre législatif n'est pas encore suffisamment contraignant puisque les industriels préfèrent encore s'acquitter de la taxe de déstockage plutôt que de traiter leurs déchets.

D'ici la fin d'année, le MATET envisage de nouvelles mesures coercitives à l'encontre des industriels : une augmentation du montant de la taxe déstockage et également un crédit d'impôt incitatif pour les entreprises.

Le gisement de déchets spéciaux est essentiellement centré dans les régions Est (1ère région productrice de déchets spéciaux), Centre et Ouest dans les wilayas d'Alger, de Bejaïa, Skikda, Annaba, Tlemcen et Oran.

87% des déchets produits proviennent de ces zones, soient 282 000 tonnes/ an et détiennent à elles seules 95% des déchets détenus en stock.

A ce jour, les plus grosses problématiques concernant les déchets suivants :

A. Amiante :

On estime à plus de 82 000 tonnes de déchets d'amiante stockés. Pendant une trentaine d'année d'exploitation des 4 usines de production d'amiante-ciment en Algérie (Meftah, Bordj Bouariridj, Zahana, Gué de Constantine), des fibres ou des résidus d'amiante se sont déposés sur les équipements, la structure des bâtiments et sur les sols. Une opération pilote pour le « traitement des déchets d'amiante et décontamination du site de l'unité amiant-ciment de Gué de Constantine (Alger) », unité à l'arrêt depuis 1997, a fait l'objet d'un appel d'offres national et international au début du mois de Juillet 2007.



B. PCB :

L'inventaire National des Appareils Electriques et des Déchets contenant des PCB a recensé 6770 appareils électriques.

Une étude de faisabilité sur l'élimination des déchets de PCB a également été réalisée. Une étude technico-économique a mis en évidence des options de gestion des PCB comme la construction d'installations d'incinération, le reconditionnement ou le stockage. A noter que la société COFAL est intervenue de 2004 à 2006 sur le marché du traitement des transformateurs pollués au PCB.

COFAL Algérie a en effet géré la collecte de ces appareils, réalisé la vidange et acheminé les transformateurs vers des sites de traitement en France et en Belgique.

C. Huiles Usagées :

L'inventaire national a recensé plus de 4000 tonnes d'huiles à éliminer. Les huiles usagées ont aussi fait l'objet d'un traitement à l'étranger (800 tonnes d'huile).

La production annuelle d'huile usagée est estimée à 59 000 tonnes.

D. Pesticides Périmés :

Une étude de faisabilité pour l'élimination des pesticides a recensé 1 100 tonnes à l'état solide et 615 000 litres.

E. Déchets Mercuriels :

Le site industriel d'Azzaba stocke 1 million de tonnes de scories de mercure. Encore aujourd'hui, des sociétés privées sont discrètement consultées pour gérer l'élimination de ce type de déchets.

F. Déchets Cyanures :

22 tonnes sont générées annuellement et on estime que 270 tonnes sont stockées au niveau des entreprises.

G. Déchets / Boues Hydrocarburées :

Les sociétés pétrolières sont elles aussi tenues désormais de traiter les déchets solides ou les boues constituées autour des puits de pétrole.

I.4.2.3. Déchets Hospitaliers :

Ces déchets hospitaliers comprennent :

- * Les Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux (DASRI)
- * Les Déchets d'Activités de Soins Assimilables aux Ordures Ménagères (DAOM)
- * Les Ordures Ménagères (OM)
- * Les Recyclables (cartons notamment, papiers, plastiques...)

- * Autres déchets Industriels Dangereux qui comprennent au moins une trentaine de filières.
- * Autres déchets Industriels Non Dangereux.
- * Les déchets radioactifs.
- * Sont aussi gérés par les structures de santé les déchets verts.
- * En Algérie, ils classent de plus les Pièces Anatomiques Identifiables d'Origine Humaine dans les déchets.

A. Traitement Des Déchets De Soins :

Le MSP RH regrette que les appels d'offres lancés par le MATET, les études et travaux divers sur ces sujets se fassent sans concertation avec eux. Il en est par exemple ainsi pour es achats des incinérateurs.

Le MSP RH a mené de septembre à novembre 2006, une Enquête National DASRI auprès de 90 hôpitaux publics des 48 wilayas afin de connaître les modalités de gestion et d'estimer les gisements DASRI. 75 enquêteurs majoritairement médecins, appuyés par 15 superviseurs, ont été mobilisés pour cette étude portant à la fois sur l'organisation générale de ces structures hospitalières, sur les aspects logistiques et sur les productions par service. Le plus gros problème porte sur l'aspect réglementaire relatif à l'incinération des DASRI.

En effet, le cadre législatif énoncé dans le décret du 14 décembre 2003 qui donne les grandes orientations en matière de DASRI est encore très éloigné de la réalité. Dans certains hôpitaux, les déchets de soins sont encore parfois collectés à mains nues ou directement acheminés vers les décharges et/ou brûlés in situ soit dans des « brûleurs » ou incinérateurs voire à ciel ouvert. D'une manière générale il n'y a pas de maintenance sur ces équipements qui sont donc très souvent en panne. De plus, ces équipements sont mal conduits et sont très polluantes.

Tout ceci en plein cœur des agglomérations. Le décret ne précise pas les modes de traitement en fonction des différents types de déchets.

S'il a rendu obligatoire l'incinération des DASRI, il ne précise pas les spécificités des incinérateurs hospitaliers alors que la plupart des structures médicales est équipée de brûleurs datant souvent d'une vingtaine d'années et ne répondant plus aux normes de l'incinération (notamment au niveau des rejets des fumées et des imbrûlés).

Le décret doit d'une part imposer des normes pour l'incinération (le MATET continuant à inciter les hôpitaux à investir dans des incinérateurs).

D'autre part, le MSP RH a fait depuis 2005 des propositions pour faire évoluer le texte en ouvrant la possibilité de traitement alternatif des DASRI et notamment leur « banalisation » soit in situ, soit en plate-forme externe.

Le MSP RH envisage des options de traitement des DASRI selon les positionnements géographiques et selon les quantités produites : soit un traitement in situ soit un traitement externalisé, avec une collecte externe qui serait confiée, dans ce cas, à des entreprises privées. De plus, l'organisation interne de la filière DAS reste encore entièrement à mettre en œuvre : matériels de tri à la source, matériels de translation Et de transport, conteneurs, aménagement de plate-forme (PTF) de regroupement des DAS, aménagement de PTF industrielle de traitement. Les premiers résultats de l'étude FASEP (qui sont présentés en septembre 2007) font apparaître une production globale annuelle algérienne de DASRI de l'ordre de 10 000 à 12.000 tonnes/an maximum (toutes structures médicales confondues). Actuellement, le tri sélectif à la source n'est pas pratiqué, faute de moyens matériels et de formation des agents hospitaliers. D'une manière générale, la mise à niveau de la gestion des déchets hospitaliers nécessitera des budgets considérables que ce soit en investissements et en exploitation et qui sont aujourd'hui largement insuffisants.

Outre l'absence totale de la prise en charge de la problématique DASRI, les interlocuteurs au Ministère de la Santé dénoncent l'insouciance collective qui règne en Algérie sur la problématique des déchets hospitaliers. Ils dénoncent également le manque de traitement des Pièces Anatomiques Identifiables d'origine Humaine qui sont actuellement rendues aux familles pour enfouissement sans contrôle. Un texte est actuellement en passe d'être signé pour que ces pièces anatomiques soient désormais soumises à un contrôle avant L'inhumation.

Le décret de mai 2007 concernant la réorganisation des structures de soins devrait contribuer in fine à une meilleure prise en charge de la filière DASRI. Ce décret devrait permettre de recenser et de hiérarchiser les structures de soins (hôpitaux, cliniques, polycliniques, centres de soin...) et rationaliser les soins.

En 2007, le MSP RH a recensé 200 hôpitaux et 900 centres de soin ou polycliniques.

B. Stock De Produits Pharmaceutiques Périmés :

Le stock de produits pharmaceutiques périmés est estimé être de 12 à 15.000 tonnes pour une production annuelle estimée quant à elle à 1.500 tonnes/ an. Un inventaire par type de médicament et de molécule a récemment été réalisé par la société EPE 3R Santé, en charge du traitement des déchets médicamenteux.

Aujourd'hui, la démarche de traitement est au point mort, les autorités algériennes étant en phase de réflexion quant à la méthode de destruction à utiliser.

Un appel d'offre a été lancé en Avril 2007 pour traiter 12000 tonnes/ an. C'était le 3ème appel d'offre de ce genre, les précédents ayant été classés sans suite à chaque fois.

C. Traitement Des Effluents Hospitaliers :

La plupart des stations de traitement dont étaient équipés les hôpitaux ont arrêté de fonctionner depuis plusieurs années déjà. Elles n'ont d'ailleurs, pour la plupart, jamais fonctionné de manière optimale. A ce jour, toutes les eaux hospitalières de la bande littorale sont rejetées sans aucun traitement et les hôpitaux n'ont toujours pas l'obligation de pré traiter ou traiter les effluents hospitaliers.

A titre d'exemple, on peut citer l'hôpital Mustapha (1800 lits), l'un des plus importants d'Algérie, spécialisé dans les traitements anti-cancéreux dont les déchets liquides sont directement rejetés sur les plages de Bab-El-Oued, ou dans les nappes phréatiques.

I.4.3. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics:

I.4.3.1. Pneus usagés et déchets plastiques :

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction

Des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays. En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie. [31]

I.4.3.2. Déchets de la construction/démolition :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les

réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton. Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [32].

III. Conclusion :

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition « matière » et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicités pour le traiter. Cette matière n'est pas banale. Elle a 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. Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement. L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de marbre et pour l'utiliser en tant que granulats pour béton, il faut respecter certains critères qui seront exposés au chapitre suivant.

Chapitre II

Revue générale sur la durabilité du béton

Revue générale sur la durabilité du béton

II.1. Introduction

La durabilité est dans la plupart des cas liée à l'aptitude du matériau à résister à la pénétration d'agents agressifs. De plus, tout mécanisme de dégradation, même interne au béton, fait intervenir un processus de transport au moins d'eau, et éventuellement d'ions ou de gaz. [12]

Dans ce chapitre on discute sur les paramètres indicateurs de la durabilité du béton, principalement la porosité et la perméabilité à l'eau.

II.2. Durabilité :

Le béton, par sa nature, est un matériau relativement durable. Il est aujourd'hui le matériau le plus utilisé dans le domaine des travaux publics. Sa durabilité, définie par son aptitude à résister vis-à-vis des mécanismes divers susceptibles de le dégrader, représente un objectif de qualité primordial en génie civil. [34]

La durabilité désigne l'aptitude à conserver au cours du temps un niveau de performance suffisant. La durabilité sous-entend donc un objectif de qualité, orientant aussi bien la conception de l'ouvrage que celle du matériau et sa mise en œuvre.

La durabilité directement liée à l'environnement immédiat ou futur des ouvrages et partie d'ouvrage est aujourd'hui le paramètre important à considérer pour optimiser la résistance des bétons aux influences externes : intempéries, agressivité des sols, atmosphères chimiquement agressives. La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés, la qualité des dispositions constructives, de la réalisation de l'ouvrage et de la mise en œuvre des produits ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance. [35]

Pour la construction d'une structure, seules les exigences de résistance et de comportement en service étaient prises en compte. Un béton performant ayant en principe un dosage correct en ciment et une bonne compacité, ces deux prescriptions pouvaient effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton. [35]

Pour s'assurer expérimentalement de sa durabilité, il faut vérifier comment il résiste vis-à-vis de certain nombre de mécanismes susceptibles de le dégrader tels que l'alcali-réaction, la corrosion des armatures, l'attaque sulfatique, ... [34]

II.2. Les structures poreuses des bétons :

La durabilité du béton est ainsi intimement liée à ses capacités d'échanges avec le milieu l'extérieur qui sont conditionnées par la nature des phases en présence mais aussi par les caractéristiques de sa structure poreuse. [36]

Le béton est un matériau polyphasique. Il est composé d'une phase solide, d'une phase liquide et d'une phase gazeuse. Le solide est constitué des granulats, des hydrates et des parties du liant non hydratées. La phase liquide est la solution interstitielle et la phase gazeuse est un mélange d'air et de vapeur d'eau.

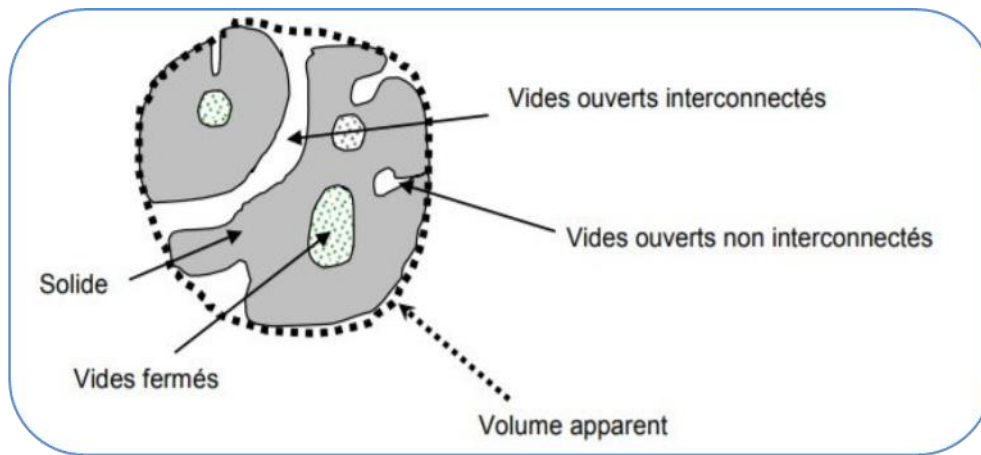


Figure II-1 : description schématique d'un Matériau poreux [36]

Le béton étant un matériau composite associant une phase granulaire et une phase liante, sa structure poreuse dépend de l'arrangement granulaire et de la structuration de la phase liante. Concevoir un béton durable consistera donc à optimiser le squelette granulaire et à rechercher une phase liante dense. [36]

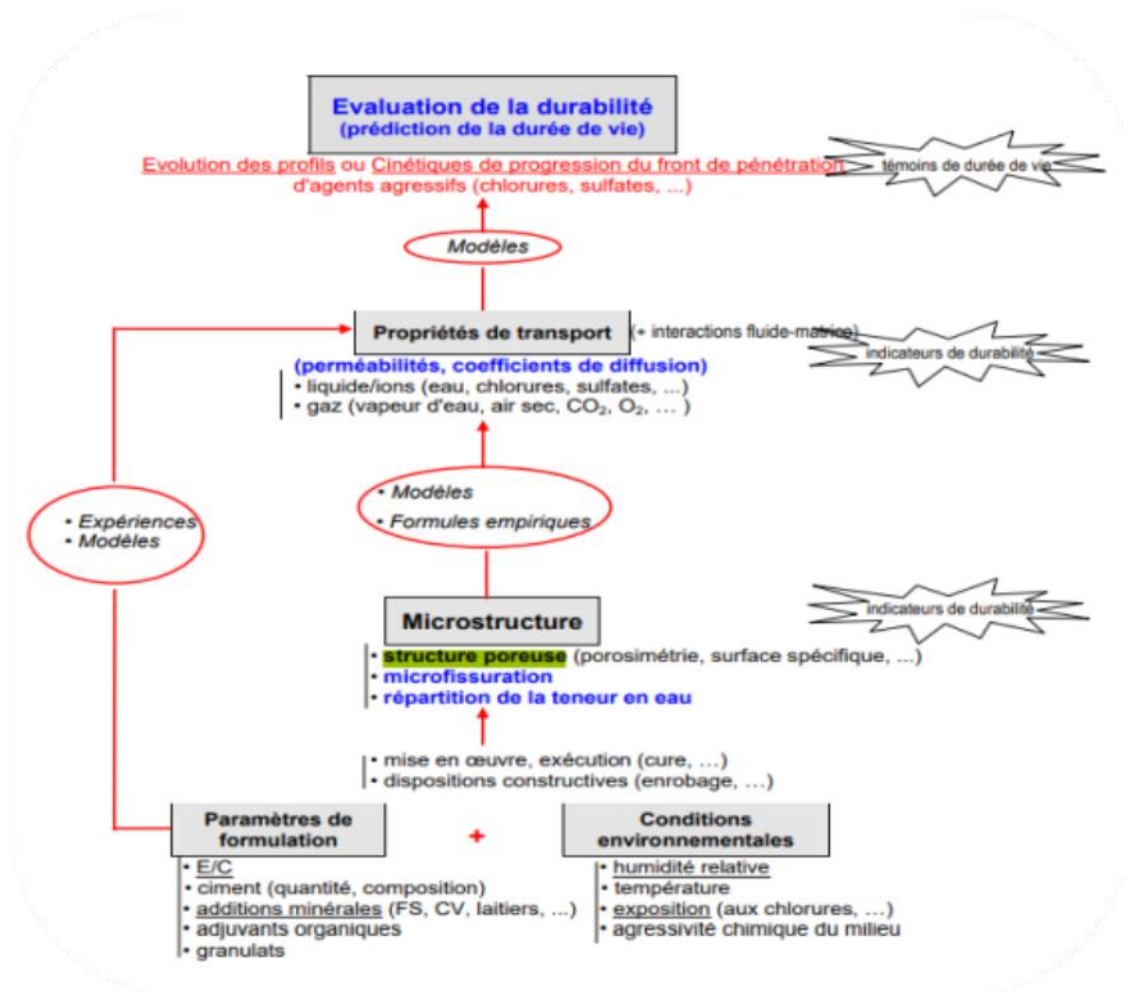


Figure II-2 : Démarche scientifique adoptée pour l'évaluation de la durabilité associée aux processus de transport

II.3. Les indicateurs de durabilité :

Il s'agit de paramètres relatifs au matériau constitutif, (béton), qui apparaissent comme fondamentaux pour l'évaluation et la prédiction de la durabilité du matériau et de la structure vis-à-vis d'un ou de plusieurs processus de dégradation. Ils interviennent par exemple dans les équations régissant les phénomènes et figurent parmi les données d'entrée des modèles de prédiction de la durée de vie. Cette première condition permet d'assurer leur pertinence théorique. Une seconde condition doit en outre être vérifiée : ces paramètres doivent être facilement quantifiables à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur éprouvettes ou sur prélèvements, selon des modes opératoires bien définis et validés. Les méthodes d'essai doivent de plus présenter une reproductibilité, une précision, une simplicité et une rapidité adéquates. [37]

Deux catégories d'indicateurs de durabilité peuvent être définies :

- **les indicateurs de durabilité spécifiques** à un processus de dégradation donné (par exemple l'alcali-réaction.)
- **les indicateurs de durabilité généraux** (valables pour les différentes dégradations envisagées),

II.3.1. Les indicateurs de durabilité spécifiques :

Pour avoir une bonne estimation de la durabilité des ouvrages, il peut s'avérer nécessaire de compléter le panel d'indicateurs généraux par des indicateurs spécifiques [AFGC, 2004]. Selon la classe d'exposition des ouvrages (la pénétration de chlorures XS, la carbonatation des bétons XC, les attaques sulfatiques XA), un indicateur de durabilité spécifique est défini. Dans la plupart des cas, il s'agit d'un essai de dégradation accélérée. Par exemple, pour le cas de la prévention des dégradations dues à la carbonatation, un essai de carbonatation accélérée permet de mesurer une profondeur de carbonatation. [38]

II.3.1.1 Indicateurs de durabilité spécifique à l'alcali-réaction :

Les indicateurs de durabilité généraux sont complétés le plus souvent par des indicateurs spécifiques au processus de dégradation auquel l'ouvrage sera exposé. Dans le cas de la prévention des dégradations dues à l'alcali-réaction, les indicateurs spécifiques retenus peuvent être classés en deux catégories qui sont les suivants:

- ❖ Indicateurs chimiques (relatifs aux constituants du béton) spécifiques à l'alcali réaction tels que la quantité de silice libérée par les granulats en fonction du temps (cinétique) et la concentration en alcalins équivalents ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{éq.}}$) actifs de la solution interstitielle ;
- ❖ Indicateur global et macroscopique (relatif au béton durci) spécifique à l'alcali réaction tels que la déformation de gonflement d'éprouvettes en béton ("essai de performance" d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction, faisant l'objet de la norme NF P 18-454).

II.3.2. Les indicateurs de durabilité généraux :

Les indicateurs de durabilité généraux, c'est-à-dire dans le cas du présent guide, les paramètres qui apparaissent fondamentaux, aussi bien vis-à-vis de la prévention de la corrosion des armatures que de l'alcali-réaction. [39]

Les indicateurs généraux utilisés dans ce chapitre sont des paramètres qui permettent d'évaluer la durabilité des bétons. Comme un béton d'enrobage fournit une barrière physique et une protection chimique (due à son alcalinité) aux armatures, les indicateurs de durabilité généraux sont destinés à évaluer ces barrières. Des essais de **perméabilité à l'eau**, de **perméabilité aux gaz**, **porosité accessible à l'eau**, **d'absorption d'eau par capillarité**, et de diffusion des ions chlorure caractérisent la barrière physique, tandis que la mesure de **la teneur en Portlandite** permet de quantifier la barrière chimique [38]

II.3.2.1. La Perméabilité aux gaz :

La perméabilité aux gaz est un indicateur de durabilité général majeur qui évalue la capacité du matériau vis-à-vis de la pénétration d'agents agressifs. [38]

La perméabilité au gaz constitue une propriété importante en ce qui concerne les matériaux cimentaires. Par exemple, dans le cas des réservoirs de gaz naturel ou dans les enceintes de confinement des centrales nucléaires. Les essais de perméabilité au gaz sont utilisés pour caractériser la perméabilité des matériaux réactifs avec l'eau (béton) ou dans le cas des bétons très faiblement perméables (béton à hautes performances) [40]

Pour un gaz qui pénètre dans un échantillon de béton de longueur L sous une pression P_1 à l'entrée, et qui s'échappe sous une pression P_2 à la sortie avec $P_2 < P_1$. Le flux de gaz Q est régi par l'équation de Darcy en y ajoutant un terme qui tient compte de la compressibilité des gaz. [40]

Dans le cas du déplacement du gaz dans le béton, on doit faire une distinction entre le cas où le gaz se déplace sous l'effet d'une pression différentielle. On parle alors de la perméabilité.

Le deuxième cas concerne la situation où la pression est la température, dans ce cas les gaz se déplacent à travers le béton par diffusion. [40]

Théoriquement, le coefficient de perméabilité intrinsèque d'un béton doit être le même dans les deux cas, il est indépendamment du fait qu'on utilise un liquide ou un gaz pendant l'essai. Mais, les coefficients de perméabilité au gaz sont plus élevés que celles obtenues en utilisant l'eau en raison d'un phénomène de glissement du gaz par rapport à l'eau. [40]

La perméabilité à l'air (gaz) du béton est fortement influencée par son degré d'humidité ;

C'est pour cette raison que l'état de l'échantillon doit être défini avant les tests. L'humidité du béton constitue un paramètre important de la mesure, car la solution interstitielle contenue dans les pores s'oppose au passage du gaz. Ainsi, le débit mesuré c'est-à-dire la perméabilité calculée dépend de l'état de saturation du béton. [40]

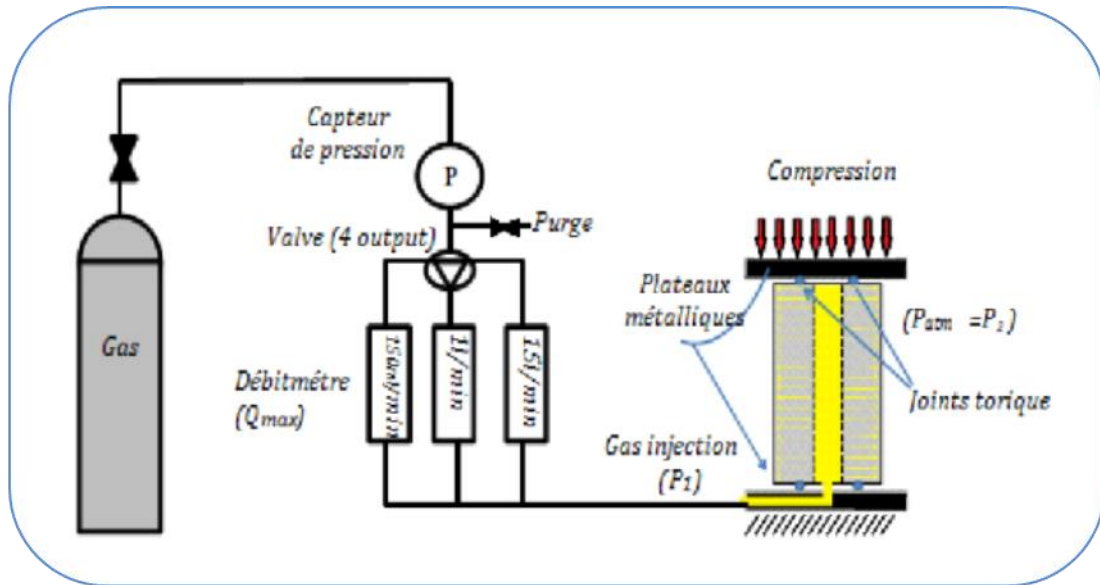


Figure II-3 : la perméabilité aux gaz

II.3.2.2. Mesure de la perméabilité aux gaz :

II.3.2.3. Méthode de mesure disponible :

La perméabilité aux gaz des bétons durcis peut être mesurée en laboratoire (sur éprouvettes ou sur prélèvements issus d'ouvrages) après un séchage préalable en appliquant soit une charge constante, c'est-à-dire un gradient de pression constant (appareillage CEMBUREAU), soit une charge variable. La mesure au perméamètre à charge constante a fait l'objet de recommandations de la part de l'AFPC-AFREM, sous l'intitulé « Essai de perméabilité aux gaz du béton durci ». C'est donc cet essai qui sera décrit ici. [37]



Figure II-4 : Mesure de la perméabilité au gaz k selon la méthode CEMBUREAU [37]

II.3.2.4. Mesure au perméamètre à charge constante (CEMBUREAU) :

L'essai consiste à soumettre l'éprouvette en béton à un gradient de pression constant de gaz. La perméabilité (en m^2) est alors déterminée à partir de la mesure du flux (débit massique) de gaz traversant l'éprouvette en régime permanent, en appliquant la loi de Darcy. Le résultat direct de la mesure est une perméabilité apparente, car il dépend de la nature du fluide et de la pression appliquée. Le gaz le plus couramment utilisé pour la mesure est l'oxygène, mais l'essai peut également être pratiqué avec tout autre gaz inerte vis-à-vis du béton tel que l'azote ou l'air sec (suivant l'alimentation en gaz choisie au niveau du dispositif expérimental).

Le mode opératoire recommandé par l'AFPC-AFREM préconise de réaliser l'essai à une surpression P relative = 0,1 MPa.

Toutefois, si l'on souhaite déterminer la perméabilité intrinsèque du matériau, c'est-à-dire une perméabilité indépendante de la pression du gaz, il est nécessaire de réaliser des mesures à différentes pressions, afin de pouvoir effectuer le calcul. L'appareil CEMBUREAU permet de réaliser des essais à une P relative comprise entre 0,1 et 0,5 MPa. On peut par ailleurs accéder directement à la perméabilité intrinsèque par une technique différente de l'appareil CEMBUREAU, la technique d'impulsion de pression, y compris pour des matériaux faiblement perméables.

Avec l'appareil CEMBUREAU, il est possible de déterminer la perméabilité aux gaz sur une large gamme de bétons allant des matériaux très poreux de résistance moyenne 20-25 MPa

($K_{\text{gaz}} \approx 10\text{--}15 \text{ m}^2$), jusqu'aux bétons à très hautes performances contenant des fumées de silice, de résistance moyenne 120 MPa ($K_{\text{gaz}} \approx 10\text{--}19 \text{ m}^2$). Il est donc envisageable de comparer et de classer des formules de béton très différentes sur la base de ces mesures.

II.3.2.5. Pré-conditionnement des éprouvettes

Préalablement à la mesure de la perméabilité aux gaz par l'appareil CEMBUREAU, il est nécessaire d'une part, de sécher au moins partiellement l'éprouvette destinée à la mesure afin que le gaz puisse percoler à travers cette éprouvette et, d'autre part, de connaître le taux de saturation en eau moyen, ou mieux, la répartition de la teneur en eau, de l'éprouvette, correspondant à la perméabilité mesurée. Il est possible de sécher les échantillons sous vide, par lyophilisation, ou encore par étuvage. [37]

II.3.3. Perméabilité à l'eau :

La perméabilité du béton est sa capacité d'être traversé par des fluides sous un gradient de pression. Les fissures interconnectées provoquent une augmentation de la perméabilité en facilitant la pénétration d'agent agressif. Ainsi, la durabilité du béton dépend largement de la facilité avec laquelle les fluides, à la fois liquide et gaz, peuvent pénétrer et se déplacer à l'intérieur du béton. [40]

La perméabilité est une propriété macroscopique pour les matériaux contenant des pores interconnectés. Le débit qui traverse le béton résulte des écoulements à travers les pores du matériau. Les bétons durables sont, en général, des bétons de faible perméabilité dans la mesure où cette faible perméabilité limite la pénétration des agents agressifs au sein du béton. [40]

Le coefficient de perméabilité d'un matériau K est défini par la relation de Darcy. Cette relation exprime le débit volumique Q du liquide de viscosité μ traversant une épaisseur dx du matériau de section A sous un gradient de pression dp . Cette relation suppose un régime d'écoulement permanent dans les pores du matériau. [40]

II.3.3.1. Perméabilité à l'eau du béton :

Il n'existe pas de procédure standardisée pour mesurer la perméabilité à l'eau du béton. Chaque laboratoire possède sa propre procédure en utilisant des appareils différents. Malgré tout, presque toutes les procédures sont basées sur le même principe qui consiste à appliquer une pression hydraulique à une extrémité d'un échantillon cylindrique et à mesurer le débit de percolation en régime permanent.

À partir du débit de percolation et des dimensions de l'échantillon, on peut déterminer le coefficient de perméabilité (K) selon la loi de DARCY. [40]

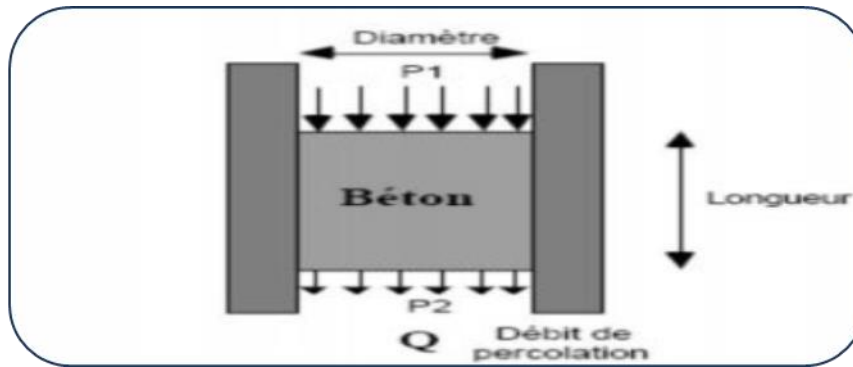


Figure II-5 : Principe de fonctionnement des appareils de mesure de la perméabilité à l'eau [40]

II.3.3.2. Mesure directe dans le cas des bétons perméables :

Dans le cas des bétons perméables et très perméables, la perméabilité à l'eau liquide peut être déterminée expérimentalement à partir d'un essai de perméabilité de l'eau sous pression. La mesure consiste à saturer en eau une éprouvette, à appliquer une pression d'eau progressivement croissante par paliers sur l'une de ses faces et à mesurer la quantité d'eau ayant traversé l'éprouvette (lorsque le flux est constant) en fonction de la valeur et de la durée des différents paliers. On notera que différents dispositifs expérimentaux existent et qu'aucun mode opératoire recommandé par l'ensemble de la communauté scientifique n'a pour l'instant été publié. On peut toutefois se baser pour réaliser l'essai sur des modalités proches de celles définies par la norme NF P 18-855 relative aux produits spéciaux pour constructions en béton. [37]

II.3.3.3. Méthodes applicables dans le cas des bétons faiblement perméables :

Dans le cas des bétons faiblement et très faiblement perméables (bétons ordinaires de bonne qualité et bétons à hautes et à très hautes performances), la mesure directe de la perméabilité à l'eau liquide avec un perméamètre courant, telle que décrite précédemment, est délicate et difficile à effectuer. En effet, tout d'abord la saturation préalable de l'éprouvette peut s'avérer difficile et une forte pression d'eau liquide est nécessaire pour obtenir des débits mesurables. De plus, pour les bétons très compacts, la valeur escomptée pour la perméabilité à l'eau liquide peut être inférieure à 10^{-21} m². Or les perméamètres courants permettent d'exercer des différences de pression allant seulement jusqu'à 10 MPa. De ce fait, pour un ordre de grandeur de 10^{-21} m² de la perméabilité, une épaisseur d'éprouvette de l'ordre de 5 cm et une saturation complète, la loi de Darcy prévoit une vitesse de filtration de l'ordre du cm/an.

- **Appareil de mesure de la perméabilité à l'eau du béton**

La littérature propose plusieurs types de perméamètres, tout valables selon les auteurs, mais chacun possédant leur propre mode de fonctionnement et leurs propres limites et utilise une forme d'échantillon spéciale. [40]

Selon les études de Jensen en 1988, il existe trois principaux modes permettant de mesurer la perméabilité à l'eau des bétons :

- La mesure de l'écoulement à travers un béton saturé
- La mesure de la pénétration d'eau dans le béton
- L'étude de la chute d'une pression appliquée sur une éprouvette de béton.

II.3.3.4. Appareillages existant au niveau du laboratoire développement des Géo matériaux - l'université de M'Sila- (Algérie)

Le laboratoire du développement des Géo matériaux de l'Université de M'Sila dispose de deux appareils permettant de réaliser les essais de perméabilité à l'eau du béton. Dans ces appareils, l'eau s'écoule sous pression constante à travers des échantillons de béton et le coefficient de perméabilité est déterminé en appliquant la loi de Darcy. [40]

1- Perméamètre à trois (3) cellules :

Cet appareil permet de porter trois éprouvettes. Les trois cellules en verre de capacité 1l d'eau chacune, permettent la lecture du débit d'eau écoulé. La fixation des éprouvettes est assurée par serrage de boulons sur le dispositif de maintien des échantillons.



Figure II-6 : Perméabilimètre à trois cellules (Laboratoire du développement des Géo matériaux – université de Msila)

2- Perméamètre à six (6) cellules :

Le dispositif d'essai ci-dessous permet de porter six échantillons de béton à la fois. La lecture du débit d'eau écoulé pour chaque éprouvette est assurée sur des cellules (six cellules) en verre de 1.5 l d'eau de capacité chacune. Le maintien des éprouvettes est assuré par un système de serrage manuel.

Les éprouvettes qui peuvent être utilisés sont des cylindres de diamètre 160 mm et de hauteur variable. La technique expérimentale est basée sur l'écoulement de l'eau, c'est-à-dire l'eau traverse l'éprouvette en béton sous l'effet d'une pression appliquée. [40]

Les composants de l'appareil sont :

- * Six emplacements pour la mise en place des éprouvettes avec un système de fixation.
- * Des joints en silicone en haut et en bas.
- * Un régulateur de pression.
- * Six cellules graduées de capacité 1500 ml pour la mise en place de l'eau et la lecture du débit d'eau écoulée.
- * Compresseur d'air automatique de capacité de 10 bars.
- * Perméabilimètre permettant les tests de six éprouvettes



Figure II-7 : perméabiliserai permettant les tests de six éprouvettes

II.3..5. Absorption

L'absorption est le résultat des mouvements capillaires des fluides dans les fissures du matériau ouvert sur le milieu extérieur. Il en résulte que l'absorption ne peut se produire que sur un matériau partiellement sec. [41]

L'absorption se mesure habituellement en séchant une éprouvette de béton jusqu'à masse constante, en l'immergeant ensuite dans l'eau et en mesurant ensuite l'augmentation de la masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. La norme ASTM C 642-90 utilisé sur petits fragments de béton, prescrit un séchage à une température de 100 à 110 °C et une immersion en eau à 21°C pendant au moins 48 heures. Pour les éprouvettes de béton, l'essai le plus utilisé consiste à un séchage à 105 °C pendant 72 heures et immersion dans l'eau pendant 24 heures. [41]

II.3.4. La porosité :

La porosité est le premier facteur qui apparaît comme fondamental dans la caractérisation des bétons. Il est importante de limiter la porosité car elle affecte la durabilité des ouvrages et peut conduire à une perte de capacité structurale en influençant la résistance en compression et d'autres propriétés du béton. [38]

La résistance à la compression du béton dépend grandement du volume des vides qu'il comporte. La porosité définie comme étant le volume total de l'ensemble des vides exprimé en pourcentage du volume global de la pâte de ciment hydraté. Elle est l'un des facteurs principaux influents la résistance à la compression de la pâte de ciment [41]. La figure I.23 représente une relation linéaire entre la résistance et la porosité pour des valeurs de porosité de 5 à 28 %. Les vides pris en compte sont supérieurs à ceux des vides de gel (diamètre supérieur à 20 nm). L'effet des vides de diamètre inférieur à 20 nm est négligeable. D'après cette figure, on peut voir qu'une diminution des pores entraîne une augmentation de la résistance. [40]

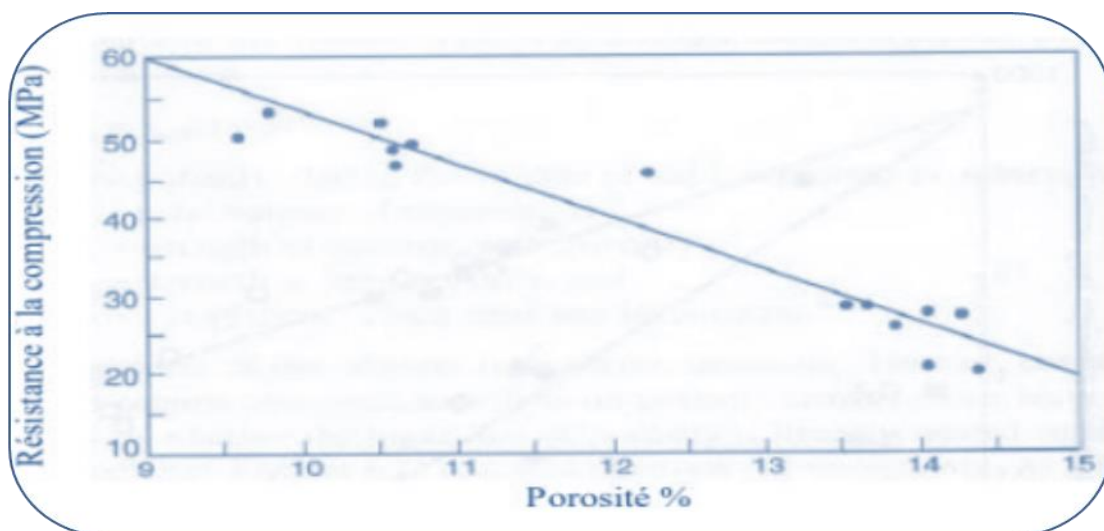


Figure II-8 : Relation entre la résistance à la compression et la porosité

La porosité volumique totale ϕ d'un matériau est définie par :

Où

VT : volume total d'un échantillon de matériau,

VP : volume poreux de l'échantillon,

Vs : volume solide de l'échantillon

La porosité diminue au cours du temps avec la progression de l'hydratation du ciment. Les paramètres de transfert comme la diffusivité ou la perméabilité dépendent largement de la porosité. Cependant, deux bétons peuvent avoir, pour une même porosité, des diffusivités ou des perméabilités différentes. En effet, la proportion volumique des vides dans un matériau n'est pas un critère suffisant pour caractériser les propriétés de transfert des bétons. Deux autres paramètres sont à considérer : **[38]**

- ✚ La distribution de la taille des pores,
- ✚ La connectivité et la tortuosité des réseaux poreux.

D'une manière générale, tous les phénomènes de transfert dépendent de la taille des pores. L'ensemble des pores est constitué:

- ✚ Des pores capillaires : ($0,01 \mu\text{m} < \phi \text{ pore} < 5,00 \mu\text{m}$) vestiges des espaces intergranulaires de la pâte fraîche. Ils sont directement liés au rapport E/C et à l'hydratation.
- ✚ Les pores des hydrates désignent les espaces inter-feuillets ou les pores de gel : ($\phi \text{ pore} < 40 \text{ \AA}$) qui sont associés à la formation des hydrates et qui, au contraire de la famille précédente, dépendent faiblement du rapport E/C.

Les propriétés de transfert des matériaux ne dépendent pas que de la valeur de la porosité globale et de la taille de pores, mais, ils dépendent aussi de la connectivité et de la tortuosité des pores. Distingue trois catégories de familles de pores en caractérisant l'interconnexion du réseau : **[38]**

- ✚ Les pores interconnectés qui forment un espace continu dans le milieu poreux et qui ont un impact majeur sur les propriétés de transport du matériau,
- ✚ Les pores isolés (ou occlus) qui constituent la porosité fermée et ne communiquent pas avec le milieu ou extérieur,
- ✚ Les pores aveugles (ou bras morts) et qui sont connectés uniquement par une voie accessible à un fluide extérieur et qui ne participent pas au transport. **[38]**

Conclusion :

Les structures et ouvrages en béton armé sont soumis, dès leur plus jeune âge, à des contraintes d'ordre mécanique ou environnementales. Leur comportement vis-à-vis de la durabilité est essentiellement lié au comportement particulier du matériau béton. En effet, celui-ci réagit sans cesse avec l'environnement.

La durée de vie est alors devenue à la fois une exigence et un souci, il convient de l'assurer par une conception et une mise en œuvre adéquates, de la quantifier, de la restaurer ou de la prolonger. Les maîtres d'ouvrages ont donc le souci de connaître l'état du patrimoine existant afin de s'assurer de sa stabilité dans le temps, tout en étudiant les désordres qui peuvent survenir essentiellement des phénomènes de corrosion des armatures afin de mieux maintenir, diagnostiquer et réparer ces désordres. [39]

Chapitre III :

Caractéristiques Des Matériaux Utilisent

Caractéristique des matériaux utilisés

III.1. INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats fins recyclés (sable) et des granulats ordinaires entrant dans la composition des bétons.

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de brique concassée (fin) comme granulats dans le béton en substitution massique de sable, avec des taux de substitution de (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

Les points précédents doivent être donc clarifiés avant de présenter les résultats obtenus. Pour cela, ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons, et durci.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et les essais durabilité des bétons sont réalisés dans le Laboratoire pédagogique de Université Mohamed Boudiaf - M'sila tandis que la caractérisation mécanique des matériaux ainsi les essais mécaniques sur bétons sont effectués dans le Laboratoire de recherche en matériaux de génie civil de l'université de - M'sila.

III.2. les matériaux utilisés

- * Un sable (0/5)
- * Un gravier (3/8)
- * Un gravier (8/15)
- * Le ciment : ciment portland NA 442/2013.GICA
- * Eau de gâchage : c'est l'eau potable du laboratoire de génie civil (Msila)
- * Les adjuvantes : Le Superplastifiant (MEDAFLOW 30).
- * Granulats recyclé (SDBR) 0/5
- * Fumée de silice

III.3.Essais sur les granulats

III.3.1Analyse Granulométrique :

La connaissance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.

A. Principe de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 16 mm et 0,063 mm.

B. Mode opératoire :

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond.
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.
- Agiter automatique cette colonne.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.
- Nous prenons le poids de chaque tamis à l'aide d'une balance électronique.
- Varier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisas et de la masse initiale.

C. Les résultats des analyses granulométriques

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés sur les (**Tableau 3.1**), (**Tableau 3.2**) et (**Tableau 3.3**) les courbes granulométriques sont représentées en (**Figure3.1**), (**Figure 3. 2**) et (**Figure 3.3**).

Tableau III. 1 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide	Poids des Tamis +gravier	Refus du gravier	Refus cumules	Refus Cumules%	Tamisat Cumules%
16	849	977.2	128.5	128.5	4.01	95.99
12.5	816	1590.8	774.8	903.2	28.22	71.78
10	875.6	1931.5	1055.9	1959	61.21	38.79
8	788.3	1795.7	1007.4	2966.4	92.7	7.3
6.3	803.6	1015.4	211.8	3178.1	99.31	0.69
5	404.3	816.2	11.9	3190.1	99.69	0.31
4	780.8	783.3	2.5	3192.6	99.76	0.24
2.5	700.2	702.6	2.4	3195	99.84	0.16
Fond	600.3	605	4.9	3200	100	0

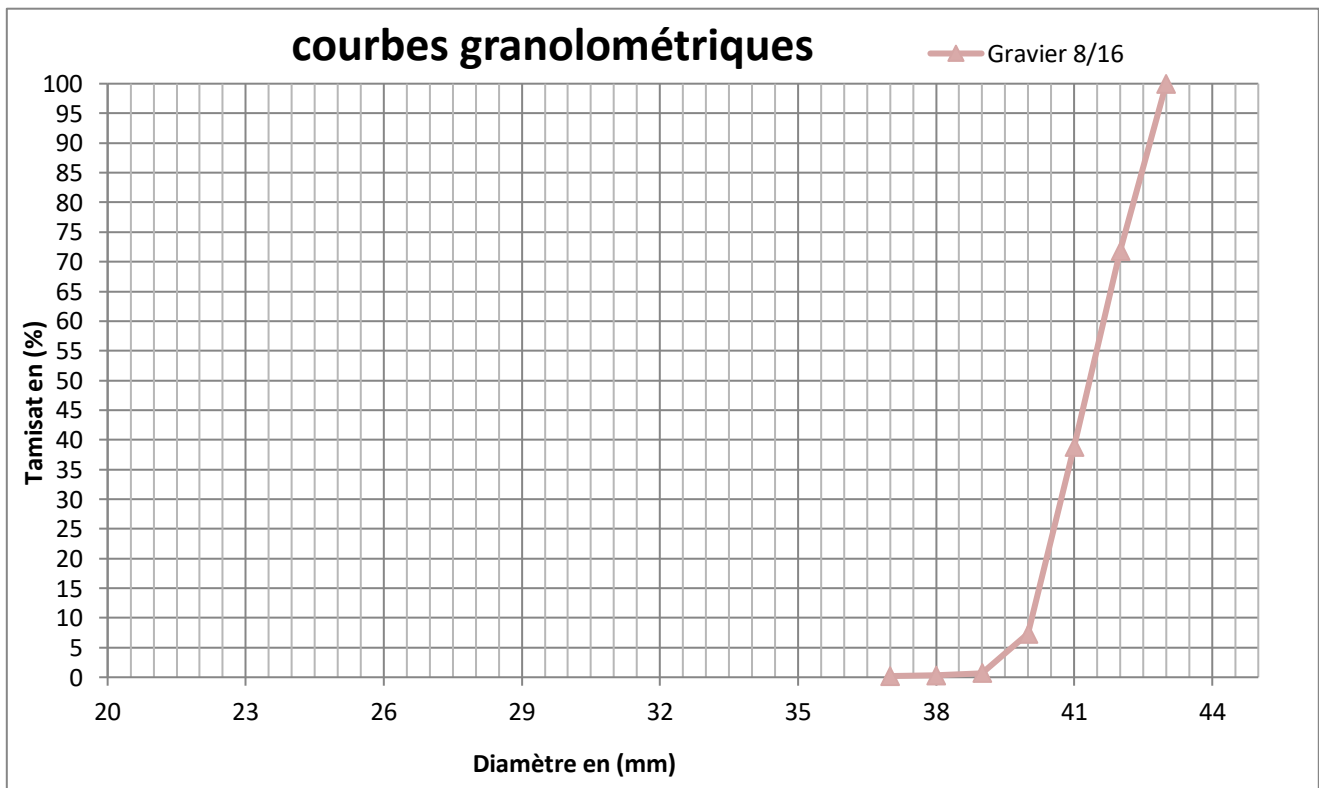


Figure III. 1 Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé



Figure III .2.Analyse granulométrique

Tableau III. 2 l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide	Poids des Tamis +gravier	Refus du gravier	Refus cumules	Refus Cumules%	Tamisat Cumules%
8	788.3	810.1	21.8	21.8	1.36	98.64
6.3	803.5	1039.6	236.2	258	16.12	83.88
5	802.5	1147.2	344.9	602.9	37.68	62.32
4	780.7	1084.9	304.4	907.3	56.70	43.3
2.5	699.1	1192.9	493.8	1401.1	87.56	12.44
1.21	646.8	770.4	123.6	1524.7	95.29	4.71
fond	600.2	675.3	75.3	1600	100	0

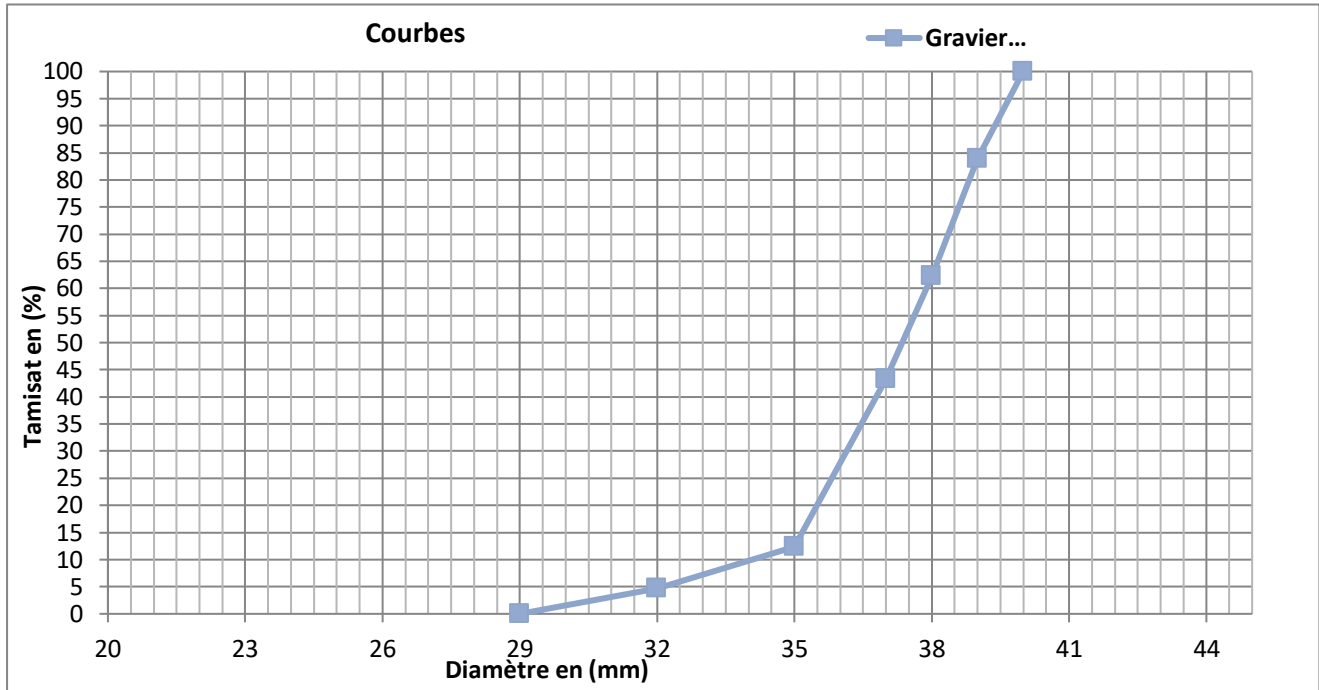


Figure III .3. Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé

III.3.2. Masse volumique apparente :

A. Gravier de fraction 3/8 et 8/16:

a. But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des graviers pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b : Mode opératoire de l'essai:

1. Déterminer le volume du récipient = **V**.
2. Noter la masse du récipient propre et vide = **M0**.
3. Placer le récipient dans le bac en plastique.
4. Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.
5. Araser à l'aide de la règle métallique par un mouvement horizontal de va et vient.

6. Noter la masse du récipient rempli= **M1**.
7. Vider les granulats dans un autre bac en plastique
8. Renouveler l'opération au moins (3) fois avec un autre échantillon du même type.

La masse volumique absolue est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau III. 3 Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ app (kg/l)	ρ app moyen (kg/l)
3/8 v=7l	1	2.924	10.068	1.020	1,011
	2		9.978	1.007	
	3		9.980	1.008	
8/16 v=10l	1	3.496	14.596	1.110	1,104
	2		14.564	1.106	
	3		14.470	1.097	

III.3.3: Masses volumiques absolues:

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301 ; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

a. But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est Simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

b. Mode opératoire :

1. Placer l'éprouvette dans le bac en plastique.
2. Verser de l'eau dans l'éprouvette (presque demi-hauteur) et noter V1.
3. Préparer un échantillon de granulats secs de masse M (environ 400 g).
4. Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide d'un entonnoir et provoquer le départ des vides (air) en remuant le mélange avec la tige agitatrice.
5. Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V2.
6. Vider les granulats dans un bac en plastique et jeter son contenu.
7. Renouveler l'opération au minimum 3 fois. La masse volumique absolue est donnée par :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Gravier de fraction 3/8 et 8/16

Tableau III. 4. Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Essai	M1 (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	ρ_{abs} moyen (g/ml)		
3/8	1	400	400	550	2.66	2.60		
	2			560	2.50			
	3			550	2.66			
8/16	1			400	400	560	2.50	2.55
	2					550	2.66	
	3					560	2.50	

III.3.4. Absorption d'eau :

La **connaissance** du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001]. Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption Abs est ainsi définie par :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100$$

Mhumide - Msec désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion. Msec la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C.

Tableau III. 5. coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Essai	M1(g)	M2(ml)	Abs%	Abs% moyen
3/8	1	500	526	5.2	5.4
	2		528	5.6	
8/16	1	500	514	2.8	3.2
	2		518	3.6	

III.3.5. Porosités :

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influe sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité P pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

a. gravier de fraction 3/8 et 8/16

Tableau III. 6. La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Graviers	(P%)
3/8	61.11
8/16	56.70

III.3.6. La Compacité :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}$$

Tableau III. 7. compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	La compacité C (%)
3/8	38.88
8/16	43.29

III.3.7. Indice des vides :

$$I = \frac{P}{C}$$

Tableau III. 8. Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Indice de vide
3/8	1.57
8/16	1.30

III.3.8. Résistance à la fragmentation :

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec la charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min). Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm Coefficient de los Angeles « LA »

$$LA = \frac{m}{5000} * 100$$

Si LA<20 : le gravier très dur.

Si 20<LA< 30 : le gravier dur.

Si LA>30 : le gravier friable.

Tableau III. 9 los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé

Nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Number des boules	LA
<i>G. concassé</i>	3/8	5000	1205	7	24.4
	8/16		1041	11	22

Résultat : le gravier dur.

III.4. Sable concassé 0/5 :

III.4.1. Composition granulométrique

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravier. Mais différentes séries de tamis.

Tableau III. 10. l'analyse granulométrique d'un sable concassé 0/5

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide	Poids des Tamis +sable	Refuse du sable	Refuse cumulus	Refuse Cumulus %	Tamisat Cumulus %
5	802.3	808.6	6.8	6.8	0.68	99.32
2.5	699.1	824.7	125.6	132.4	13.24	86.76
1.25	646.8	951.8	305	437.4	43.74	56.26
0.63	607.3	805.4	198.3	635.7	63.57	36.43
0.315	558.5	736.4	177.9	813.6	81.36	18.64
0.16	533.7	645.6	11.9	925.5	92.55	7.45
fond	600.2	674.5	74.5	1000	1000	0

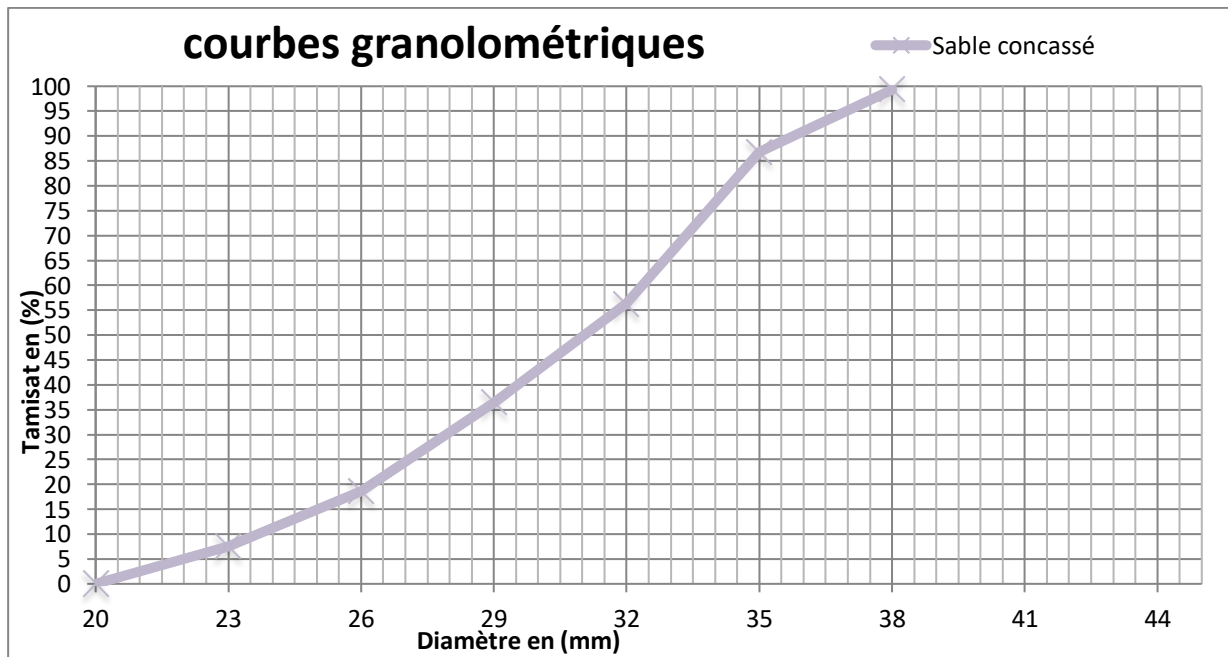


Figure III.4. L'analyse granulométrique d'un sable concassé 0/5

III.4.2. Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur **100** et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où :

RC : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit :

- Sable gros $M_f \geq 2.5$
- Sable moyen $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin $1 < M_f < 1.5$

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} = \mathbf{2.94} \text{ C'est un sable Gros}$$

III.4.3. Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

a. Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- Prendre une pesée de 120 g.
- Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.

- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cmde cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette,
- Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

b . Equivalent de sable visuel (ESV):

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du floculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.

- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

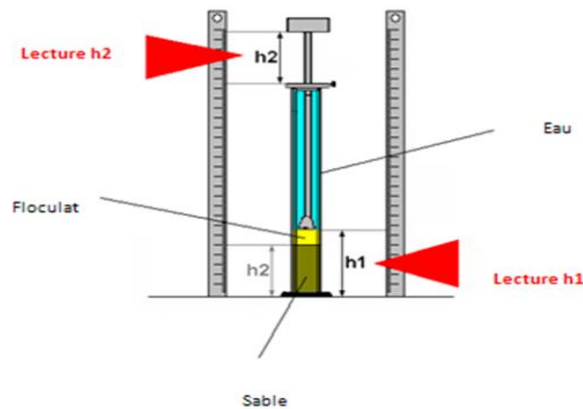


Figure III.5. Essais d'équivalent de sable

Où : $h_2 > h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

B / Equivalent de sable visuel (ESP):

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

- Introduire le réglelet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit partie sédimentée.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Où h_2 : La hauteur du sable ($h_2 > h_1$)

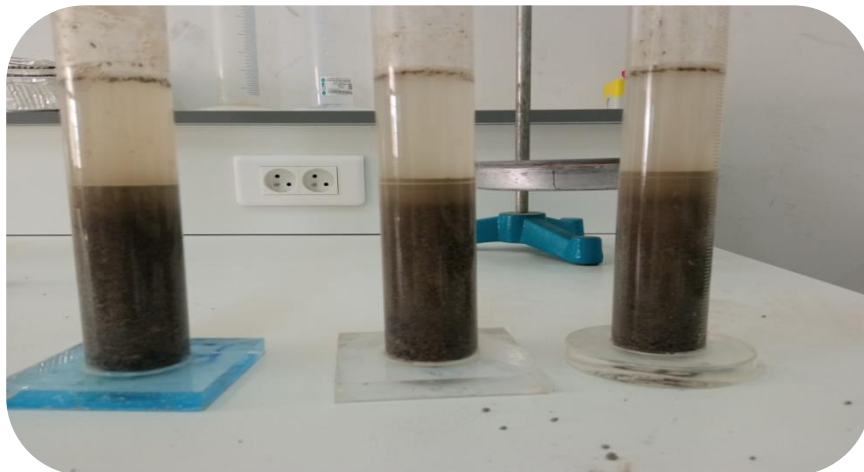


Figure III.6. Essais d'équivalent de sable

Tableau .III.11.Equivalent de sable Concassée 0.5

<i>N^o d'essais</i>	h₁ (cm)	h'₂ (cm)	ESV (%)	h₂ (cm)	ESP (%)
1	15.5	8.4	54.19	7.2	46.45
2	15.4	8.4	54.52	7.6	49.35
3	17.4	8.9	51.14	8.2	47.12

Donc : 54%. < ESV

60% < ESP

ESV) moy = 53,28 %

(ESP) moy = 47,64%



Figure III.7. Essais d'équivalent de sable

Tableau III. 12 Comparaison des résultats

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥85	E.S >80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Résultats : Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité

III.4.4.Masses volumiques apparentes :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

III.4.4 .1 : Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

III.4.4 .2 : Mode opératoire :

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pèse le récipient à l'aide d'une balance Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

La Masse volumique apparente est donnée par formule suivant :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau III.13.Masses volumiques apparentes de sable Concassée 0.5

N° d'essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moye (g/cm ³)
01	116	1488	1.524	1.508
02	116	1482	1.517	
03	116	1453	1.485	

Volume de récipient V=900cm³

III.4.5.Masses volumiques absolues :

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la Formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Tableau III .14. Masses volumiques absolues de sable Concassée 0.5 :

<i>N° d'essai</i>	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	$\rho_{abs} M$ (g/ml)
1	300	300	440	2.14	2.24
2	300	300	430	2.30	
3	300	300	430	2.30	

III.4.6.Porosités (NF P 18 554 et 18 555):

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) * 100$$

Tableau III.15. Porosités (%) du sable

Porosité P(%)
32.67%

III.4.7.Compacité :

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

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - P$$

Tableau III. 16 Compacité C(%) du sable

Compacité C(%)
67.33

III.4.8.Indice des vides :

$$I = \frac{P}{C}$$

Tableau III.17. Indice de vide des fractions sable Concassée 0.5

Fraction	Indice de vide
sable Concassée 0.5	0.485

III.5. Les ajouts

III.5.1. Sable de brique concassé 0/5

III.5.1.2. Composition Granulométrique

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravier. Mais différentes séries de tamis.

Tableau III.18. L'analyse granulométrique d'un sable de brique concassé

sable de brique concassé				
Tamis	Refus partiel	Refus cumulés		Tamisât
(mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
5	2	2	0	100
4	53.5	55.5	2.78	97.23
2.5	180.5	236	11.80	88.20
1.25	273	509	25.45	74.55
0.63	253.5	762.5	38.13	61.88
0.315	364.5	1127	56.35	43.65
0.16	597.5	1724.5	86.23	13.78
0	275.5	2000	100	0.00

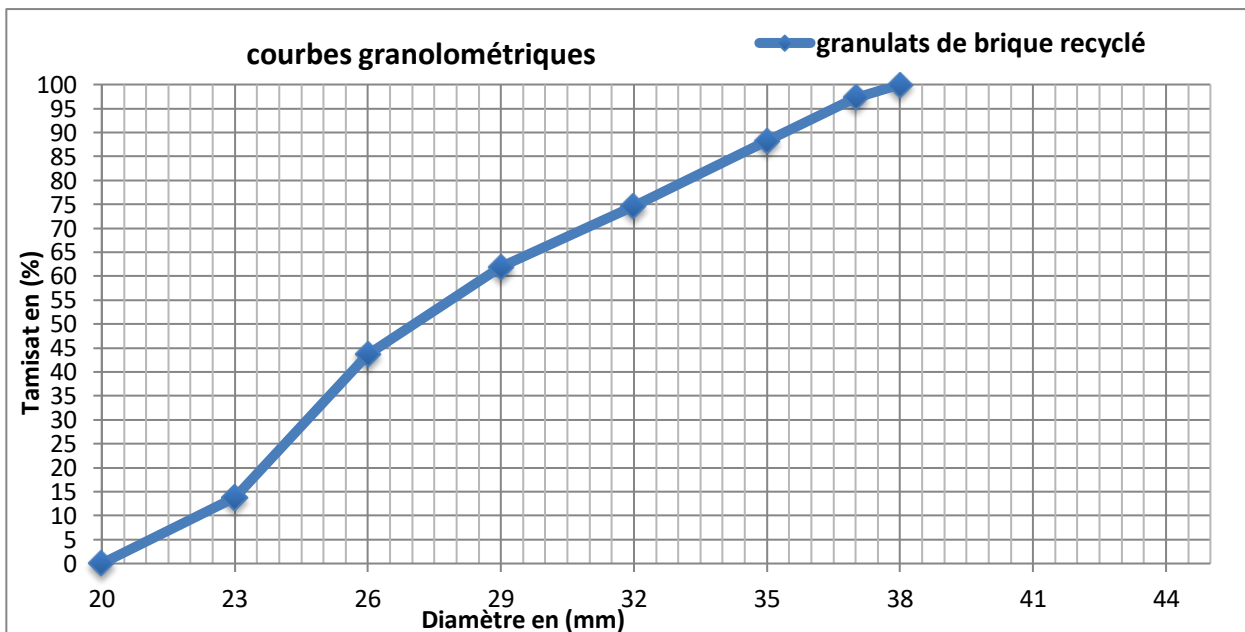


Figure III.8. L'analyse granulométrique d'une brique concassé

III.5.3. La Fumée de silice (FS)

Les substances minérales sont composées essentiellement de silice de couleur grise claire comme le ciment, que possède une propriété pouzzolanique, grâce à la structure fine de la fumée de silice (10 à 20 fois que le ciment) (Figure III.10.). Ce produit est commercialisé par l'entreprise GRANITEX (Alger-Algérie).



Figure III.9. : Poudre de la fumée de silice.

Tableau IV.19 : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
SiO ₂	85 – 95	Masse volumique absolue	2.2	g/cm ³
CaO	0.8 – 1.2			
MgO	1 – 2	Densité	250	kg/cm ³
Fe ₂ O ₃	0.05 – 1	Surface spécifique de Blaine	15000	m ² /kg
Al ₂ O ₃	1 – 3			
Pert au feu	0.5 – 1	Taille des particules	<1	µm

III.5.4. Le ciment : Ciment Portland CEM I 42,5 N Conforme à la Norme Algérienne NA 442 (EN 197-1) (Gica béton)

Domaine d'application :

- + Béton étanche.
- + Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- + Béton pompé.
- + Mortier.
- + Chapes.

Dosages :

Sauf pour composition spécifique Dosage moyen pour béton courant.

Conditionnement :

Sac et Vrac.

Caractéristiques techniques Analyses chimiques :

- + Teneur en sulfates (SO₃) < 2,5%
- + Teneur en Chlorures (Cl) < 0,1%
- + Teneur en (MgO) < 1%
- + Perte au feu (PAF): 0,5–1,5%



Composition minéralogique du clinker (Selon BOGUE) :

C3S > 60±3% C3A: 3 – 7,5 %

Propriétés physiques :

- + Consistance normale : 26 à 28%
- + Début de prise ≥ 60min
- + Fin de prise : 200 à 350min
- + Expansion < 5mm
- + Finesse (SSB): 3200-3800 (Cm²/g).

Résistance à la compression :

2 jours (EN 196-1) ≥ 10 Mpa

28 jours (EN 196-1) ≥ 42.5 Mpa

Consignes de sécurité :

- ✚ Mettre hors de portée des enfants
- ✚ N’inhalez pas la poussière
- ✚ Eviter tout contact avec la peau et les yeux.
- ✚ Utiliser des équipements adaptés : gants, chaussures de sécurité ;

III.6. L’eau de gâchage :

Généralement dans l'utilisation du béton ou du mortier, nous pouvons utiliser tous les types d'eau (l'eau de rivière, l'eau de barrage, l'eau potable etc...), mais certains peuvent contenir des impuretés, ce qui conduit à la détérioration des propriétés du béton ou du mortier, et pour cette raison nous avons recours à l'analyse de l'eau.

III.6.1 Caractéristiques chimiques de l’eau utilisée :

La composition chimique d’eau du laboratoire de département du génie civil est établie au laboratoire de département du chimie (M’sila). Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau.III.20. Caractéristiques Chimique de l’eau de gâchage

Constituents		Teneur en (%)
Elément	Symbole	
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	Al ₂ O ₃	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53

III.6.2. L'adjuvant :

Dans notre travail, l'adjuvant qui nous avons utilisé s'appelle : Le superplastifiant (MEDAFLOW 30).

III.6.3. Description

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Poly carboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

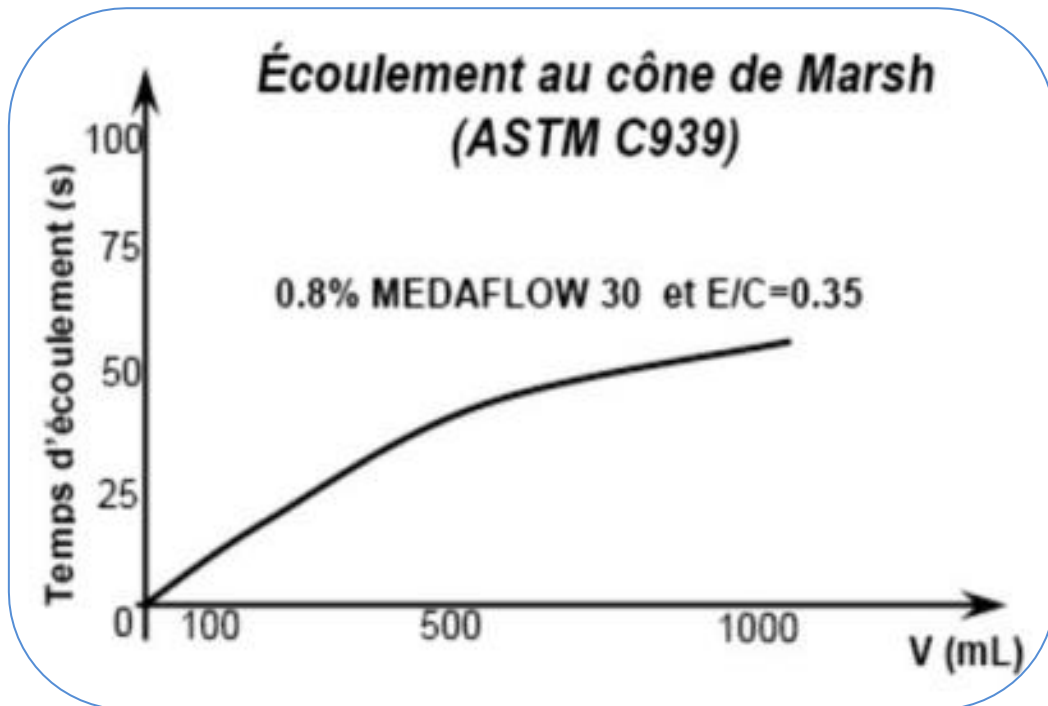


Figure III.10. Evolution de la résistance en compression

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- ✚ Obtention d'un rapport E/C très faible
- ✚ Amélioration considérable de la fluidité
- ✚ Une très bonne maniabilité
- ✚ Éviter la ségrégation
- ✚ Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés



Figure III.11. Le Super plastifiant (MEDAFLOW 30).

III.6.4 Caractéristiques :

Tableau.III.21. Caractéristiques de MEDAFLOW 30

Superplastifiant	MEDAFLOW 30
Forme	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	6 – 6,5
Densité	1,07 ± 0,01
Teneur en chlore(g/l)	< 0,1 g/l
Extrait sec(%)	30

III.7. La formulation des bétons :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de 1m³ de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique acceptée. Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et appliqué dans les différentes payes du monde, permis ces méthodes on peut citer :

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY
- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUX GORISSE
- Méthode des volumes absolus
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures)

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

Dans notre travail nous utiliserons la méthode pratique de DREUX –GORIS

III.7.1 Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :

C'est une méthode pratique simplifiée appliquée pour l'étude d'un béton. Nous rappelons que cette méthode n'a pour but que de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchés d'essai et la confection d'éprouvettes permettent d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés. [06] Données de base :

III.7.2. Dosage en ciment et en eau :

❖ Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi la résistance visée, $F'c = Fc28 + 15\%Fc28$

$$F'C = 1.15 \times Fc28$$

❖ **Dosage en ciment et en eau :**

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats. Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$F'C = \sigma_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5)$$

Avec:

- **F'C** : résistance visée à **28 jours**
- **C** : dosage du ciment en kg/m³ de béton
- **E**: dosage de l'eau en l/m³ de béton
- **σ_c**: C lasse vraie du ciment en **MPa**
- **G** : coefficient granulaire.

Ce coefficient représente qualité des granulats. Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend du granulat, mais également de son diamètre selon les valeurs suivantes :

Tableau III .22. Valeurs approximatives du coefficient granulaire

Qualité des Granulats	Dimensioned des granulats		
	D ≤ 12,5	20 ≤ D ≤ 31,5	D ≥ 50
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E:

$$C/E = F'C / (\sigma_c G) + 0,5$$

Il est à observer au travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance visée du béton soit forte. Inversement, le dosage en ciment diminue lorsque la résistance du ciment augmente. Pour une résistance visée, Il y a également moins besoin de ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent. Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée. Ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant La détermination du dosage en ciment s'obtient par cet abaque à double entrée. En abscisse, la valeur de l'affaissement désirée est entrée et en ordonnée le rapport, C/E. L'intersection des deux entrées, indique la sortie, la courbe donnant le dosage en ciment en kg. Par exemple, pour un béton classique, c'est-à-dire un **B25P**, le rapport **C/E=1.71 A=8cm**.

L'intersection de ces deux entrées se fait sur la courbe du dosage à 350kg de ciment. Le dosage en ciment pour obtenir 1m³ de béton en place est de **350kg**. Le dosage en eau s'en déduit : **C/E=1.71 avec C=350kg, E=C/1.71=> E=350/1.7=204.6 kg** d'eau, soit **204.6** d'eau. Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus il faut de ciment.

De même le dosage en ciment est limité à 400 kg/m³ de béton en place. Au-delà le ciment et l'eau seraient en trop forte concentration dans le béton. Cela aurait pour effet de produire des fissures de retrait. Ainsi, pour des rapports C/E et une ouvrabilité à atteindre qui nécessiteraient plus de **400 kg** de ciment, le dosage en ciment est limité à 400 kg et l'ouvrabilité désirée est atteinte en ajoutant un fluidifiant au béton.

III.7.3. Ajustement du dosage en eau :

Le dosage en eau est à ajuster. En effet L'eau doit pouvoir humidifier tous les grains du mélange. Or pour humidifier un grain, il faut d'autant plus d'eau que son diamètre est petit. La quantité d'eau dépend donc également du diamètre des grains à humidifier. Le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire d'un diamètre représentatif maximal, D=16mm. Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre, D

Tableau III.23. Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire

Diamètre en (mm)	10	12.5	16	20	25	31,5	40	50
Correction en (%)	+9	+6	+4	+2	0	- 2	-4	-6

Anise pour un mélange granulaire de diamètre, **D=16mm**, il faut majorer le dosage en eau de 4%. Pour un dosage initial de 206 litre d'eau le dosage doit être augmenté à $E = E_{calculée} + 0.04 \times E_{calculée} = 204.67 + 0.04 (204.67) = 212.85$ Litre

E après correction = **212.85** Litres

III.7.4. Dosage des granulats

La granularité du mélange obtenu peut être représentée et approchée par deux segments de droite. Cette courbe simplifiée une modélisation de la courbe réelle

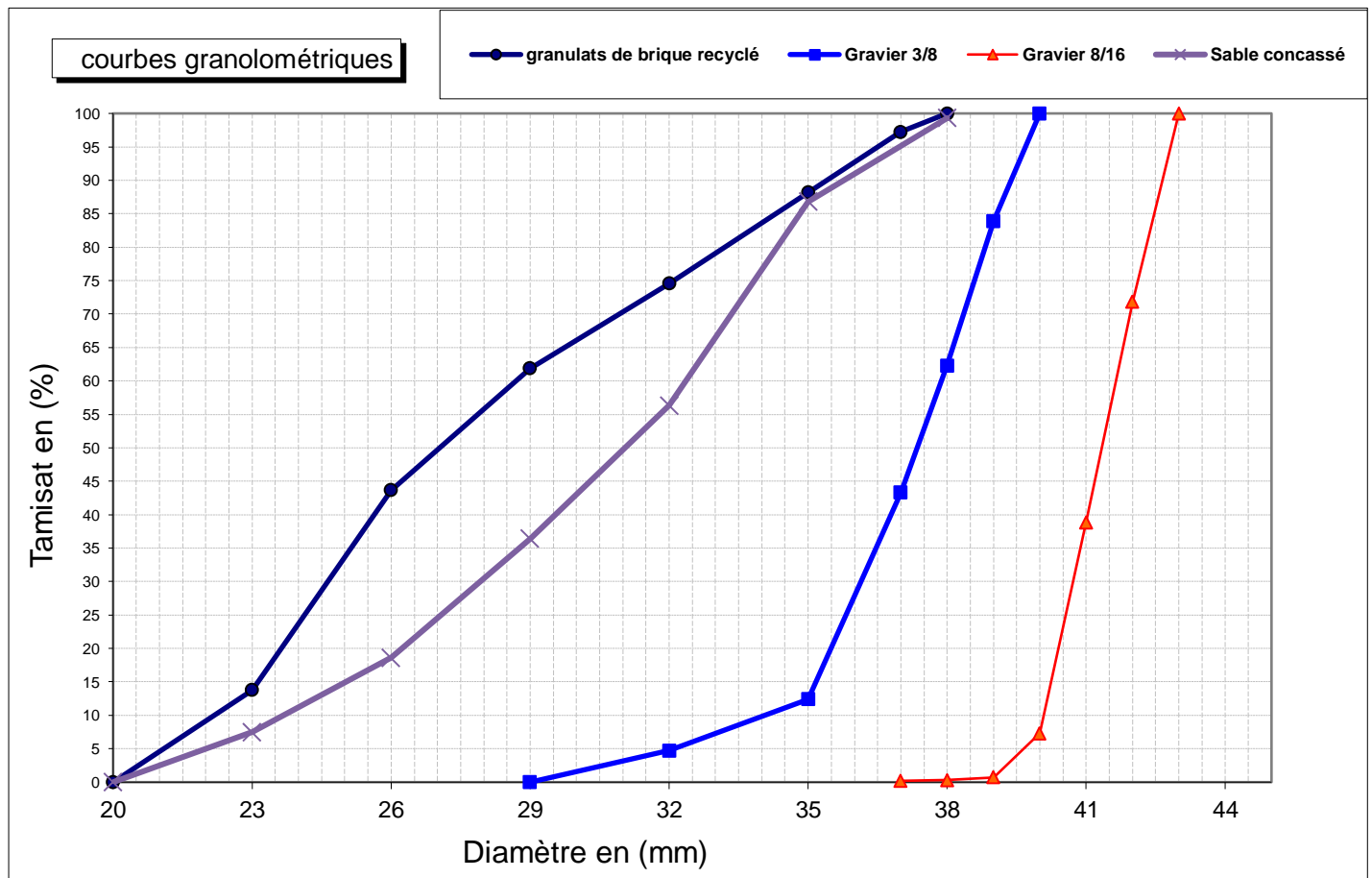


Figure III. 12.courbe d'analyses granulométriques des granulats

Cette modélisation est intéressante car cette courbe théorique est suffisamment proche de la courbe réelle pour être significative et elle peut être entièrement déterminée ç partir de seulement trois points appelés respectivement O origine, A point de brisure, B extrémité. Pour les granulats à béton, il apparait que les points O, A et B, sont invariable quel que soit les proportions du mélange.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisât sur le plus petit tamis (0.08 mm). Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0.08 ;0] de même, le d'extrémité, B se situe le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisât. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100]. Pour le point de brisure A, il apparait que le tamis sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange. En observant de plus après, il apparait que ce tamis se situe à D/2, si $D \leq 20\text{mm}$, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$ il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange. nOr, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquence sur sa résistance. La meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode dite

III.7.4.1. DREUX-GORISSE.

L'ordonnée optimisée du point de brisure, YA est déterminée par la relation suivante :

$$YA = 50 - \sqrt{D + K + Ks + Kp}$$

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre. K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment. Voir tableau ci-contre

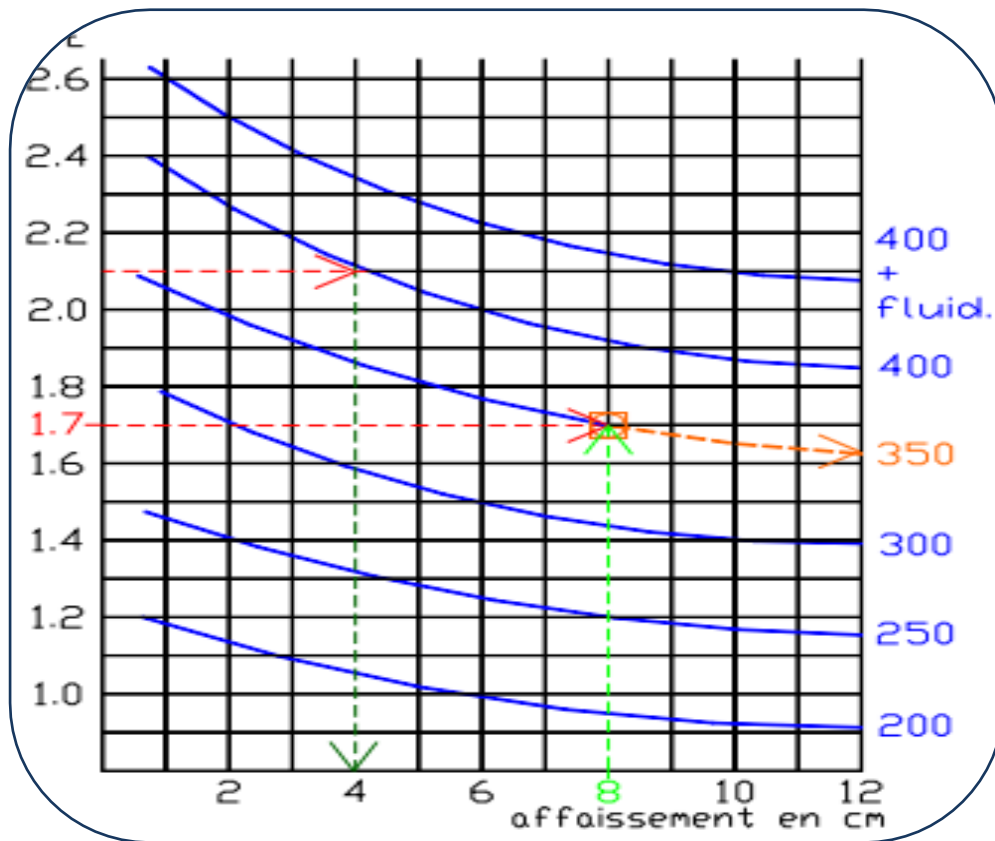


Figure III.13. Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment prévoir en fonction du rapport C/E

Tableau III. 24. valeur du terme correcteur k

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage ciment	400 +f	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

La valeur trouvée est $K=+2$

K_s , ajustement de la granularité du sable

- Pour FM est varier de 2 à 3 $K_s=6 MF-15$

On à $M_f = 2.947$ $K_s= (6 \times 2.947) -15 = 2.682$

K_p , ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par pompes à béton

$K_p= 0$ si le béton est non pompable

$5 \leq K_p \leq 10$ si le béton est pompable

On à un béton non pompable

Donc : $K_p= 0$

Pour un béton non pompable réalisé avec des granulats roulés dont le gravier a un diamètre, $D= 16$ mm, le sable a un module de finesse $M_f= 2.947$, un dosage en ciment de 350 kg

$K=0$,

$K_s= (6 \times 2.947) -15 = 2.682$

$K_p= 0$,

$Y_A= 50 - \sqrt{16} + 2 + 2.682 + 0 = 50.64\%$

$X_A=16/2= 8$ mm

le point A à pour coordonnées : A [8 ;50.64]

Ainsi la courbe du mélange optimum, c'est-à-dire du mélange permettant d'obtenir la meilleure compacité est complètement déterminée.

II.7.4.2. La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe des plus petits granulats au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire des plus gros granulats. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et de gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier. Le mélange optimal est obtenu avec un volume absolu de 40% de sable et 60% de gravier (15% gravier 3/8 et 49.6% gravier 8/15 et sable concassé 35.4%).

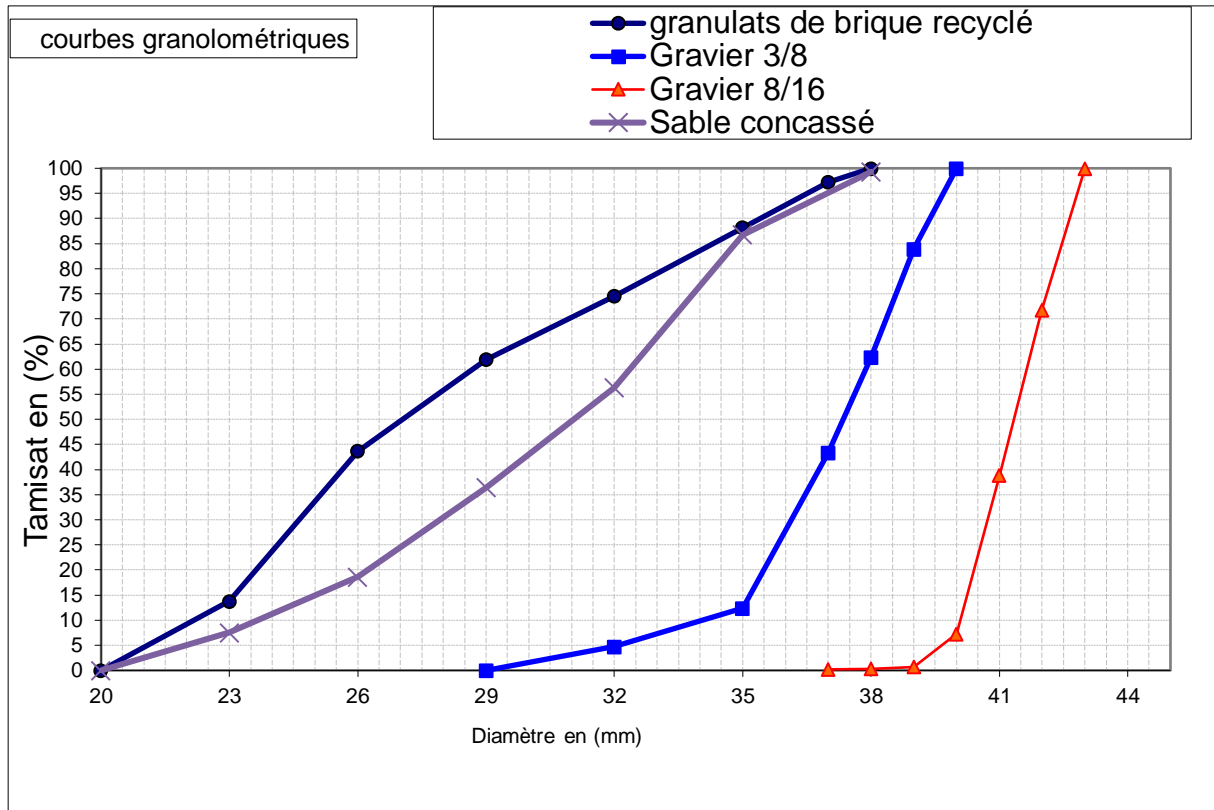


Figure III . 14.les lignes de parta

Le mélange optimal est obtenu avec un volume absolu de 40% de sable et 60% de gravier (15% gravier 3/8 et 49.6% gravier 8/15et sable concassé 35.4%).

III.7.4 3.Dosage en masse des granulats :

La connaissance de la compacité du béton et des masses volumiques absolues des matériaux. La meilleure compacité est obtenue en vérifiant les proportions du mélange granulaire. Mais indépendamment de cela, elle dépend également du diamètre D des granulats, des conditions de vibration du béton et de sa plasticité. L'expérience permet de prévoir approximativement la compacité du béton selon les valeurs suivantes

III.7.4.4. Coefficient de compacité :

Tableau III. 25. Valeurs du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

La correction effectuée, on trouve $\gamma = 0.815$

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter la correction suivante :

Sable roulé et gravier concassé = -0.01

Sable et gravier concassé = -0.03

Alors : $\gamma = 0.815 - 0.01 = 0.805$

Toutes les masses des constituants du béton ont été déterminé pour obtenir un béton conforme aux attentes. Il est maintenant nécessaire de réaliser des éprouvettes, pour vérifier et ajuster les dosages expérimentalement afin de garantir la qualité du béton.

III.7.4.5. Quantité des agrégats en pourcentage :

Sable concassée (%) = 35.6%. (%) $S/100 = 0.356$

Gravier 3/8 (%) = 15%. (%) $Gravier (3/8)/100 = 0.15$

Gravier 8/15 (%) = 49.6%. (%) $Gravier (8/15)/100 = 0.496$

III.7.4.6. Volume absolu de l'ensemble des granulats :

On a : $V = (1000 \times \gamma) - c$.

$c = C/3.10 = 111.11$

Volume absolu de l'ensemble des granulats

$V = (1000 \times \gamma) - c = (1000 \times 0.810) - 111.11 = 698.89L$.

III.7.4.7. Dosage des granulats en kg dans 1 m³ :

Sable concassée [kg] = $0.354 \times 692.1 \times 2.6 = 637$ litres

Gravies 3/8 [kg] = $0.15 \times 692.1 \times 2.6 = 269.9$ litres

Gravies 8/15 [kg] = $0.496 \times 692.1 \times 2.55 = 875.36$ litres

Les masses spécifiques sont :

- Sable = 2.6 g/cm³
- Gravier (3/8) = 2.6 g/cm³
- Gravier (8/16) = 2.55 g/cm³

Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/ m³ :

- Ciment = 350 kg/m³.
- Sable = $2.6 \times 637 = 1656.2$ kg/m³
- Gravier (3/8) = $2.6 \times 269.9 = 701.74$ kg/m³
- Gravier (8/16) = $2.55 \times 875.36 = 2231.25$ kg/m³
- Eau total = 204.64 ℓ/m³

Notre béton a été formulé d'après la méthode de DREUX-GORISSE.

III.8. Matériels Et Essais

III.8.1. Le malaxage : [NA EN 12390-2]

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- Introduire gravier 8/15, ciment, sable 0/5 et gravier 15/20.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par le cône d'Abrams jusqu'à la valeur désirée visée



Figure III.15 : Le malaxage de béton

III.8.2. Affaissement au cône d'abrams (slump test) : [NA EN 12350-2]

Cet Essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme (NA EN 12350-2). C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement. Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm De hauteur.

Placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches d'égal volume. Chacune des couches est compactée avec 25 Coups d'une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre, dont l'extrémité est arrondie.

Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse ; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile. Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement.

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm.

Dans notre étude on a fixé l'affaissement à : **Aff. Entre 6 et 9cm.**



Figure III.16 : Affaissement au cône d'abrams

III.8.3. Vibration : [NA EN 12390-2]

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- On commence par piqué de vibration qui utilise pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappe 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Pesez 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquées par peinture et conservées dans l'eau.



Figure III.17 : La Vibration

III.9. Essais Sur Béton Durci

III. 9.1.Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique)

La masse volumique à sec a été mesurée par pesée hydrostatique, les mesures ont été effectuées après conservation des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours.

Après séchage des éprouvettes jusqu'à une masse constante, on mesure le masse de l'éprouvette dans l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées correspond au volume de l'éprouvette et la masse volumique égale a :

$$\rho_b = \frac{P_{air}}{P_{air} - P_{imm}}$$

P_b : masse volumique

P_{air} : masse de l'éprouvette dans l'air

P_{imm} : masse de l'éprouvette dans l'eau



Figure III.18. : Pesée hydrostatique.

III.9.2. Absorption par immersion totale

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme NBN B 15-215

Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon de béton immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse M_1

- après séchage à 60°C, soit la masse M_2

L'absorption d'eau par immersion A_W est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$A_W = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100\%$$

Les résultats obtenus sur 03 éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.

III.10. DURABILITE

III.10.1. Porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de durabilité au sens du document publié par l'AFGC en 2004

Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique. Après conservation des éprouvettes 10x10x10 cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours, et en utilisant une balance hydrostatique, soit :

- **Meau** : la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau
- **Mair** : la masse de l'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé (masse saturée dans l'air)
- **Msec** : la masse de l'éprouvette après séchage a une température 105 ± 5 °C jusqu'à une masse constante.

$$p_{eau} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{sec} - M_{eau}} * 100$$

III.10.2. Absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau par capillarité mesure le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes du béton non saturées, mises en contact avec de l'eau

III.10.2.1. Conduite de l'essai

Après démoulage, les éprouvettes cubiques du béton (15×15×15) cm³ sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau. Elles sont ensuite extraites de l'eau et conservées dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à une masse constante. Ensuite les faces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées par la résine dont le but de forcer l'eau à adopter un cheminement uni-axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces.

Après le séchage complet de la résine, les éprouvettes sont immergées dans une nappe d'eau de hauteur 1cm durant 24 h.

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5 et consiste à déterminer la quantité d'eau absorbée par le béton en fonction du temps (24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h) À chaque échéance, les éprouvettes sont sorties du récipient, essuyées à l'aide d'un chiffon humide, pesées puis replacées dans le récipient.

Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire « CA » est exprimée en grammes par millimètre carré (g/mm²), par la formule suivante :

$$CA = \frac{M_j - M_0}{S}$$

Avec :

- **M₀** : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en gramme.
- **M_j** : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.
- **S** : section de la base de l'éprouvette en millimètre c'est-à-dire 150mm.

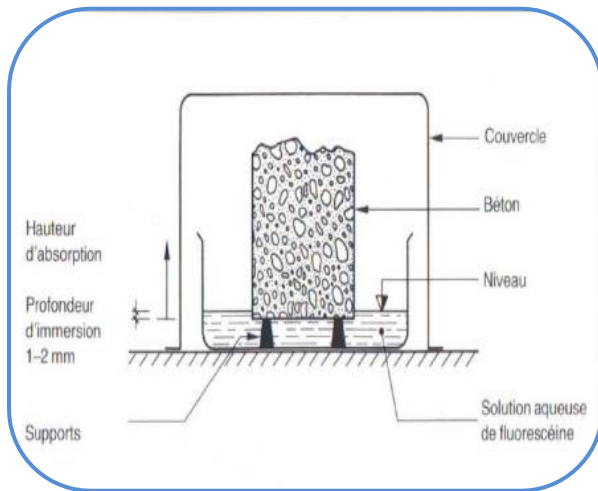


Figure III.19. dispositif essai de capillarité

III.10.3. Essai mouillage et de séchage

Pour déterminer la tenue et le comportement des échantillons de béton (10×10×10) cm³ lorsqu'elle subit des alternances pluviométriques (saturation en hiver et séchage en été), un ensemble d'essais de mouillage -séchage de briques étudiés suivant la norme (ASTM D559 suivant : sécher les éprouvettes jusqu'à masse constante à une température de 60 Peser chaque échantillons (masse sèche) et subir une série de 12 cycles comprenant :

- 05 heures d'immersion au bout desquelles le bloc est pesé (figure III.20).
- 42 heures de séchage à l'étuve à une température de 75°C (figure III.21).

Les éprouvettes sont brossées et pesées. Le cycle complet ne doit pas excéder 48 heures. On recommence ce cycle douze (12) fois de suite puis les échantillons sont séchés à une température de 75°C jusqu'à masse constante. Les résultats de cet essai masse maximum admise après 12 cycles de mouillage /séchage. La perte en masse admissible pour les constructions rurales est 0.5% pour tout climat dont la pluviométrie annuelle est supérieure à 500mm 10% pour les climats secs dont la pluviométrie annuelle est inférieure à 500mm.

A noter que ces tests effectués au laboratoire sont généralement plus sévères qu'en réalité Chaque essai est réalisé sur trois éprouvettes de moyenne des trois essais a été prise comme valeur caractéristique.



Figure III.20: Eprouvette Emergée Dans L'eau **Figure III .21:** Eprouvette séchée dans Lève

III.10.3.1. Calculer la perte de masse :

L'évaluation s'effectuera en mesurant la perte de masse des échantillons par la formule suivante :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M1 - M2) / M1] \times 100$$

Où :

- M1 est la masse de l'éprouvette avant immersion dans la solution agressive.
- M2 est la masse de l'éprouvette nettoyée et séchée après immersion dans la solution agressive.

Chapitre IV

Résultat et discussion

IV.1. INTRODUCTION

Ce travail est consacré à une étude expérimentale de la durabilité (porosité accessible à l'eau, absorption par immersion totale, absorption capillaire et essais de séchage/ mouillage) d'un béton ordinaire et de bétons confectionnés à base du granulats de brique recyclé en variant le pourcentage de granulats de brique (0%, 25%, 50%, 75% et 100%) et en incorporant un pourcentage de fumée de silice.

Ce chapitre est divisé en deux parties, la première concerne l'étude des caractéristiques du béton frais et durci, le second est consacré à étudier la durabilité des mêmes bétons cités ci-dessus

IV.2. Résultats et interprétations

IV.2.1 Essais sur béton frais :

IV.2.1.1 Affaissement : nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV.1 Affaissement :

Nº de béton	Le rapport G/S	Affaissement (Cm)	E/C
1	1.798	6	0.58
2	1.798	6	0.62
3	1.798	6.5	0.65
4	1.798	6	0.73
5	1.798	7	0.70
6	1.798	7.5	0.51
7	1.798	6.5	0.44
8	1.798	7	0.51
9	1.798	9	0.53
10	1.798	6.5	0.58

Pour les différents gâchés (bétons), l'affaissement mesurée par le cône d'Abrams est pris entre 6 cm et 9 cm (Béton plastique).

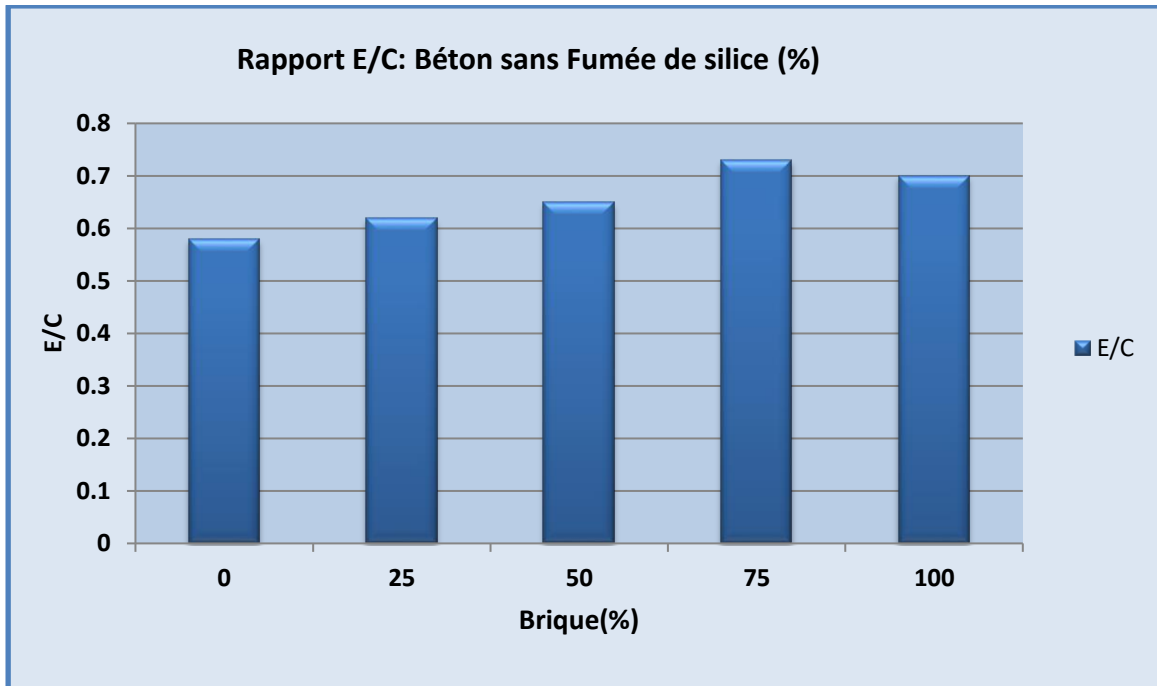


Figure IV.1 : Valeurs de E/C pour du béton sans fumée de silice.

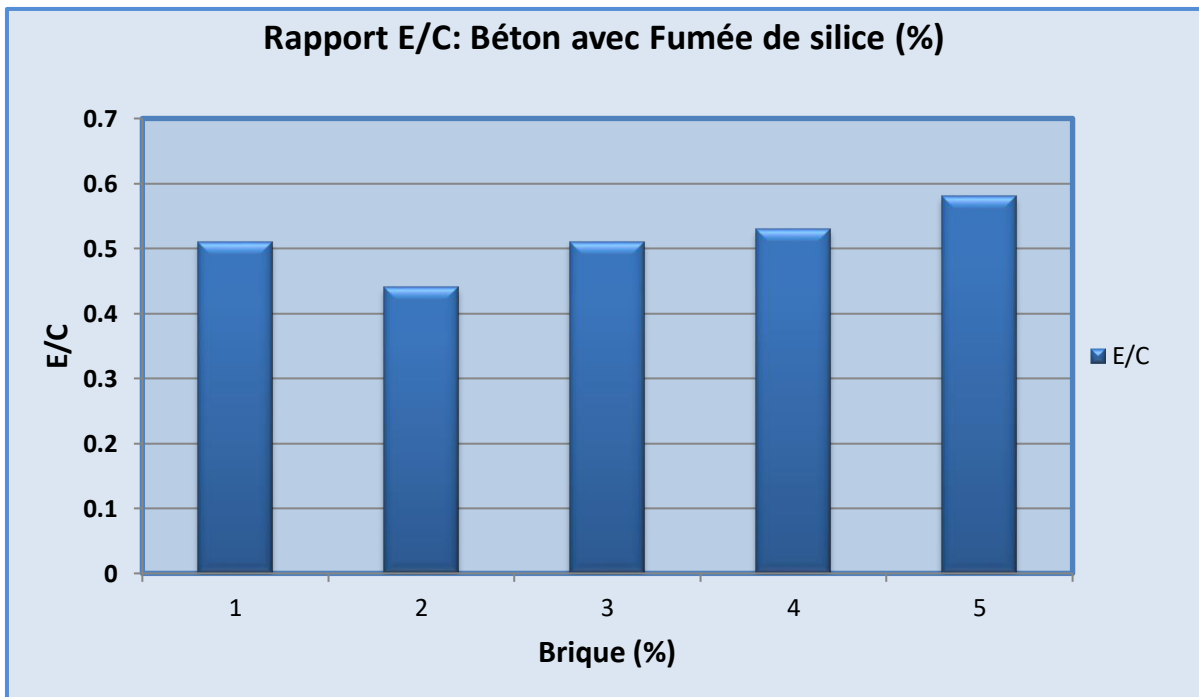


Figure IV.2 : valeurs d'E/C pour les bétons avec fumée de silice.

IV.2.2 Essais sur bétons durcis :

IV.2.2.1 Caractéristiques physiques :

A) Masse volumique à l'état sec :

Dans la **figure IV.3** et la **figure IV.4**, nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique à sec pour des bétons d'étude, Les masses volumiques ont été mesurées après 28 jours de la période de malaxage.

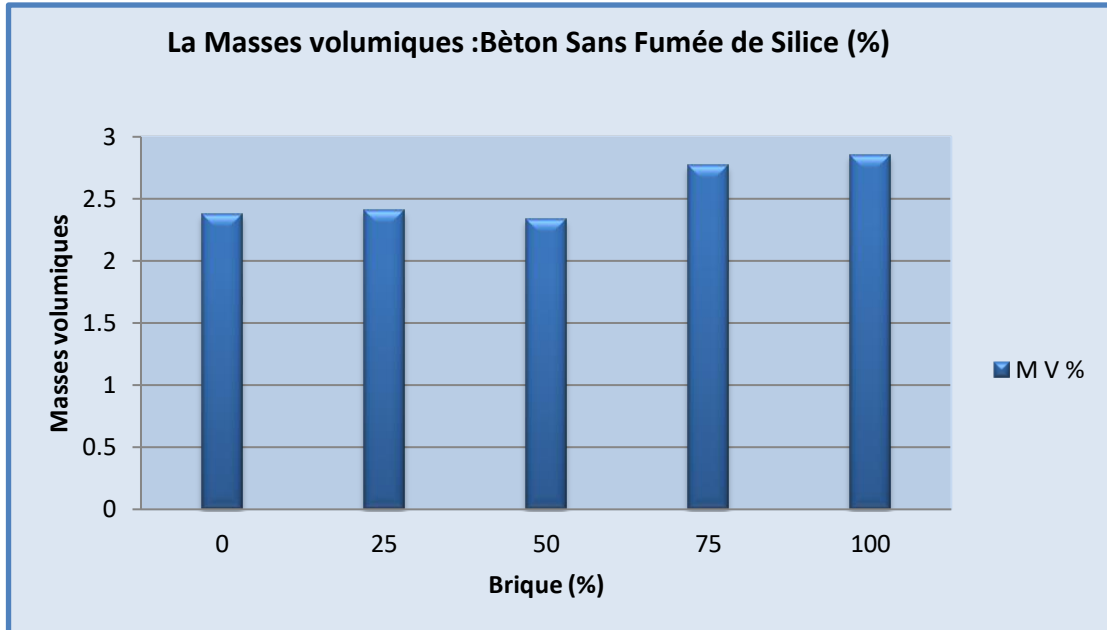


Figure IV.3 : valeurs de la masse volumique pour du béton sans fumée de silice

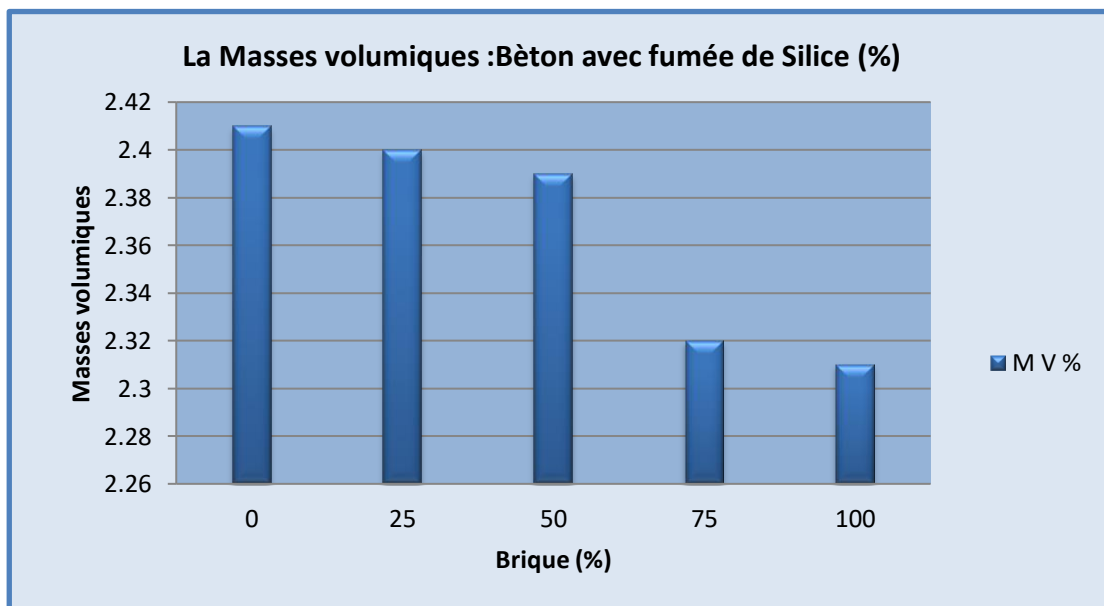


Figure IV.4 : valeurs de la masse volumique pour les bétons avec la fumée de silice

Commentaire

Au niveau de la masse volumique à l'état durci, on constate qu'il n'y a pas de variation significative de volume pour les bétons sans fumée de silice. Dans le cas des bétons contenant de la fumée de silice, la masse volumique diminue en augmentant le pourcentage de déchets de briques.

B) Absorption par immersion totale

Dans la **figure IV.5** et la **figure IV.6** nous avons rassemblé les résultats des mesures de l'absorption par immersion totale pour du béton d'étude.

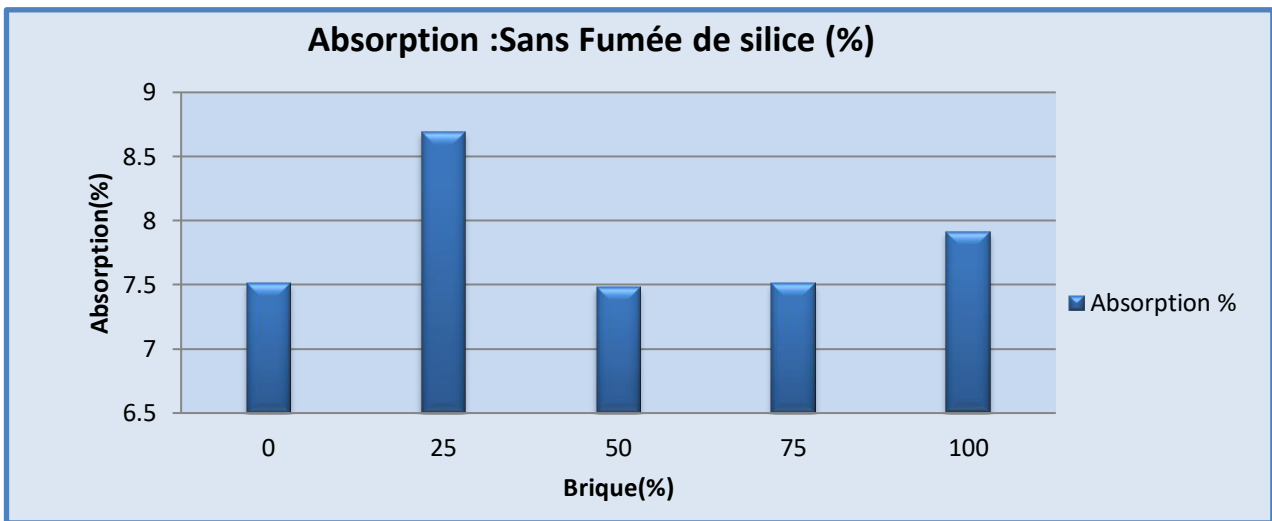


Figure IV.5 : valeurs de l'absorption par immersion totale pour du béton sans fumée de silice

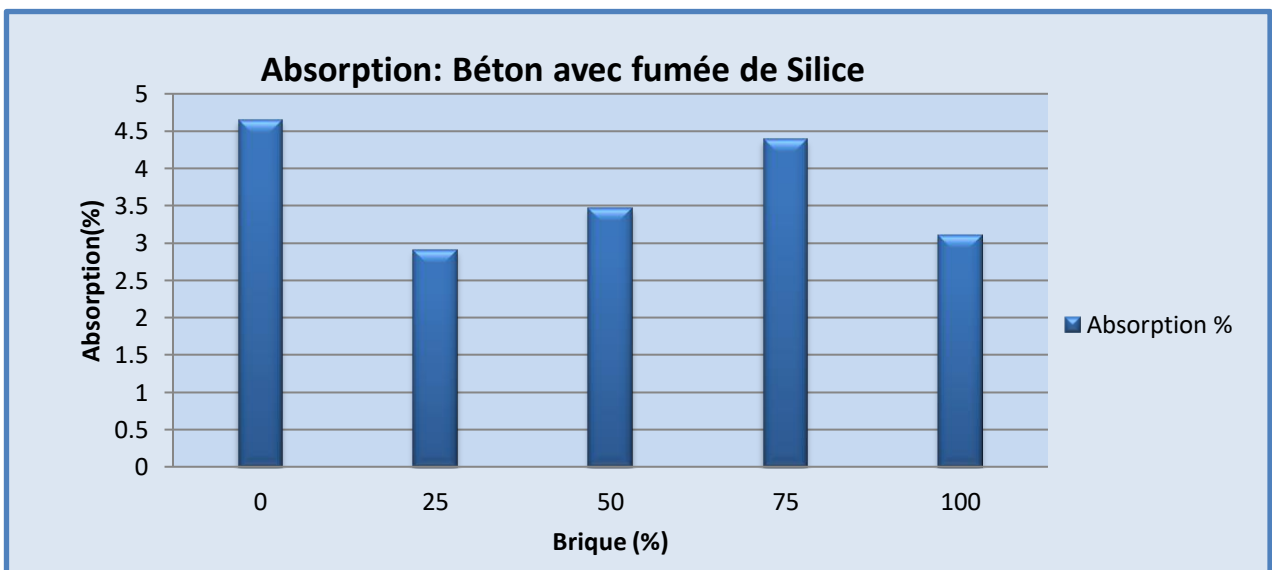


Figure IV.6: valeurs de l'absorption par immersion totale pour les bétons avec fumée de silic

Commentaire

1- Pour l'essai de l'absorption par immersion totale, on remarque que la valeur maximale de l'absorption est détectée dans le cas de 25 % de brique pour les bétons sans fumée de silice. Dans le cas de béton avec fumée de silice, l'absorption maximale est obtenue dans les échantillons de béton sans granulats de brique

2- les échantillons confectionnés en utilisant la fumée de silice, présente des valeurs d'absorption faible par rapport aux échantillons sans fumée de silice.

IV.2.2.3. Durabilité

A) Porosité accessible à l'eau :

Dans la **figure IV.7** et la **figure IV.8**, nous avons rassemblé les résultats des mesures de la porosité accessible à l'eau pour les bétons d'étude.

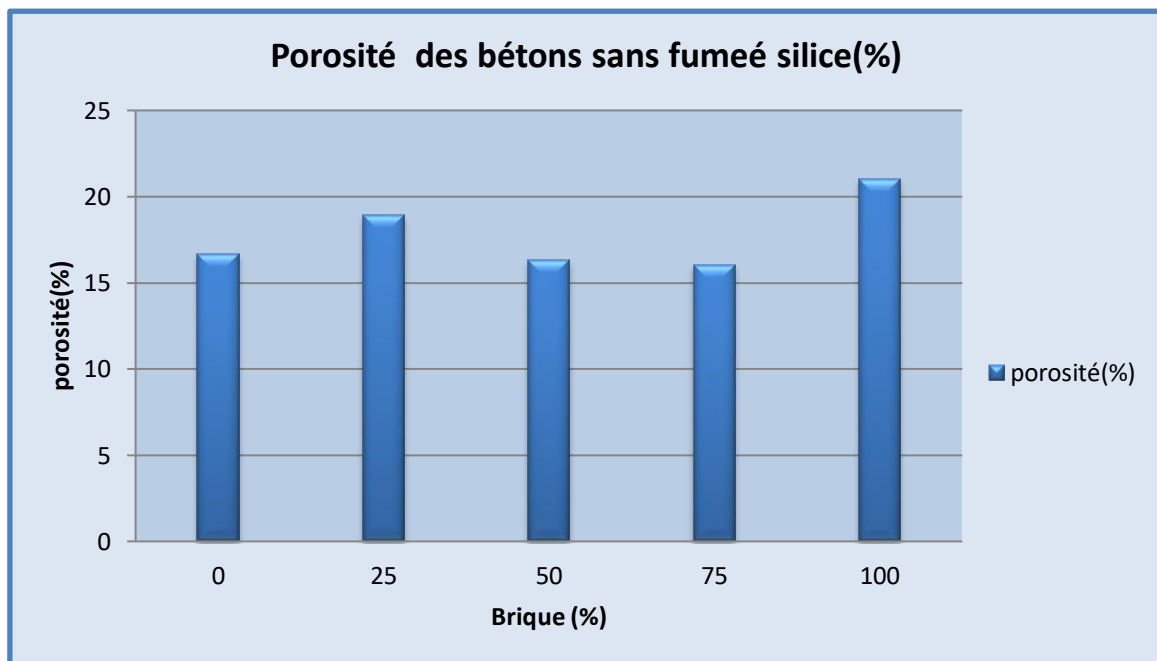


Figure IV.7 : valeurs de la porosité accessible à l'eau pour du béton sans fumée de silice

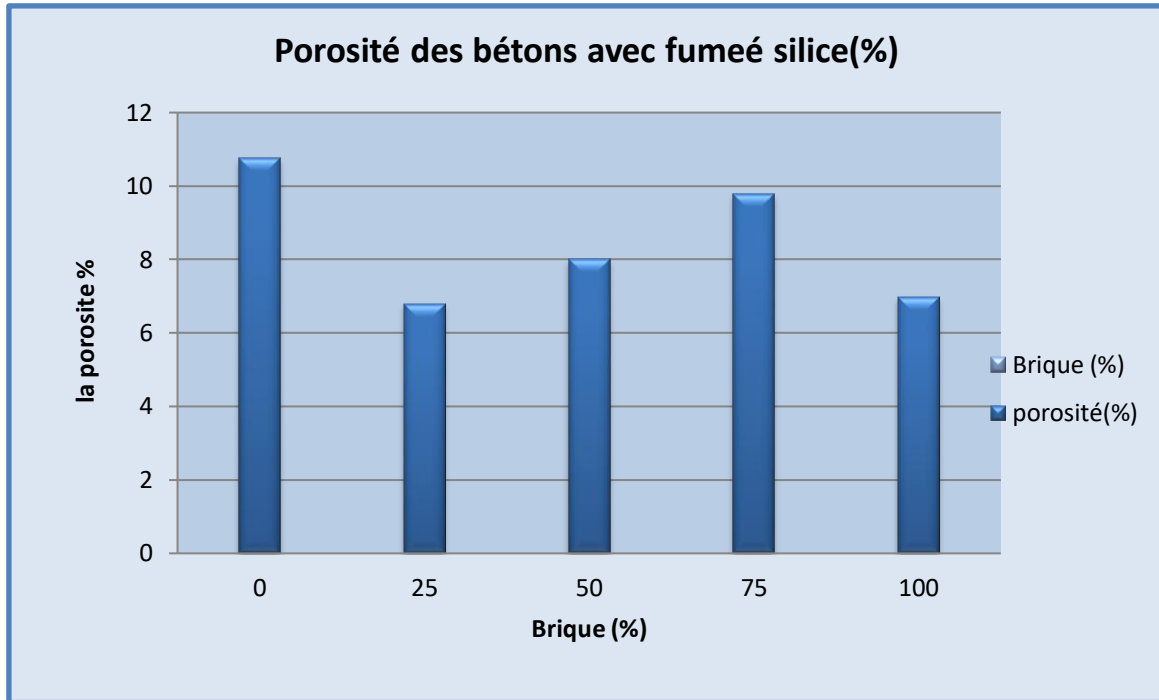


Figure IV.8: valeurs de la porosité accessible à l'eau pour du béton fumée de silice

Commentaire

- 1- la porosité du béton en présence de déchets de briques augmente avec l'augmentation de la dose de déchet de briques. Cette porosité est maximale avec 100 % de déchets de brique.
- 2- la porosité du béton en présence de fumée de silice diminue, est maximale dans le cas de 0% de brique. Elle augmente en fonction du pourcentage de brique jusqu'à 75% ensuite une réduction pour 100% de granulats de brique. La présence de fumée de silice a réduit considérablement la porosité accessible à l'eau.

B) Absorption d'eau par capillarité

Dans la figure IV.9, nous avons rassemblé les résultats des mesures de l'absorption d'eau par capillarité.

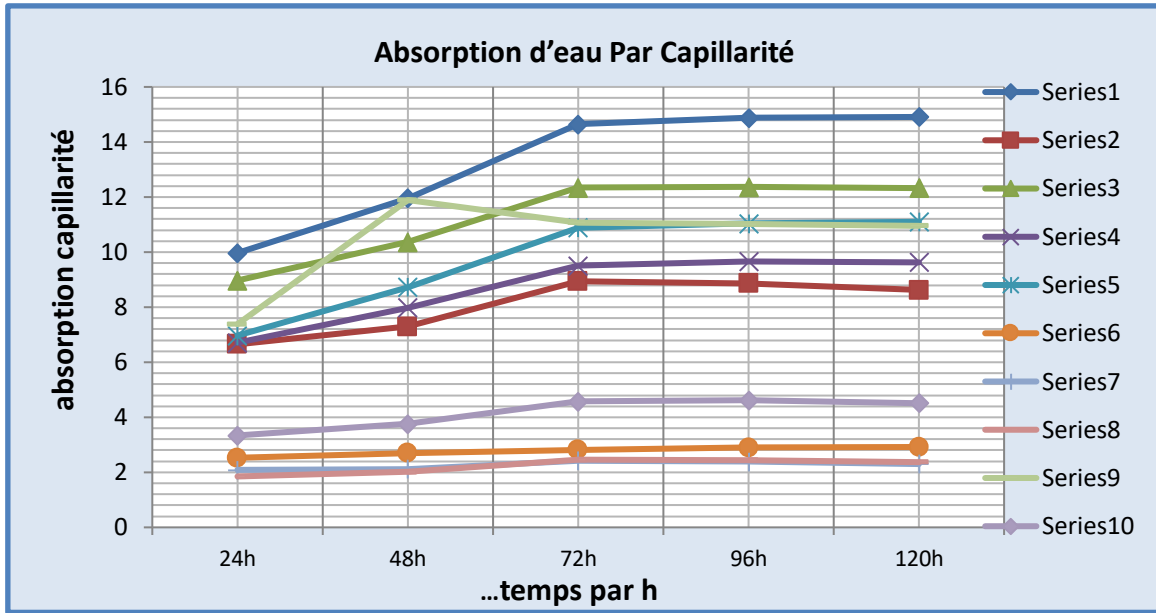


Figure IV.9 : valeurs d'absorption d'eau par capillarité pour du béton.

Commentaire

D'après la figure IV.9, il a été noté que :

- les meilleures valeurs ont été enregistrées dans la série n° 2, qui contient 25% de déchets de briques.
- les meilleures valeurs ont été enregistrées dans la série n° 7, qui contient 25 % de déchets de briques et de fumée de silice.

A travers ces deux observations, les valeurs trouvées peuvent être expliquées par la faite que la présence d'un pourcentage de déchets de briques et de fumée de silice réduit l'absorption d'eau.

C) Essai mouillage / séchage

Dans la figure IV.10, nous avons rassemblé les résultats des mesures de la perte de masse du béton d'étude après des cycles de séchage/mouillage.

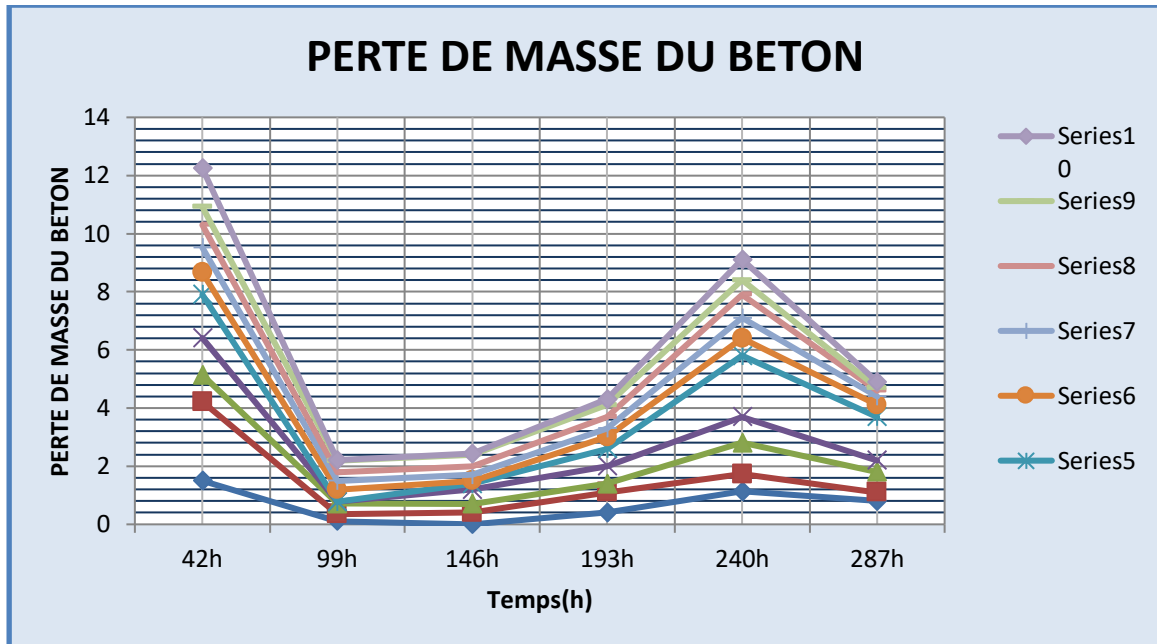


Figure IV.10 : valeurs de la perte de masse pour du béton.

Commentaire

A partir de la **figure IV.10**, on peut constater que la perte de masse en présence de 25% des déchets de briques est la plus grande.

CONCLUSIONS GENERALES

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des échantillons de béton confectionné par des granulats recyclés issus du concassé de brique de maçonnerie. Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques du béton. On peut donner les remarques suivantes :

- Dans le cas des bétons contenant de la fumée de silice, la masse volumique diminue en augmentant le pourcentage de déchets de briques.
- La valeur maximale de l'absorption par immersion totale est détectée dans le cas de 25 % de brique pour les bétons sans fumée de silice.
- Les meilleurs résultats ont été obtenus après une période de 28 jours sur du béton formulé avec une dose de 350kg/m³ de ciment et fumée de silice un rapport de G/S = 1.798 : une porosité minimale de 6.8%.
- La porosité accessible à l'eau du béton en présence de déchets de briques augmente avec l'augmentation de la dose de déchet de briques.
- La présence d'un pourcentage de déchets de briques et de fumée de silice réduit l'absorption par capillarité.
- Après des cycles de séchage/mouillage, la perte de masse en présence de 25% de déchets de briques est la plus importante.

Cette étude nous a permis d'acquérir plusieurs connaissances :

- Savoir formuler un béton ordinaire et en utilisant d'autres types de granulats.
- Connaître les facteurs affectant la porosité dans le béton.
- Réaliser des essais de caractérisation des matériaux.
- Connaître les étapes d'une étude de recherche et réaliser des essais qui touchent la durabilité du béton.

- [1] : Observation Régionale de la Santé Nord-Pas-de-Calais : observation inattendues et capricieuses de la santé : Les déchets et la santé. Disponible sur : http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf. année 2010
- [2] : Boussaoui.W. : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ».
Master en génie civil Option :Structures et Matériaux .Constantine :Université Mentouri,2010-2011.
- [3] : Les déchets :les classer pour mieux les connaitre,les réduire pour mieux les maîtriser,Disponible sur : http://www.eduquer-au-developpement-durable.com/wpcontent/uploads/2011/04/Fiche_enseignant_1_petite_histoire_dechets.pf.
- [4] : Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc.Chapitre IV :Milieux Humains Déchets.Disponible sur : <http://www.minenv.gov.ma/PDFs/REEM/Dechets.pdf> .p221-235.
- [5] : Les bétons à haute performance, Chapitre-3.14p.Disponible sur : <http://www.infociment.fr/telecharger/CT-G11.94-107.pdf>.Les Bétons à Hautes Performances-BHP-Info ciment
- [6] : Brahim Safi, « les bétons a haute performance », Chapitre-iv. 30p.Disponible sur : <http://brahim-safi.e-monsite.com/medias/files/chap-iv-les-betons-a-hautesperformances-bhp.pdf>
- [7] : Nicolescu L, « Généralités :Rapport Général Colloque International sur l'utilisation des sous-produits et Déchets dans le Génie Civil »,Recueil des communications,Volume III,ENPC,Paris,1978,p15
- [8] : MEKHERMECHE Abdessalam. « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes ».
Magister en Génie Civil Option : Géo-Matériaux.Ouargla : universite kasdi merbah,2012.
- [9] : Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton,CBD-215-F,juin 1981.
- [10] : N.de Louvigny, « Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée ».Thèse de doctorat,université Montpellier II,2001..
- [11] : BARKAT ABDEREZZAK. : « valorisatioon des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ».
Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil.Ouargla :Université KASDI MERBAH ,05/11/2006
- [12] **Nacéri Abdelghani and Makhloufi Chikouche Hamina**, «Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar». *Waste management* 29.8 (2009): 2378- 2384.

- [13] **Arezki née Djadouf Samia**, « l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite ». Université de Abderrahmane Mira de Béjaia.
- [14] **Ajrroun Redouane**, « Effet de l'incorporation de briques réfractaires dans le ciment portland ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de licence p. 40 2013-2014.
- [15] Ramachandran, V. S. « Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton ». Division des recherches en construction, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada juin 1981.
- [16] **L. Alviset**, « Matériaux de Terre Cuite ». Techniques de l'Ingénieur" 1994.
- [17] **Nacéri Abdelghani and Makhloufi Chikouche Hamina**, « Effects of pozzolanic admixture (waste bricks) on mechanical response of mortar ». (2008) : 1-8.
- [18] **Serifou M**, « Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation ». Thèse de Doctorat, Université Felix houphouet boigny et l'Université de Bordeaux 1, Décembre 2013.
- [19] **Les litrons de vin français dits « à étoile »**, normalisés, étaient acceptés indifféremment par n'importe quel fournisseur. « Litre 6 étoiles », sur : www.abcdvin.com
- [20] **Akhtaruzzaman A.A et Hasnat**, « Properties of Concrete Using Crushed Brick As aggregate », concrete international, Vol. 5, N°. 2, Feb.1983, p. 58 – 63.
- [21] **Devenny A et Khalaf F.M**, « The Use of Crushed Brick as Coarse Aggregate in concrete » masonry international, Vol.12, N°. 3, Feb. 1999, p. 81–84.
- [22] **Kleinlogel A**, « Influence des divers éléments physico - chimique sur les Bétons ». Edition Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.
- [23] bouwmaterialen "" , [en ligne], 2004, disponible sur : http://www.lessiusho.be/vipterm/databank_bouwmaterialen2.htm.
- [24] guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement –annexe E "" , service d'architecture et de génie - Services

Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004, Disponible sur : http://www.ercr_handbook_append-f.html

[25] **BELOUADAH MESSAOUDA** «Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures », Thèse de doctorat de l'Université M'sila, Algérie 2018.

[26] **WILLIAM.D, CALLISTER.JR**, « Science et génie des matériaux ». Modolu Editeur, 2001

[27] **Arezki Tagni Hamou**, «Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons». Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, 2014.

[28] **Manai K**, «Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants». Mémoire de maîtrisées sciences appliquées, Sherbrooke-Canada, 1995

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

[30]**Gilpin Robinson Jr R, Menzie DW**, Hyun H. « Recycling of construction de brisas aggregate in the Mid-Atlantic Region»

[31] **Ministère des Travaux Publics** : valorisation des pneus usagés et les déchets plastiques dans le domaine des travaux publics, journée scientifique, novembre 2005.

[32] **BOURMATTE N** : granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, université de Constantine, 2004.

[33] **JAAFAR, Walid**. Influence de la carbonatation sur la porosité et la perméabilité des bétons. DEA Géomatériaux. Division Bétons et Composites Cimentaires. Section Microstructure et Durabilité du Béton, LCPC, 2003

[34] **KASSOUMI, L., ELAAL, MAIT, OUALI, A., et al.** APPROCHE PERFORMANTIELLE ET PREDICTIVE DU BETON DES OUVRAGES D'ART SUR LA BASE D'INDICATEURS DE DURABILITE..

[35] «Infociments. (2018),» [En ligne].

- [36] Jean-Pierre Ollivier et Angélique Vichot, La durabilité des bétons, Association Technique de l'Industrie des Liant Hydrauliques, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp. 868, Paris, 2008..
- [37] Oualit Mehena. (2009). Indicateurs de durabilité du béton dans le contexte Algérien, Mémoire de .
- [38] ALLAHYARI, Ilgar. Approche performantielle des bétons: vers une meilleure caractérisation des indicateurs de durabilité. 2016. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier-Toulouse III..
- [39] KASRI, Sarra et MEFTAH, Roqiya. Etude de la diffusivité des ions chlorures comme indicateur de durabilité. 2020. Thèse de doctorat. Univ M'sila..
- [40] AMRIOU, Abderrachid. Détection par rayon x de la dégradation du béton sous l'effet des agressions chimiques (sulfates). 2009. Thèse de doctorat. M'sila, Université Mohamed Boudiaf. Faculté des Sciences et des Sciences de L'ingéniorat
- [41] Plumier. A, Pathologies et réparations structurales des constructions, Presse de l'université de liège, 232, 2011..



CEM II/A-M(P-L) 42.5 N

+213 43 74 92 35 | info@scibs.dz | www.scibs.dz

Norme algérienne NA 442

FICHE TECHNIQUE CIMENT CEM II /A-M(P-L) 42.5 N

Analyse chimique CIMENT:

ANALYSE CHIMIQUE	MIN	MAX
SIO ₂	22,80	32,00
AL ₂ O ₃	5,20	6,20
Fe ₂ O ₃	3,20	3,60
CaO	52,00	62,00
MgO	1,02	1,20
K ₂ O	0,35	0,45
Na ₂ O	0,40	0,50
SO ₃	1,80	2,20
PF	2,00	2,80
CL	0,03	0,45
RI	6,00	12,00
CaOL	0,40	1,54

CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANQUES

ESSAIS PHYSICO-MECANIQUE	MIN	MAX	NORME
SS Blaine cm ² /g	2960	4200	-
Consistance %	25,5	26,8	-
Début de prise	80	160	≥ 60 mn
Compression 02	12,5	23	> 10,0
Compression 07	25	36	-
Compression 28	43	52	≥ 42,5
Expansion à	0	8,5	< 10 mn
Les constituants de ciment en % *			
CLINKER	80-88		
POZZOLANE + CALCAIRE	12-20		
GYPSE(Régulateur de prise)	00-05		

* Ces valeurs font référence au noyau du ciment à l'exclusion du sulfate de calcium (gypse) et de tout autre aditifs.

Domaine d'utilisation

C'est un ciment gris avec un mélange d'ajouts pouzzolane et calcaire pour bétons de haute performance destiné à la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments.

Ce ciment est plus couramment utilisé dans :

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (Décoffrage rapide).
- Béton en élévation, armé ou d'ouvrage courant.
- Béton de haute performance.
- Fondations ou travaux souterrains en milieu non agressifs.
- Dallages, sols industriels.
- Maçonneries
- Stabilisation des sols

NB: Les données que comporte cette fiche sont fournies à titre indicatif. La présente fiche se veut un outil d'information à portée générale seulement et ne doit pas être considérée comme la fiche technique du mois en cours ni du stock existant. Vous êtes prié de demander conseil auprès de la direction commerciale qui prendrait en compte les données techniques nouvelles et de ne pas vous fier uniquement aux données de la présente fiche d'information*.

* certaines changements peuvent éventuellement se produire dans les limites autorisées par les normes.

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

Domaines D'application

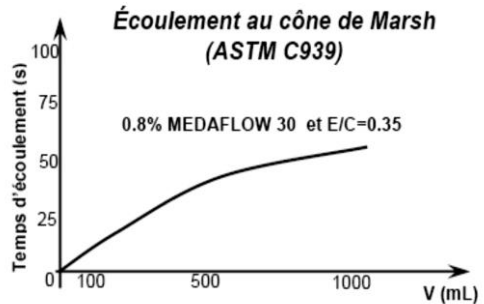
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

Caractéristique

- AspectLiquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1, 07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granl
فرائينتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le

CNERIB en 22 AVR 2012

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

