



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

Présenté par : kouadri mohamed el amine

El Bahi Louai

Thème :

**L'effet de l'utilisation des résidus métallique dans la
formulation du béton ordinaire à l'état frais et durcis**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr.BIBI Mekki

Président

Mme. DJEBRI Noura

MCB

Encadreur

Mr. RAHMOUNI Zine El Abidine

Professeur

Co-Encadreur

Mr. BENYAHIA Abdesslam

Examineur

Promotion : 2022/2023.

Remerciement

Merci Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de m’ avoir appris ce que j’ ignorais, de m’ avoir donné la santé et tout dont je nécessitais pour l’ accomplissement de ce mémoire.

Nos remerciements s’ adressent également à notre encadreur de projet de fin d’ étude Dr Mme. DJEBRI NOURA et Co-Encadreur Pr.RAHMOUNI- Zine El Abidine, pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité .

Merci également à tous les enseignants du département de Génie civil de l’ université Mohamed Boudiaf - M’ sila, qui ont participé à ma formation pendant tout mon cycle universitaire.

Nos remerciements à Monsieur. Boussahel hamza - Ingénieur de laboratoire de matériaux et construction de génie civil, pour ses conseils

et le Monsieur. B .Mounir et le Monsieur B.Nadji Qui nous a encouragé pendant cinq ans

Un merci bien à Nos amis et Collègues et tous les employés du laboratoire de génie civil à L’ université de Mohamad Boudiaf sur tout. Enfin nous voudrions à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

MOHAMED ET LOUARA

DEDICACE

MERCI ALLAH DE M'AVOIR DONNÉ LA CAPACITÉ
D'ÉCRIRE ET DE RÉFLÉCHIR, LA FORCE D'Y
CROIRE, LA PATIENCE
D'ALLER JUSQU'AU BOUT DU RÊVE.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À MES CHERS
PARENTS,
À MES FRÈRES ET SOEURS, NEVEUX ET NIÈCES,
À TOUS CEUX QUI M'AIMENT ET QUI M'ONT
SOUTENUE
TOUT AU LONG DE MON CURSUS.
À TOUS CEUX QUI VOULAIENT ASSISTER À LA
SOUTENANCE
DE CE MODESTE TRAVAIL.

Hachem

Résumé

Les déchets industriels dégagent actuellement constituant une source potentielle de problèmes environnementaux et économique autrement le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérées comme une solution pour protéger l'environnement et les problèmes économiques des pays.

Dans ce cadre il existe de nombreuses recherches scientifiques pour connaître la possibilité d'évaluer les déchets, comme l'ajout ou le remplacement d'un composant d'un tel béton.

Notre travail s'adapte à la situation de recherche nous a permis de faire possibilité de valorisation des déchets dans le domaine de la construction et exactement dans la composition du béton ordinaire, Nous avons remplacé le sable dans diverses proportions (5%, 10% et 15%) par les mêmes quantités de déchet métallique granulaire, puis nous avons étudié leur effet sur le comportement des bétons ordinaire à l'état frais et à l'état durcis.

Mots clé : déchets, graine métallique, béton ordinaire, matériaux

الملخص:

تشكل النفايات الصناعية حاليا مصدرا محتملا للمشاكل البيئية والاقتصادية، وإلا فإن إعادة تدوير النفايات واستعادتها تعتبر اليوم حلا لحماية البيئة والمشاكل الاقتصادية للبلدان.

في هذا السياق، هناك قدر كبير من البحث العلمي في إمكانية تقييم النفايات، مثل إضافة أو استبدال مكون من هذه الخرسانة. لقد مكنا عملنا، الذي تم تكييفه مع الوضع البحثي، من جعل من الممكن تقيم النفايات في مجال البناء وفي تكوين الخرسانة العادية بالضبط. لقد استبدلنا الرمل بنسب مختلفة (5% و10% و15%) بنفس الكميات من النفايات المعدنية الحبيبية، ثم درسنا تأثيرها على سلوك الخرسانة العادية في الحالة الطازجة وفي الحالة الصلبة .

الكلمات المفتاحية: النفايات، حبيبات معدنية، الخرسانة العادية، المواد

Abstract

Industrial waste currently constitutes a potential source of environmental and economic problems, otherwise recycling and recovery of waste is today considered as a solution to protect the environment and the economic problems of countries.

In this context, there is a great deal of scientific research into the possibility of evaluating waste, such as the addition or replacement of a component of such concrete.

Our work, adapted to the research situation, has enabled us to make possible the valorization of waste in the construction field and exactly in the composition of ordinary concrete. We have replaced sand in various proportions (5%, 10% and 15%) by the same quantities of granular metallic waste, and then we have studied their effect on the behavior of ordinary concretes in the fresh state and in the hardened state.

Key words: waste, granular metal, ordinary concrete, materials

Sommaire

Remerciement	
Dédicace.....	
Résumé	
Sommaire.....	
Liste des Tableaux.....	
Liste des figures	
Introduction générale :	1
Chapitre I : Généralité sur les bétons	
I .1 Introduction :.....	3
I .1.1 Historique :	3
I .1.2 Définition :	4
I .3 Déférent type du béton :.....	5
a) Béton de haute performance (BHP) :.....	5
b) Béton auto plaçant (BAP) :.....	6
c) Béton lourd :	6
d) Béton léger :	7
e) Béton de Poudre Réactive (BPR) :	7
f) Béton de fibre :	7
I .2 Les béton ordinaire :	8
I .2 .1 Définition :	8
I .2.2: constituants du béton ordinaire :	8
I .2.2.1: le ciment :.....	8
I .2.2.2: les granulats :.....	9
I .2.2.3: le sable :.....	9
I .2.2.3: l'eau de gâchage :	9
I .2. 3 : caractérisation du béton ordinaire :	10
I .2. 3 .1 : Propriétés du béton frais :	10
I .2. 3 .2 : Propriétés du béton durcis :	11
I .2. 4 : formulation du béton :	15

a) Méthode de bolomey :	15
b) Méthode de d'Abrams :	15
c) Méthode Faury :	16
d) Méthode de JOISEL :	16
e) Méthode de VALETTE :	16
f) Méthode de Dreux-Gorisse :	17
I .2. 5 : les avantage et les inconvénients :	17
a) Les avantage :	17
b) Les inconvénients :	17

ChapitreII :valorisation des déchets

Introduction :	19
II.1 Les déchets :	20
II.1.1 Qu'est-ce qu'un déchet ?	20
II.1.2 Approche juridique :	20
II.1.3 Approche sociologique :	20
II.2 Origine de la production des déchets :	21
a) Biologiques :	21
c) Economique :	21
d) Écologiques :	21
II.2.1 Classification des déchets :	21
a) Déchets ménagers :	21
b) Déchets agricoles :	21
c) Déchets à risques infectieux :	21
d) Non dangereux :	21
e) Toxiques :	22
II.3 Classifications chimiques des déchets :	22
a) Déchets acides :	22
b) Sels résiduaire :	22
c) Déchets organiques :	22
d) Déchets minéraux :	22
e) Métaux :	22
II.3.1 Sources et natures des déchets ménagers :	23
II.3.2 Gestion des déchets :	23
II.3.2.1 Collecte, transport et stockage :	24
II.3.2.2 La collecte en apport volontaire :	25
II.3.2.3 La collecte en port à port :	25

II.3.2.4	Transport et le transfert :	26
II.3.2.5	Le triage :	26
II.3.2.6	Stockage :	26
II.3.2.7	Le recyclage :	27
II.4	Traitement biologique :	27
II.4.1	Le compostage :	27
II.4.2	L'incinération :	28
II.4.2.1	La mise en décharge contrôlée :	29
II.4.3	Les produits qu'on peut valoriser :	29
II.5	Les déchets dans le génie civil :	30
a)	Le laitier de haut fourneau :	30
b)	Le verre :	30
c)	Les déchets de pneu usagé :	31
d)	Les déchets céramiques :	32
e)	Les déchets métalliques :	33
II.5	Conclusion :	34

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux et composition du béton

III.1	Introduction :	36
III.2	Les matériaux utilisés :	36
III.2.1	Le sable :	36
III.2.1.1	L'analyse granulométrique (NF P94-056) :	36
III.2.1.2	Module de finesse (NA EN 933-5) :	39
III.2.1.3	Equivalent de sable (NF P 18-598) :	40
III.2.1.4	La masse volumique, porosité et compacité, indice des vides (NF EN 1097-6) :.....	42
c)	Porosité et compacité et indice des vides :	43
III.2.1.5	Teneur en eau (NF P 18-555) :	44
III.2.2	le gravier :	45
III.2.2.1	L'analyse granulométrique :	45
III.2.2.2	La masse volumique :	47
III.2.2.3	Essai Los Angeles (NF EN 1097-2) :	48
III.2.2.4	Degré d'absorption d'eau :	49
III.2.2.5	Teneur en eau (NF P 18-555) :	50
III.2.3	Les déchets métalliques :	50
III.2.3.1	L'analyse granulométrique :	50
III.2.3.2	La masse volumique :	51

III.2 .4 Le ciment :	52
III.2 .4.1 La masse volumique apparente :	52
III.2.5 L'eau de gâchage :	52
III.2.5.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :	53
III.2 Formulation du béton ordinaire :	53
a) Hypothèses de travail :	54
b) Détermination du rapport C/E :	54
c) Détermination du dosage en ciment :	55
d) Détermination du dosage en ciment :	55
f) Détermination de la composition en volume absolu :	56
g) Détermination de la composition pondérale sèche en kg :	57
III.2 Conclusion :	59

Chapitre IV: techniques expérimentales.

IV.1 Introduction :	61
IV.2 Dispositif expérimental :	61
IV.2.1 Gâchage du béton :	61
IV.2.2 Moulage et Démoulage :	62
IV.3 Performances du béton à l'état frais comme durci:	62
IV.3.1 Essai Sur béton à l'état frais:	62
IV.3.1.1 Affaissement au cône d'Abrams :	63
IV.3.1.2 La masse volumique à l'état frais:	65
IV.3 .2 Essai Sur béton à l'état durcis:	65
IV.3.2.1 Essai de compression (NF EN 18-455):	65
IV.3.2.2 Essai de traction par flexion (NF P.18-407):	66
IV.3.2.3 La masse volumique à l'état durcis:	67
IV.3.3 Essais non destructifs :	68
a) Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) :	68
b) Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) (NF EN 12504-2) :	69
IV.4 Conclusion :	71

Chapitre V : Résultats et Analyses.

V.1 Introduction:	73
V.2 Représentation et analyse des résultats:	73
V.3 Propriétés du béton à l'état frais :	73
V.3.1 Essai d'affaissement :	73

V.3.2 la masse volumique du béton frais :	74
V.4 Propriétés du béton à l'état durcis:	76
V.4.1 La Masse volumique à l'état durcis:	76
V.3.2 Essai la Résistance à la compression:	77
a) L'âge de l'éprouvette 7 jours :	78
b) L'âge de l'éprouvette 14 jours :	79
c) L'âge de l'éprouvette 28 jours :	80
d) L'âge de l'éprouvette 60 jours :	81
V.3.3 Essai la Résistance à la traction par flexion:	83
V.3. 4 Essais non destructifs sur béton :	85
V.3. 5 .1 Essai Ultrasonique :	85
V.3. 5 .2 Essai au scléromètre :	88
V.3 Conclusion :	91
conclusion générale :	93

Liste des tableaux :

Chapitre II : Valorisations des déchets

Tableau 1: source et nature de production des déchets	23
Tableau 2 : représente les produits recyclables et non recyclables	29

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux et composition du béton

Tableau 1: Poids de l'échantillon (Kg) en fonction du diamètre	37
Tableau 2: Analyse granulométrique du sable de Bousaada.....	38
Tableau 3: Les normes soviétiques spécifient de Mf des sables.....	39
Tableau 4: les valeurs Equivalent de sable	41
Tableau 5: La norme d'équivalent de sables.....	41
Tableau 6: Masse volumique apparente du sable de Bousaâda à l'état lâche	42
Tableau 7: Masse volumique apparente du sable de Bousaâda à l'état compact.....	43
Tableau 8: Masse volumique absolue du sable de Bousaâda.....	43
Tableau 9: les valeurs de porosité, compacité et indice des vides	44
Tableau 10: teneur en eau de sable	44
Tableau 11: analyse granulométrique des graviers	45
Tableau 12: Masse volumique apparent des graviers	47
Tableau 13: Masse volumique absolue des graviers.....	48
Tableau 14: nombre de boulet en fonction de la classe granulaire	48
Tableau 15: mesuré les résistances combinées à la fragmentation par chocs des granulats...	49
Tableau 16: Degré d'absorption d'eau du gravier	49
Tableau 17: teneur en eau des graviers	50
Tableau 18: Analyse granulométrique des déchets métalliques	50
Tableau 19: détermination de la masse volumique apparente des déchets	51
Tableau 20: détermination de la masse volumique absolue des déchets	51
Tableau 21: La masse volumique apparente du ciment	52
Tableau 22: Caractéristiques chimiques de l'eau.....	53
Tableau 23: constitue nécessaires pour le béton témoin	58
Tableau 24: constitue nécessaires pour béton RM.....	59

Chapitre IV : Techniques Expérimentales

Tableau IV.1 : appréciation de la qualité du béton d'essai ultrasonique	69
--	----

Chapitre V : Résultats et Analyses

Tableau 1: les valeurs d'affaissement au cône d'Abrams	74
Tableau 2: les valeurs de la Masse volumique du béton frais.....	75
Tableau 3: les valeurs de la Masse volumique du béton à l'état durcis.....	76
Tableau 4: les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette 7jours des différents bétons.....	78

Tableau 5: les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette 14jours des différents bétons.....	79
Tableau 6: les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette 28jours des différents bétons.....	80
Tableau 7: les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette 60jours des différents bétons	81
Tableau 8: les valeurs de la résistance en traction du différent béton en fonction des jours ...	83
Tableau 9: les valeurs d'Essai Ultrasonique à 7 jours des différents bétons	85
Tableau 10: les valeurs d'Essai Ultrasonique à 14 jours des différents bétons	86
Tableau 11: les valeurs d'Essai Ultrasonique à 28 jours des différents bétons	86
Tableau 12: les valeurs d'Essai au scléromètre à14 jours des différents bétons.....	88
Tableau 13: les valeurs d'Essai au scléromètre à 28 jours des différents bétons.....	89

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les bétons

Figure 1: Le Panthéon à Rome, bâti sur l'ordre d'Agrippa et Hadrien.....	4
Figure 2: Structure hétérogène du béton : a) Image originale ; b) Détail agrandi.....	5
Figure 3: Comparaison de la structure d'un BAP d'un BO	6
Figure 4: béton aux fibres	7
Figure 5: tableau de différent type du ciment.....	8
Figure 6: Mesure de l'affaissement.....	11
Figure 7: principe d'essai de la résistance à la compression d'échantillons de béton durci	12
Figure 8: : Evolution de la résistance en compression en fonction	12
Figure 9: Dispositif de flexion 3 points (ou flexion pure)	13
Figure 10: Appareil de mesure	14

Chapitre II : Valorisations des déchets

Figure 1: la composition des ordures ménagères	24
Figure 2: hiérarchie des déchets	24
Figure 3: Collecte des déchets	25
Figure 4: collecté par les récupérateurs	26
Figure 5: L'incinération des déchets.	28
Figure 6: Descriptif d'une usine d'incinération des déchets ménagers	28
Figure 7: Schéma de principe d'un haut fourneau	30
Figure 8: Les résistances à la compression des bétons à RGP	31
Figure 9: Pourcentage de vides dans le béton	32
Figure 10: Ferrailles et métaux	34

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux et composition du béton

Figure 1: les Tamis.....	38
Figure 2: Courbe d'analyse granulométrique de sable.....	39
Figure 3: Principe de l'équivalent de sable.	40
Figure 4: une machine à vibrer automatique.....	41
Figure 5: Equipement d'essai.....	42
Figure 6: Courbe granulométrique de Gravier (3/8)	46
Figure 7: Courbe granulométrique de Gravier (8/16)	47
Figure 8: Cylindre pour l'essai de Los Angeles sur les graviers	49
Figure 9: Cylindre pour l'essai de Los Angeles sur les graviers	49
Figure 10: Courbe granulométrique des déchets métalliques	51
Figure 11: grains métallique	52
Figure 12: Abaque permettant d'évaluer Approximativement le dosage en ciment.....	53
Figure 13: valeur du terme correcteur (k)	56
Figure 14: Les courbes granulométriques, courbe de référence.....	56

Chapitre IV : techniques expérimentales

Figure 1: Moules prismatiques.....	61
Figure 2: des moules cubique	61

Figure 3: Bétonnière.....	62
Figure 4: méthode d'Essai d'affaissement	63
Figure 5: Essai d'affaissement	64
Figure 6: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams	64
Figure 7: l'essai de compression	66
Figure 8: l'essai de compression	66
Figure 9: Machine d'essai de traction par flexion.....	67
Figure 10: Essai Ultrasonique	68
Figure 11: appariel ultrason	68
Figure 12: Marteau de Schmidt ou scléromètre	70
Figure 13: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques I	70

Chapitre V : Résultats et Analyses.

Figure 1: Évolution d'affaissement des différents bétons.....	73
Figure 2: Évolution de la Masse volumique à l'état frais des différents bétons	75
Figure 3: Évolution de la Masse volumique à l'état durcis des différents bétons.....	77
Figure 4: Évolution de la résistance en compression à 7 jours des différents bétons	79
Figure 5: Évolution de la résistance en compression à 14 jours du différent béton.....	80
Figure 6: Évolution de la résistance en compression à 28 jours du différent béton.....	81
Figure 7: Évolution de la résistance en compression à 60 jours du différent béton.....	82
Figure 8: Evolutions de la résistance en compression du différent béton en fonction des jours	82
Figure 9: la résistance en traction des différents bétons en fonction des jours.	84
Figure 10: Evolution de la vitesse ultrason Vu du différent béton en fonction des jours.	87
Figure 11: indices de rebondissement du différent béton en fonction des jours.	90
Figure 12: la résistance a la compressin du défernts béton	90

Abréviations

Formule	Elément
• BO	Bétons ordinaire
• Bot	Béton ordinaire témoin
• BHP	Béton haute performance
• BAP	Béton autoplaçant
• BRM5	Béton avec résidus métalliques (5%)
• BRM10	Béton avec résidus métalliques (10%)
• BR15	Béton avec résidus métalliques (15%)
• Ac	Affaissement en (cm)
• MPa	Le mégapascal
• Rc	Résistance à la compression
• Rt	Résistance à la traction
• ρ_{app}	La masse volumique apparent
• Vu	Vitesse d'ultrason

Introduction générale :

Le béton est le matériau artificiel le plus utilisé au monde, le béton est très apprécié pour sa résistance, sa durabilité et sa capacité à prendre différentes formes. Jusqu'à ce jour il ne peut être remplacé dans la construction d'infrastructures Il est également économique et facile à produire localement cependant le processus de production de ciment qui est la principale composante du béton a un impact environnementale important.

Mais avec l'augmentation de quantités produites de bétons, la consommation de ressources naturelles telles que le sable et les granulats augmentent rapidement elles aussi. Un grand nombre de montagnes et de paysages sont détruits à jamais, ainsi que les rivières qui ont changé de forme et de position.

La diminution des ressources mondiales en matières premières dans nombreux pays et à la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et de l'environnement ils ont fait la récupération des déchets ménagers et industriels de grand valeur économique.

Depuis plusieurs années, des recherches sont effectuées afin d'étudier le comportement des matériaux recyclés provenant de la démolition comme granulats dans la fabrication du béton, étant donné que la mise en décharge des déchets de ces matériaux présente de nombreux problèmes (la place occupée par les sites de stockage, importance des coûts, impact sur l'environnement). Donc il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets et par conséquent trouver une autre source des granulats.

Le recyclage des déchets métalliques est une pratique courante qui permet de réduire les impacts environnementaux associés à l'exploitation des ressources naturelles et de prolonger la durée de vie des produits métalliques existants.

Dans cette étude la possibilité d'élaborer d'un béton ordinaire à partir des déchets métalliques ces déchets ont été ajoutés au béton en remplacement partiel du volume totale du sable ces déchets ont été incorporés dans les mélanges en différents pourcentage (0%,5%,10%,15%).

Ce travail analyse les propriétés mécaniques de différents types de bétons ordinaires, Ce travail consiste à étudier l'influence des déchets métalliques en tant que granulats

Pour béton hydraulique Les propriétés à l'état frais et durci sont étudiées. Les performances Mécaniques en compression permettent d'expliquer l'effet des déchets métalliques sur L'amélioration des performances des bétons d'étude

Ce manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre introduit une synthèse bibliographique générale sur les bétons Ordinaire, à haute performance et le béton Autoplaçant à travers la formulation des bétons et Les paramètres qui influent sur la formulation des bétons et aussi on a parlé sur les propriétés Mécaniques et les propriétés physiques des bétons, Le deuxième chapitre récite les différentes sources et origine des déchets ainsi que leurs gestions. Le troisième chapitre est consacré aux différents essais effectués au sein du laboratoire du département du génie civil. Ces essais étudient les caractéristiques d'un béton ordinaire avec la substitution d'une partie de sable naturel par des déchets métalliques. A la fin une conclusion a été formulée avec une synthèse des différents résultats obtenus et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralité sur les bétons

I .1 Introduction :

Dans le domaine de la construction, le béton constitue le matériau le plus consommé il est utilisé dans les secteurs de la construction : bâtiments, ouvrages d'art et travaux publics (souvent désignés par le sigle BTP).

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution.

Le béton est un matériau dont la composition peut évoluer, On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées.

En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous ses différentes formes, répond à nos besoins.

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton ordinaire nous aborderons sa définition, le résumera description des constituants entrant dans la fabrication des bétons ordinaire et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les avantages et les innovations apportés par les BO.

I .1.1 Historique :

Si l'on ne considère que la définition du béton, qui est "un mélange de liant et de granulat", alors le béton est connu depuis environ 3000 av. On en trouve des traces dans l'Égypte ancienne et en Mésopotamie, toutes deux dans des mélanges à base d'argile. Entre autres choses, les examens chimiques des pierres qui composent les pyramides suggèrent qu'elles pourraient avoir été faites de pierre recyclée.

Cela prouverait que les Égyptiens maîtrisaient le béton et l'utilisaient pour réaliser les pyramides.

Pourtant, La fabrication du béton était maîtrisée par les Romains dans l'Antiquité. Dans le second siècle, on sait faire bouillir le calcaire à 900°C pour en extraire le gaz carbonique et le transformer à la chaux vive.

Après l'avoir éteinte avec de l'eau, les Romains mélangeaient cette chaux avec l'addition des minéraux siliceux tels que brique brisée ou poussière de roche volcanique (cendres volcaniques).

En conséquence, ils ont obtenu un objet résistant à la corrosion - un hydrate - qui a durci dans l'eau. Ce calcaire se recarbonate encore au fil des siècles en raison du dioxyde de carbone dans

l'air. C'est pourquoi il reste encore de nombreux vestiges d'anciennes constructions en ciment [1]



Figure I.1: Le Panthéon à Rome, bâti sur l'ordre d'Agrippa et Hadrien
Entre 27 et 125 ap J.-C

I .1.2 Définition :

Le béton est un matériau composite. Il est fait de nombreux matériaux différents, s'uniformisent entre eux lors de la pose (béton frais) ou après durcissement (durcissement du béton). Sa composition est déterminée en fonction du ratio de recherche.

Afin d'obtenir les propriétés recherchées telles que résistance mécanique, consistance, durabilité, aspect architectural (forme, couleur, texture), résistance au feu, isolation Thermique et Acoustique, cela se fait en utilisant des méthodes spécialisées appelées "Méthodes de Formulation du béton »

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans la construction de bâtiments dans le monde de Travaux publics. Sa caractéristique essentielle est qu'il a une bonne résistance aux compressions. Ses inconvénients sont sa faible résistance à la traction et sa densité est relativement élevée.

La structure du béton est composée de deux principaux constituants : les granulats et la matrice
:

- Les granulats représentent en moyenne 70% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. Les granulats sont obtenus à partir des carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires et artificiels tels que les laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils conditionnent la compacité du matériau ainsi que ses caractéristiques mécaniques.
- La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes. Il existe plusieurs types de matrice parmi lesquelles on trouve : la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Un examen plus approfondi, montre que la structure du béton présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu. [2]

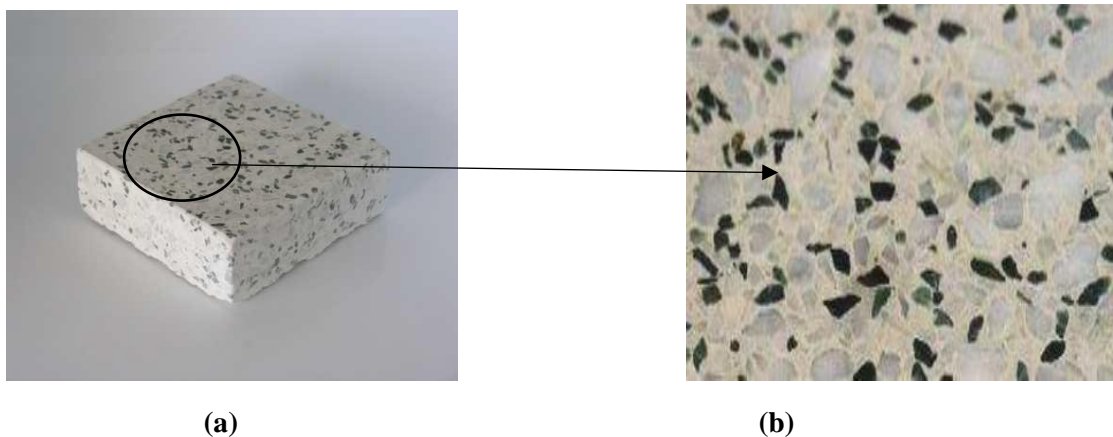


Figure I.2 : Structure hétérogène du béton : a) Image originale ; b) Détail agrandi

I .3 Différent type du béton :

a) Béton de haute performance (BHP) :

Le BHP présentant une résistance caractéristique à la compression supérieure à 28 jours à 50 MPa et un rapport E/C inférieur à 0.4, en laboratoire on a obtenu des valeurs supérieures à 100 MPa à 28 jours

Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Grace à l'amélioration de la résistance permet la conception et la réalisation de structure nouvelles [3]

b) Béton auto plaçant (BAP) :

Le béton auto plaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (le compactage du BAP se fait uniquement par l'effet de la gravité) et donnant à l'ouvrage au moins autant de masse qu'un béton classique mis en œuvre par vibration. Apparue dans les années 1980 au Japon, il s'est développé en France à la fin des années 1990. Le BAP se distingue des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais. Elle est facilitée grandement le travail des ouvriers lors du coulage du béton. Ce type de béton peut couler et se compacter simplement par l'action de la gravité qui s'exerce sur lui. Ainsi, la superfluidité facilite le remplissage du gabarit et l'enrobage de tout renfort tout en maintenant l'uniformité. [1]

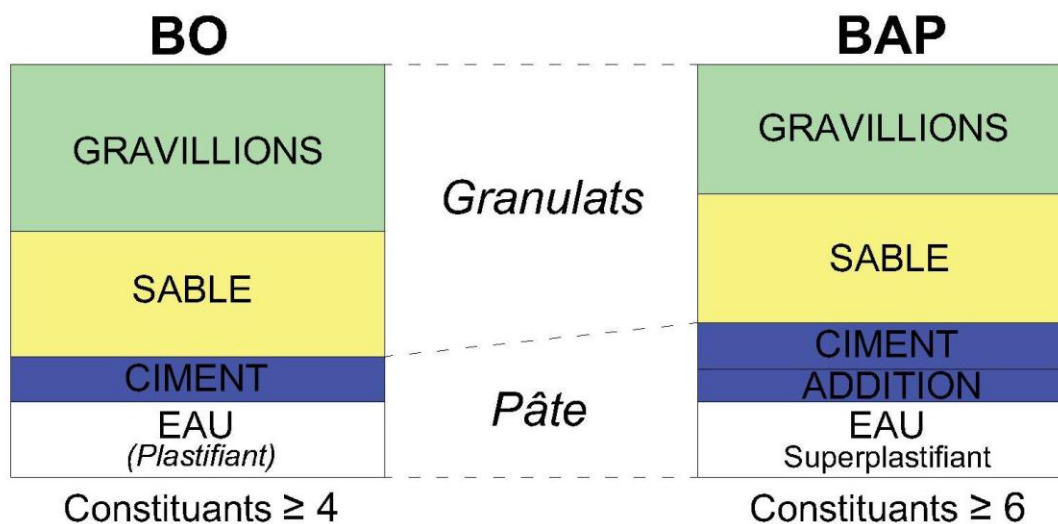


Figure I.3 : Comparaison de la structure d'un BAP d'un BO [4]

c) Béton lourd :

Les bétons lourds sont des bétons spéciaux de haute densité supérieur à 3000 Kg/m^3 par rapport le d'autre type de béton

Le béton lourd utilisés comme boucliers contre les rayonnements ionisants dans les installations nucléaires, qui permettent aux structures porteuses, offrent une protection contre les rayons gamma et autres rayonnements Ils sont également utilisés comme lest dans des structures nécessitant beaucoup de poids. Le béton lourd a une composition différente du béton conventionnel. Dans le cas du béton lourd, on utilise principalement des granulats lourds pour obtenir une densité sèche élevée. [5]

d) Béton léger :

Les bétons légers Les bétons légers présentent des masses volumiques qui vont de 800 à 2000 kg/m³. [6]

Cette caractéristique rend ce béton très utile dans la réalisation de structures plus légères (mur, plancher, dalle), C'est également un bon isolant thermique et phonique.

e) Béton de Poudre Réactive (BPR) :

Le béton de poudre réactive par définition est un matériau à matrice cimentaire pour lequel le nombre, la nature, la morphologie et le dosage des différents composants granulaires ont été optimisés afin d'obtenir des performances mécaniques élevées et une durabilité améliorée

Le (BPR) introduits et développé en France par Richard et Cheyrezy sont à l'origine de toute une gamme de Bétons à Ultra Hautes Performances de résistance en compression supérieure à 150 MPa. [7]

f) Béton de fibre :

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres, lors de la formulation du béton fibré, des fibres sont ajoutées aux divers matériaux qui le composent, Pour obtenir un béton doté de hautes performances, il faut essayer d'obtenir un mélange dans lequel les fibres sont réparties de manière homogène puisque ce sont ces fibres qui permettront l'obtention d'un béton amélioré qui pourra, par la suite, convenir à de nombreux usages.

Pour la fabrication d'un béton fibré, plusieurs natures de fibres peuvent être utilisées : métalliques, organiques et céramiques.

En fonction de leur nature, ces fibres ont des caractéristiques différentes et ne réagissent pas de la même façon et les caractéristiques du béton varient ainsi selon le choix des fibres à adopter. [8]



Figure I.4 : béton aux fibres [8]

I .2 Les béton ordinaire :

I .2 .1 Définition :

Le béton ordinaire est un matériau de construction par excellence depuis près d'un siècle.

Le béton contemporain est réalisé à partir de ciment (résultat de la cuisson d'un mélange d'environ 70% de calcaire et 30% d'argile avec quelques additions dont du gypse), eau et granulats Il y a parfois des adjuvants.

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre 20 MPa $\leq f_{c28} \leq 50$ MPa et à une masse d'environ 2 500 kg/m³, il peut être armé ou non armé, et peut même être précontraint. [9]

I .2.2 constituants du béton ordinaire :

I .2.2.1 le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, gâché avec de l'eau il forme une pâte qui fait prise et durci. Après durcissement il conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau (tout comme la chaux hydraulique) utilisé dans la préparation du béton.

Pour un béton ordinaire, nous pouvons utiliser des ciments de type CEM I, CEM II, CEM III, CEM III/C ou CEM V. Le choix et le dosage déterminent la résistance du béton ainsi que ces différentes propriétés.

	Cim. Portland	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pozzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	/95%	/80% ≤94%	/65% ≤79%	/35% ≤64%	/20% ≤34%	/5% ≤19%	/65% ≤90%	/45% ≤64%	/40% ≤64%	/20% ≤39%
Laitier (S)	*	6%≤	21%≤	/36% ≤65%	/66% ≤80%	/81% ≤95%	*	*	/18% ≤30%	/31% ≤50%
Pouzzolanes (Z)	*	total	total	*	*	*	10% ≤ total	36% ≤ total	18% ≤ total	31% ≤ total
Cendre siliceuses (V)	*	≤20%	≤35%	*	*	*	≤35% (fumée ≤10%)	≤55% (fumée ≤10%)	≤30%	≤50%
Fumée de silice (D)	*	(fumée)	(fumée)	*	*	*	*	*	*	*
Cendres calciques (W)	*	de	de	*	*	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*	silice	silice	*	*	*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*	≤10%)	≤10%)	*	*	*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Figure I.5 : tableau de différent type du ciment

I .2.2.2 les granulats :

On appelle « granulat » (ou « agrégat ») le matériau granulaire inerte utilisé en construction, notamment dans la composition du béton. Selon leur taille, ces particules minérales sont appelées filler, sable, gravier (également appelé gravier ou cailloux), cailloux ou ballast.

Dans le béton ordinaire ces dimensions sont comprises entre 0,063 et 25 mm Il est important de mentionner que les granulats représentent 60 à 75 % du volume total [10]

I .2.2.3 le sable :

Le sable fait partie intégrante du squelette granulaire et a le plus grand impact sur la structure béton et mortier. Il joue un rôle clé dans la réduction des variations de volume, La chaleur dégagée et le prix de revient du béton. Il doit être propre et ne pas contenir Éléments nocifs. Il est recommandé de se méfier du sable granitique, du mica en flocons, Argile, sulfates...

En cas de sable concassé : poussières, plaquettes, Aiguille. Compte tenu de son utilisation dans la fabrication de mortier, le sable doit résister tests en laboratoire, c'est-à-dire analyse granulométrique, test d'équivalent sable, Test au bleu de méthylène et analyse chimique. [11]

I .2.2.3 l'eau de gâchage :

C'est l'eau ajoutée au béton lors du malaxage. Elle représente la plus grande part de l'eau contenue dans le béton. L'autre partie est apportée par les granulats et les adjuvants.

- Elle participe activement à l'ouvrabilité du béton frais en lui donnant une fluidité satisfaisante pour la mise en place, grâce à son action lubrifiante sur les différents grains, et grâce à la cohésion de la pâte résultant de l'association des grains fins avec l'eau. Il ne faut cependant pas abuser de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton.
- Elle permet l'hydratation du ciment et donc le développement des résistances mécaniques du béton. C'est en effet au contact de l'eau que le ciment fait sa prise et durcit.

I .2. 3 caractérisation du béton ordinaire :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- Le béton frais : Mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.
- Le béton durci : Solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité

S'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

I .2. 3 .1 Propriétés du béton frais :

La propriété fondamentale du béton frais est sa maniabilité, c'est-à-dire la facilitation de la mise en œuvre du béton à condition d'un remplissage parfait des coffrages et d'un enrobage complet des armatures. [3]

Ouvrabilité il est nécessaire de rendre le béton maniable et de maintenir son homogénéité. Elle se caractérise par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Pour le béton ordinaire, il est principalement affecté par les facteurs suivants :

- La nature et la quantité d'adhésif.
- Forme des agrégats.
- Granularité et granularité.
- Consommation d'eau.

La transformabilité peut être évaluée de plusieurs manières, notamment en mesurant la plasticité. Il existe de nombreux tests et tests différents qui mesurent certaines caractéristiques dont dépend la convivialité.

I .2. 3 .1 .1 L'affaissement au cône d Abrams :

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai simple qui permet de mesurer et contrôler la fluidité du béton frais.

La fluidité, également appelée maniabilité, est une qualité essentielle du béton frais qui le rend apte à remplir n'importe quel volume. La quantité qui caractérise la fluidité du béton est la

consistance. Sa mesure peut être facilement réalisée avec la méthode du cône d'Abrams ou "slump test", qui est un test d'affaissement d'un volume tronconique de béton. Le test est utilisé à la fois par les producteurs de béton pour contrôler la qualité du béton produit dans les centrales à béton et par les entreprises utilisatrices pour accepter les bétonnières sur les chantiers. [12]



Figure I.6 : Mesure de l'affaissement

I .2. 3 .1 .1 La masse volumique du béton frais :

La densité du béton frais est mesurée à l'aide d'un récipient étanche et suffisamment solide. Le béton est placé dans le conteneur et, après avoir été correctement nivelé, est serré à la main à l'aide d'une aiguille vibrante, d'une table vibrante, ou avec des tiges ou des aiguillons. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1 : est la masse du récipient (kg).

m_2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3)

La masse volumique du béton est arrondie aux $10 \text{ kg}/\text{m}^3$ les plus proches.

I .2. 3 .2 Propriétés du béton durcis :

I .2. 3 .2.1 Résistance à la compression :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques la résistance du béton en compression été la plus étudiée. La résistance à la compression du béton est mesurée sur des éprouvettes, typiquement des cylindres de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur ou des éprouvettes cubiques 10×10×10cm fabriqués dans des moules.

Les éprouvettes sont d'abord portées à la surface afin que le contact avec le plateau de la presse à imprimer produit le moins de frottement possible de l'objectif d'appliquer une contrainte homogène dans toute la section durant l'essai [13]

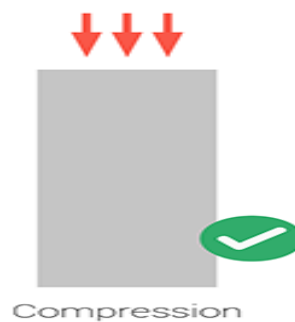


Figure I.7 : principe d'essai de la résistance à la compression d'échantillons de béton durci

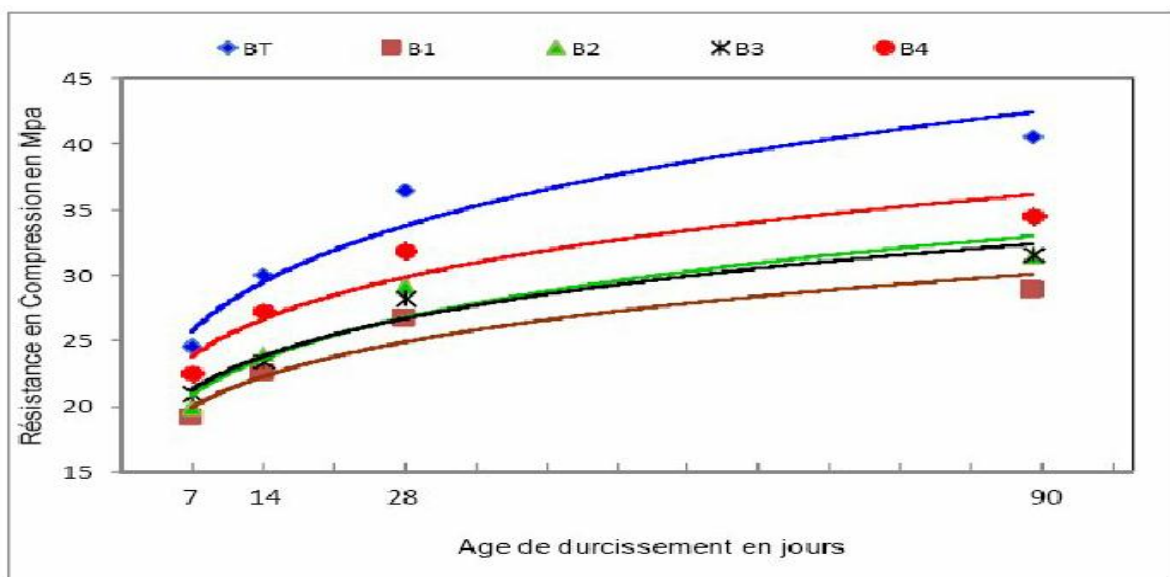


Figure I.8 : Evolution de la résistance en compression en fonction des échéances pour les bétons à différentes combinaisons granulaires [14]

I .2. 3 .2.2 Résistance à la traction par flexion :

Les chercheurs et les ingénieurs ont alors travaillé à développer la théorie, mener des recherches et méthodes alternatives de test et de dérivation pour permet d'accéder à la représentation de ce paramètre interne matériel.

Donc la résistance à la traction du béton peut être mesurée par test de flexion éprouvettes prismatiques de section carrée, ou via un autre mode de test classique est appelé "brésilien".

La résistance à la traction est une grandeur caractéristique est très important, cela ne dépend pas seulement de la forme et la taille de l'échantillon, y compris la nature de sa surface et la vitesse d'application de la charge. [15]

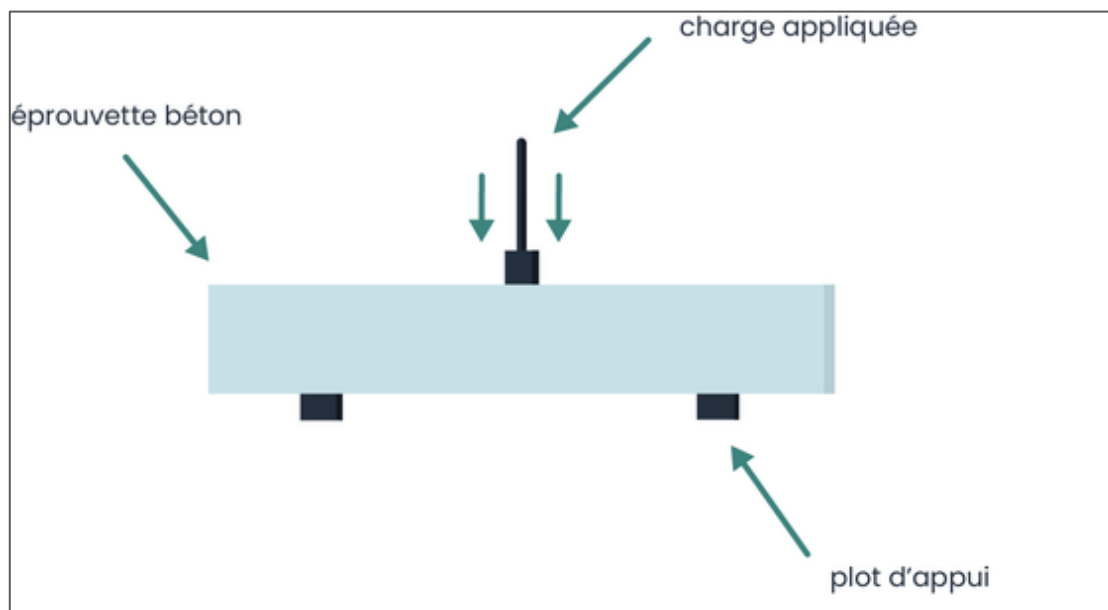


Figure I.9 : Dispositif de flexion 3 points (ou flexion pure)

I .2.3.2.3 Essai non destructif béton :

Les essais non destructifs (END) représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments, ouvrage d'art ou de génie civil.

Les essais non destructifs du béton ont une signification scientifique et une valeur pratique importantes.

Ces dernières années, ce sujet a reçu une attention croissante, en particulier nécessité de caractériser la qualité des ouvrages en béton endommagés, Utiliser des méthodes non destructives. [16]

La méthode non destructive présente les avantages suivants :

- N'altère pas les performances ou l'apparence de la structure ;
- Capacité à suivre l'évolution des propriétés du béton au fil du temps ;
- Sécurité accrue, meilleure planification de la construction ;
- Progression plus rapide et plus économique

a) Essai d'auscultation dynamique :

Connu sous le nom de test par ultrasons, ce test détermine la vitesse de propagation des ondes longitudinales (de compression) à travers les éléments en béton.

Le principe de la méthode est de mesurer le temps que prend la vague, d'où le nom une méthode pour parcourir une distance connue (vitesse du test du son), Les principales caractéristiques de tous les appareils comprennent un générateur d'impulsions et un récepteur d'impulsions.

Les impulsions sont générées par des cristaux piézoélectriques excités par des chocs Cristaux similaires, ils sont utilisés dans les récepteurs (Jons.R et Facaoaru (1969)). [17]

La Fréquence du générateur d'ondes entre 10 et 150 HZ, temps de propagation Les ondes dans le béton sont mesurées par des circuits de mesure électroniques.

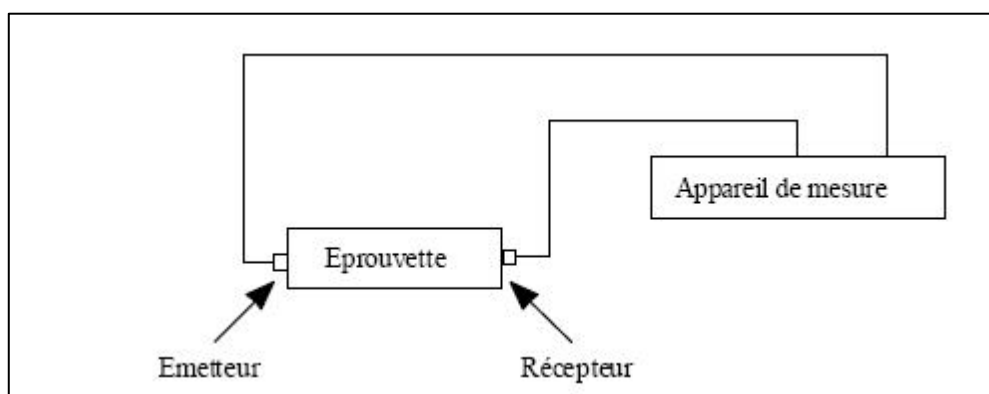


Figure I.10 : Appareil de mesure

b) Essai au scléromètre :

Ce test est l'un des plus anciens tests non destructifs et est encore largement utilisé par nous aujourd'hui il a été développé par Ernst Schmidt en 1948 et est connu sous le nom de test du marteau Essai Schmidt ou scléromètre.

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. [16]

L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de :

- L'énergie de recul.
- Caractéristiques des systèmes de ressorts.

I . 2.4 formulations du béton :**a) Méthode de bolomey :**

La méthode de Bolomey a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton.

Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m³ ; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.

D : est le diamètre du plus gros granulat.

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. [18]

b) Méthode de d'Abrams :

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum.

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams et sont indiqués dans des valeurs tabulées en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulats.

c) Méthode Faury :

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode de Bolomey, La méthode de Faury donne des bétons comportant moins de sable et plus de gravier.

Ces bétons sont plus raides et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable.

Les bétons Faury auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants.

Se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

A : valeur tabulée

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule

d) Méthode de JOISEL :

Comme FAURY, inspiré de la théorie de CAQUOT, la méthode JOISEL est plus généralisable. Il considère que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est une fonction de $\sqrt[m]{D}$, où "m" dépend de la compacité des granulats de taille uniforme compactés selon le mode de compactage, et alors "m" peut varier de 3 à 10.

En utilisant $\sqrt[m]{D}$, comme échelle des abscisses, JOISEL utilise une forme linéaire de la courbe de référence. [18]

e) Méthode de VALETTE :

Méthode essentiellement expérimentale, elle nécessite un nombre de calculs préparatoires. Plus connue sous la désignation de « dosage des bétons à compacité maximale », « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

Son principe est de mesurer le volume de vide d'un sable mouillé, et le comblé par un volume égale de pâte pure de ciment. On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec l'ouvrabilité désirée. [18]

f) Méthode de Dreux-Gorisse :

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique, Il s'agit de rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité requises à partir des données de base nécessaires à la formulation du béton, telles que la granulométrie (D).

La méthode de formulation Dreux-Gorisse détermine les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravier g et gravier G) nécessaires à la fabrication d'un mètre cube de béton selon un cahier des charges.

L'obtention de la formule théoriquement spécifique nécessite plusieurs étapes de calcul séquentielles, Il est nécessaire de prédéterminer C/E, le rapport de C et E, le mélange optimal avec un minimum de vides, la compacité du béton et la qualité du granulat.

I .2. 5 les avantage et les inconvénients :

a) Les avantage :

- Le béton étant un élément important d'un bâtiment, il est plus couramment utilisé comme matériau de construction que le bois.
- Le béton peut être moulé dans une variété de formes lorsqu'il est fraîchement mélangé.

b) Les inconvénients :

- Les conditions de manipulation
- Il nécessite des personnes qui exercent un travail à caractère intellectuel ou technique exigeant des connaissances approfondies dans un champ particulier de sa discipline.

Chapitre II

valorisation des déchets

Introduction :

En tant qu'êtres humains, nous devons vivre sur terre pendant longtemps, et étant l'un des organismes vivants les plus développés, nous réalisons des réalisations incroyables sur le plan scientifique et industriel, mais ces industries ont un lourd tribut, qui est la pollution de l'environnement, que ce soit dans l'atmosphère ou dans les ressources de la terre. Par conséquent, le recyclage des déchets est essentiel pour réduire cette pollution. Nous consommons depuis longtemps les ressources naturelles de la planète et c'est une mauvaise habitude dans nos sociétés que lorsque nous finissons quelque chose nous le jetons, nous devons combattre ce comportement et le changer. Nous devons repenser et interagir avec les projets de recyclage. Nous devons essayer de faire passer notre économie d'une économie linéaire à une économie circulaire. Jusqu'à présent, l'économie a fonctionné selon un modèle linéaire. Nous partons des ressources minières et les utilisons pour construire quelque chose. Après que quelque chose est usé ou n'est plus utile, on s'en débarrasse. Ensuite, nous construisons de nouvelles choses pour remplacer ce que nous avons laissé de côté. Les nouveautés ont tendance à être plus chères parce que les ressources dont nous avons besoin se raréfient, elles sont donc plus chères.

Les indicateurs officiels confirment que plus de la moitié des déchets ménagers et assimilés en Algérie finissent par être déversés dans des décharges, avec des répercussions directes sur l'environnement, notamment la pollution des nappes phréatiques. "Entre 55 et 60% des déchets ménagers en Algérie sont déversés dans des décharges terrestres, contre 35 à 40% laissés dans des décharges techniques", a déclaré coût de sa gestion augmente sur les épaules du gouvernement, qui a dépensé 67,4 milliards de dinars (430 millions d'euros) entre 2002 et 2016, dont la moitié a servi à construire des décharges le président du Conseil national économique, social et environnemental, Reda Tir, en juin dernier. L'Algérie produit des quantités croissantes de déchets ménagers s'élevant à environ 13,5 millions de tonnes par an en raison de l'expansion démographique, de l'urbanisation et du développement économique. Dans ce contexte, [19]

Les déchets, de toutes sortes, sont devenus un domaine d'investissement important pour de nombreux pays et entreprises, grâce à la technologie de recyclage et à l'introduction de la technologie dans cette activité, après avoir été une source de pollution de l'environnement et d'émission d'odeurs désagréables. Aujourd'hui, les nécessités de réduction de la pollution, d'économies d'énergie et de gestion des ressources naturelles ont transformé le traitement des déchets en une donnée incontournable pour la survie de la planète.

II.1 Les déchets :**II.1.1 Qu'est-ce qu'un déchet ?**

Le terme déchet vient du verbe « déchoir » qui traduit la diminution de la valeur d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en moment donné. Il revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple). En général, Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse.

II.1.2 Approche juridique :

Selon la loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 portant sur « La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets », on entend par déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble, dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer.» [20]

Selon le Code de l'Environnement (art. L541-1) et au sens de la loi du 15 juillet 1975, relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux on appelle déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls ceux qui sont qualifiés de déchets ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement. [21]

II.1.3 Approche sociologique :

Socialement Le déchet est un révélateur, un marqueur, un traceur des espaces et des sociétés, il est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels [22]

II.2 Origine de la production des déchets :

- a) **Biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites (cadavre, matière fécale etc. ...).
- b) **Chimiques** : 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.
- c) **Economique** : Selon le sens économique du terme, un déchet est défini comme un objet ou une matière dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné, les produits en une durée de vie limitée ; cela veut dire La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduits, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement
- d) **Écologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.

II.2.1 Classification des déchets :

- a) **Déchets ménagers** : Ce sont des déchets domestiques, ils comprennent ceux qui leur sont assimilables par la nature Il s'agit notamment des déchets de métaux, déchets inertes (gravats, laitiers, scories, cendres, ...), déchets de caoutchouc et plastiques, déchets de bois, paille ordures ménagères (O.M), ...etc.
- b) **Déchets agricoles** : Les déchets issus des exploitations agricoles font également l'objet d'un traitement spécifique : ce sont toutes les ordures et matières issues de l'élevage et des cultures, qui peuvent comprendre les films de paillage, les purins, comme les huiles et autres produits toxiques
- c) **Déchets à risques infectieux** : Les déchets issus des soins aux particuliers, des hôpitaux et des laboratoires font l'objet d'une catégorie à part : les seringues, bandages, pansements, compresses et l'ensemble du matériel médical usagé présentent un risque d'infection et/ou de contamination pour les personnes et pour l'environnement.
- d) **Non dangereux** : Les déchets non dangereux issus des activités économiques sont de même nature que les déchets ménagers et peuvent subir les mêmes traitements : le

recyclage dans le cas des déchets papier, carton ou plastique, l'incinération des ordures non valorisables.

- e) **Toxiques** : Les déchets d'entreprises et de sites industriels sont classés toxiques lorsqu'ils contiennent des produits dangereux pour la santé et pour l'environnement : il s'agit par exemple des solvants, huiles, goudrons, mais aussi des déchets électroniques et électriques. Ils doivent faire l'objet d'un traitement spécifique pris en charge par des sociétés dédiées et régi par des protocoles précis. [23]

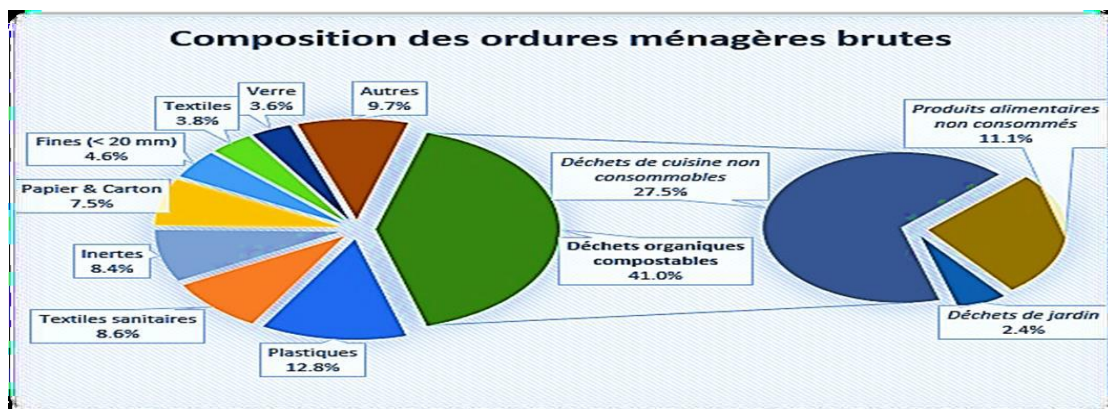


Figure II.1: la composition des ordures ménagères [24]

II.3 Classifications chimiques des déchets :

- a) **Déchets acides** : solutions résiduelles acides diverses (HCL H₂SO₄, HNO₃, acides organiques).
- b) **Sels résiduels** : sulfates de calcium, carbonate de calcium.
- c) **Déchets organiques** : solvants usés, huiles usagées, boues d'hydrocarbures, liqueurs résiduelles, phénolées
- d) **Déchets minéraux** : déchets siliceux (sable de fonderies), déchets de silicates ou silico-aluminates (schistes houillers, déchets de verre, cendres de centrale thermiques,) déchets de calcaire (déchets de marbre, carbonate de calcium résiduel de sucreries,) L'inconvénient de cette classification est l'existence de déchets de nature chimique complexe (mélange).
- e) **Métaux** : (ou ferrailles) correspondants aux déchets de fabrication et de transformation des métaux carcasse de véhicules, déchets de métaux précieux, câbles et les objets métalliques en fin de vie et mis aux rebus. [25]

II.3.1 Sources et natures des déchets ménagers :

Les sources des déchets ménagers sont diverses, ils proviennent de plusieurs secteurs. Les différentes sources identifiées sont présentées dans le tableau (II.2) ;

Tableau (II.1) : source et nature de production des déchets [26]

Sources	Nature	Fréquence
Ménages	Déchets biodégradable (forte proportion), plastique, verre, textile, papier, carton,	Journalière
Marchés	Semblable à ceux des ménages mais en plus faible quantité	Journalière
Magasins/boutiques	Les matières plastiques, les papiers et cartons sont en forte proportion	Journalière sauf les jours non ouvrables
Restaurants	Déchets biodégradables (forte proportion), plastiques, carton etc.	Journalière
Ecoles	Les papiers, les cartons et les matières plastiques sont en forte proportion	5 jours/7
Bureaux administratifs	Les papiers, cartons sont en forte proportion	5 jours/7
La pêche	Les déchets biodégradables rencontrés sur les côtes sont en forte proportion.	Journalière
Hôtels	Les déchets biodégradables sont en forte proportion	Journalière

II.3.2 Gestion des déchets :

L'état algérien joue un rôle essentiel dans le contrôle des substances dangereuses, Pour cela, il propose des programmes d'incitation destinés à réduire la quantité de produits nocifs utilisés et a aussi mis en place des procédures sécurisées encadrant la fabrication, l'élimination des substances dangereuses.

La gestion des déchets est devenue une branche de la science comportementale appliquée.

Elle comprend la collecte, le transport, le traitement, le recyclage ou l'élimination des déchets provenant des activités humaines.

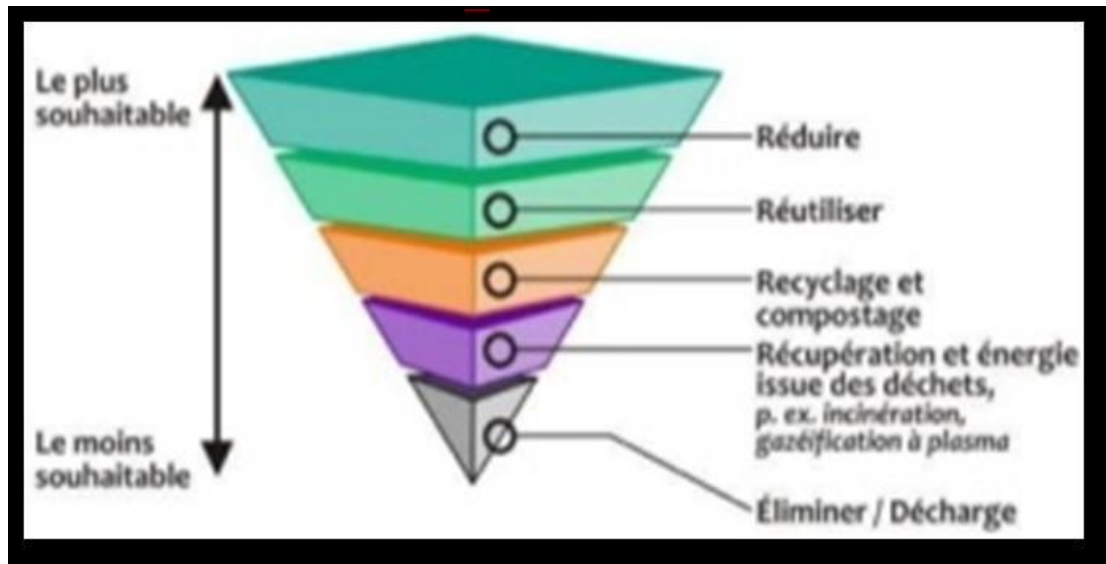


Figure II.2: hiérarchie des déchets [27]

II.3.2.1 Collecte, transport et stockage :

La collecte constitue la seconde étape de la gestion des ordures ménagères. Elle consiste à enlever les déchets présentés dans les bacs ou sur les points de regroupement (conteneurs) Une bonne collecte des déchets a pour objet de libérer le plus vite possible l'homme de ses déchets.

Ces derniers s'ils séjournent trop longtemps en milieu urbain, ils peuvent causer des nuisances olfactives en raison de leur décomposition rapide, des dangers pour l'hygiène et la santé de la population ; (milieu favorable pour le développement des vecteurs de maladies transmissibles comme les rats et les mouches) C'est pourquoi la collecte doit être régulière et dans des récipients fermés.

La mise en place d'un système de collecte des ordures ménagères est fonction des besoins à satisfaire et des divers impératifs à observer, les données de base sont : La population à desservir et la quantité des déchets produites la collecte traditionnelle des déchets urbains est le système de gestion le plus fréquent dans les pays en développement, dans certains quartiers, elle fluctue en fonction des dispositions mises en place actuellement il existe différents modes de collecte



Figure II.3: Collecte des déchets [28]

II.3.2.2 La collecte en apport volontaire :

Acte volontaire d'aller dans un lieu particulier pour y déposer ses déchets. Ce geste volontaire reflète le niveau d'implication de l'habitant, et permet principalement de minimiser la gêne dans le lieu de vie, Pour type de collecte, les particuliers disposent des déchèteries de la collectivité territoriale.

Celles-ci sont parfois ouvertes aux apports en petites quantités des commerçants et des artisans. Les catégories de déchets sont alors précisées par arrêté préfectoral.

La démarche d'apport volontaire concerne également les acteurs du réemploi et de la réutilisation : les ressourceries et recycleries, les acteurs de l'économie sociale et solidaire (ESS), les ateliers de réparations et de fabrication-réparation.

II.3.2.3 La collecte en port à port :

C'est la municipalité qui organise la collecte des déchets déposés par les producteurs sur la voie publique, une à quatre fois par semaine. Le traitement des déchets s'appuie sur une logistique et des équipements de collecte, de transport et de traitement. Du producteur au traitement, les déchets doivent être collectés puis être transportés jusqu'aux installations dédiées. [29]



Figure II.4: collecté par les récupérateurs [30]

II.3.2.4 Transport et le transfert :

Le transport est la phase au cours de laquelle les ordures sont acheminées vers une destination appropriée : décharge, Centre d'enfouissement technique, usine de traitement, etc. Les différents types de collecte de déchets urbains font intervenir des modes de transport allant des plus rudimentaires (charrettes) aux plus sophistiqués, comme les camions-bennes.

Le choix des matériels de collecte dépend des caractéristiques de la ville desservie, du type de pré collecte et des ressources financières de la municipalité. L'intérêt d'une installation de transfert, est de réduire les coûts de transport entre certaines sources et le site de traitement par la mutualisation de flux de déchets.

II.3.2.5 Le triage :

Les résultats du tri des déchets doivent fournir les renseignements essentiels pouvant orienter les pouvoirs publics concernés dans la prise de décisions. Le manque de ces données à ce jour explique en grande partie le retard considérable observé dans le pays - à l'instar des autres pays en développements en matière de gestion des déchets.

Il s'agit principalement de connaître les quantités générées par ménage et par jour dans les différentes catégories socio-économiques de la population, les proportions valorisées au niveau ménage, la composition physique de la poubelle ménagère, la répartition des ordures ménagères par taille, le potentiel valorisable et stockable et le potentiel polluant générés par ces refus.

II.3.2.6 Stockage :

Le stockage des déchets est une étape importante dans la gestion des déchets, mais les méthodes de stockage doivent être utilisées de manière responsable et conforme aux réglementations environnementales pour minimiser les impacts à long terme sur l'environnement et la santé publique.

Il est important de promouvoir l'utilisation de méthodes de gestion des déchets durables qui réduisent la production de déchets et favorisent le recyclage et la valorisation des matières premières.

II.3.2.7 Le recyclage :

Recycler, c'est fabriquer un nouvel objet à partir de vieux, Objets Après la collecte et le tri des déchets dans les centres de traitement, le recyclage est effectué. C'est un processus de traitement, permettant la réintroduction des déchets dans le cycle de production d'où ils proviennent.

Les déchets recyclables sont des déchets qui peuvent être transformés en matières premières secondaires, permettant la production d'autres produits.

II.4 Traitement biologique :

II.4.1 Le compostage :

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques (substrats) organiques, sous forme solide ou semi-solide et d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée en température et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée.

Le produit ainsi obtenu est appelé compost Cette technique de valorisation de la MO a été adoptée pour le traitement des déchets dans plusieurs pays (Suède, Suisse, Danemark, Italie, Autriche, Etat Unis d'Amérique).

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique
- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols
- Réduction de la masse du déchet
- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols

[31]

II.4.2 L'incinération :

C'est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant figure (II.14). L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie ».

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques.



Figure II.5: L'incinération des déchets.

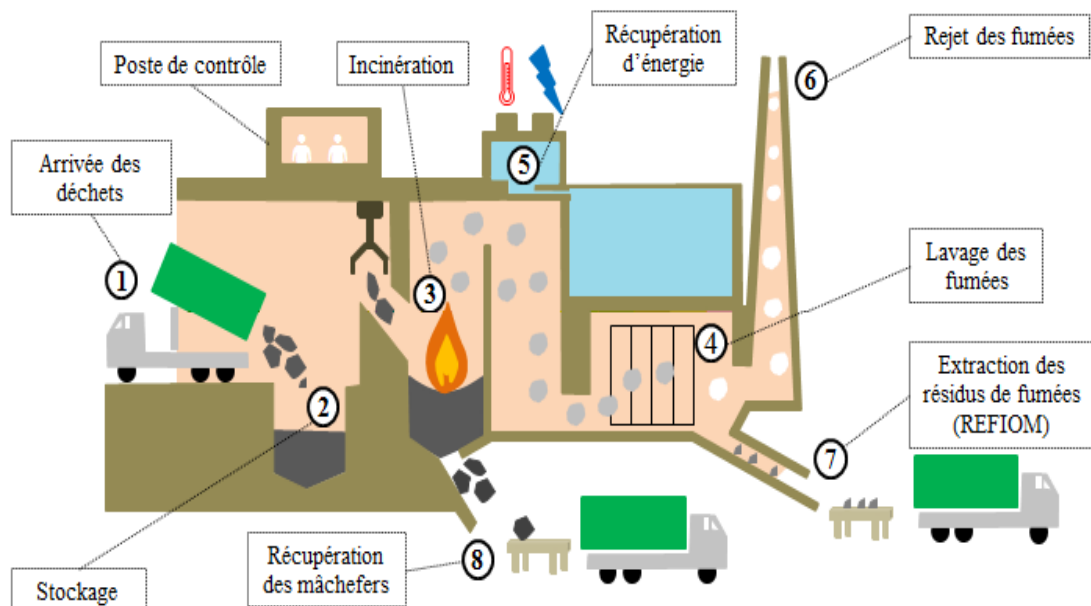


Figure II.6: Descriptif d'une usine d'incinération des déchets ménagers [32]

II.4.2.1 La mise en décharge contrôlée :

Il s'agit d'une décharge réglementaire, qui répond à de nombreuses exigences telles que les sites d'interface des déchets, l'épaisseur, la capacité, l'étroitesse, la collecte et la purification de l'eau qui coule.

II.4.3 Les produits qu'on peut valoriser :**Tableau II.2 :** représente les produits recyclables et non recyclables [33]

	Recyclable	Non-recyclable
Le papier	Papier journal, papier fin (papier à écrire), papier d'emballage, papier Kraft (sacs bruns), enveloppes avec ou sans fenêtre, affiches, annuaires téléphonique, calendriers (sans reliure spirale), chemises, classer, dépliants, livres, jeux de cartes, essuie-tout (sec) Carton	Papiers souillés d'aliments, papier carbone, papiers ciré, papier mouchoir, sacs de pomme de terre
Carton	Carton-pâte (boîtes d'œufs), boîtes de pizza propre, carton de lait et de jus, boîtes d'aliments congelés, cartons T'étrapas (boîtes à jus)	Cartons souillés.
Plastique	Bouteilles d'eau, de jus, de boisson gazeuse contenant de produits alimentaire (margarine, yogourt, crème glacée, muffins), contenant de produit d'entretien (liquide vaisselle, eau de javel, etc.) , contenants de produits cosmétiques (shampooing, crème), bouchons et couvercles de plastique,	Pellicule de plastique, contenant d'huile à moteur, de térébenthine, d'essence ou de tous autres produits dangereux, produits biomédicaux (seringue, aiguilles, etc.), emballages de croustilles, jouets fabriqués avec plusieurs matériaux, boyaux d'arrosage, cordes de nylon, corde à linge à balle de foin.
Métal	Boîtes de conserve (avec ou sans étiquette), bouchons et couvercle de boîte de conserve, canette d'aluminium, papier et assiette d'aluminium non souillé.	Batteries et piles contenant de peinture, de décapant contenant sous pression ou aérosol, pièces de métal, ceinture, file et broche de métal, rebuts automobile, métaux de construction
Verre		Vaisselle et porcelaine, vitres, miroirs, ampoules électriques et tubes fluorescents, fibre verre, céramique, pyrex, pots et bouteilles.

II.5 Les déchets dans le génie civil :

- a) **Le laitier de haut fourneau** : Le laitier des hauts fourneaux est un sous-produit de la production de la fonte dans les hauts fourneaux obtenue à partir du minerai et du coke métallurgiques figure (II.7).

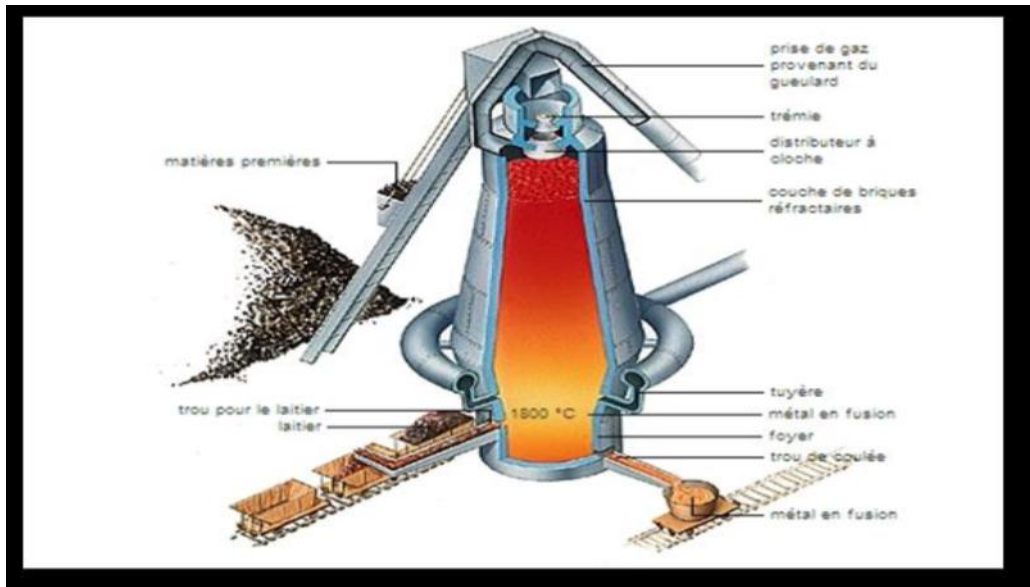


Figure II.7: Schéma de principe d'un haut fourneau

- b) **Le verre** : est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. C'est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes.

Chaque année, des millions de tonnes de verre non réutilisable sont accumulées, dans le but de le recycler.

Son utilisation dans la matrice de ciment a une interaction utile en étudiant la résistance à la compression du béton témoin, et des bétons avec différents pourcentages de poudre de verre « RGP », ont remarqués que le béton témoin montre une meilleure résistance à la compression que le béton RGP à un âge précoce (c'est-à-dire 7 jours).

Le béton RGP a eu un impact négatif sur la résistance au jeune âge en raison du retard de la réaction pouzzolanique.

A 56 jours, les bétons RGP (surtout avec 10%) ont gagnés en résistance en raison de la formation de C-S-H supplémentaire plus dense figure (II.8) [34]

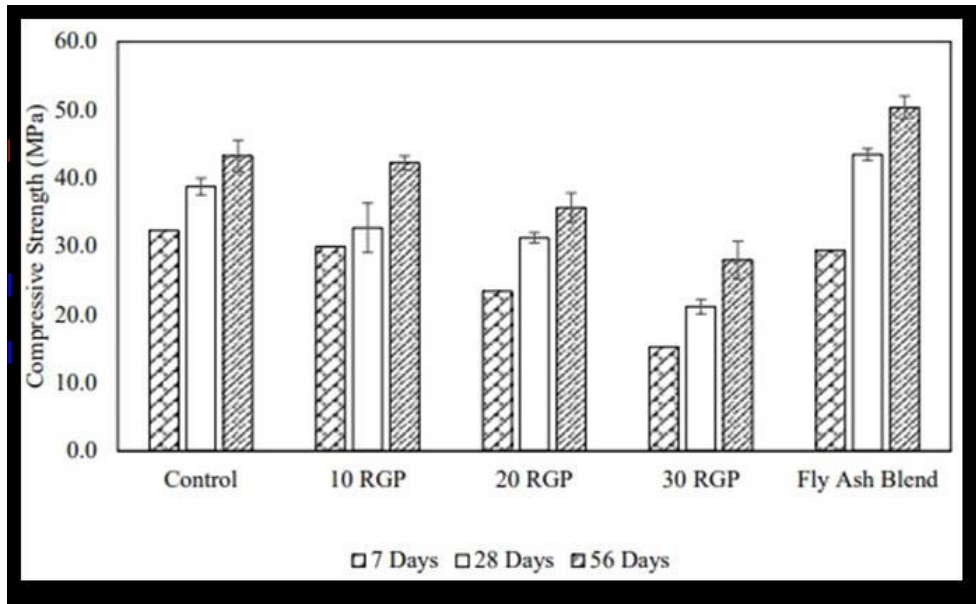


Figure II.8: Les résistances à la compression des bétons à RGP [34]

c) Les déchets de pneu usagé :

L'augmentation de la production automobile a entraîné une augmentation significative des pneus.

Ces dernières ont une durée de vie moins importante que l'engin. En les brûlant, ils causent une grave pollution de l'environnement, telle que la propagation de dioxyde de soufre et de particules de carbone dans l'air.

Le processus de recyclage des pneus, est l'un des projets de recyclage les plus réussis.

De nombreuses recherches ont cherché à tirer parti des déchets de pneus en les mélangeant à de l'asphalte pour produire des débris de caoutchouc utilisés dans des projets d'ingénierie et des travaux publics tels que :

Le blocage des murs de soutènement, le nivellement des pentes, le pavage et la réparation des routes, en raison de leur grande flexibilité pour absorber les chocs, et présentent des avantages tels que la fabrication de béton isolant léger, car il réduit le poids des charges mortes sur la base du temps d'achèvement, économise les coûts de transport et de construction et fournit une isolation thermique élevée sans avoir besoin d'utiliser Refroidissement et chauffages [35]

d) Les déchets céramiques :

Les déchets industriels enregistrent des constantes augmentations en raison des demandes continues d'utilisation des ressources par les humains. Ces déchets sont incorporés au béton, ou d'autre mélange cimentaire comme granulats.

Siddique a utilisé des granulats de céramique fin (FBA) à différents niveaux de remplacement (20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %). Ils ont constaté que le pourcentage de vides augmente à mesure que la teneur en FBA augmente (Figure II.9).

La texture rugueuse et l'angularité du FBA entraînent une formation légèrement plus élevée de vides dans le béton.

La série (E/C=0.55) présentait le pourcentage le plus élevé de vides, car l'excès d'eau présent lors du malaxage du béton se perd progressivement, formant des vides.

La surface relativement rugueuse du FBA nécessite une plus grande quantité de pâte de ciment pour fournir un revêtement approprié, ce qui crée également des vides. La forme angulaire du FBA entraîne un pourcentage accru de vides dans le béton.

L'angularité et la rugosité du FBA entraînent une demande plus élevée de pâte de ciment pour couvrir la surface, laissant ainsi des vides dans le béton. Cependant, le comportement pouzzolanique du granulats céramique compense ce phénomène en contribuant à la formation de produits d'hydratation, ce qui maintient ou augmente la résistance à la compression. [36]

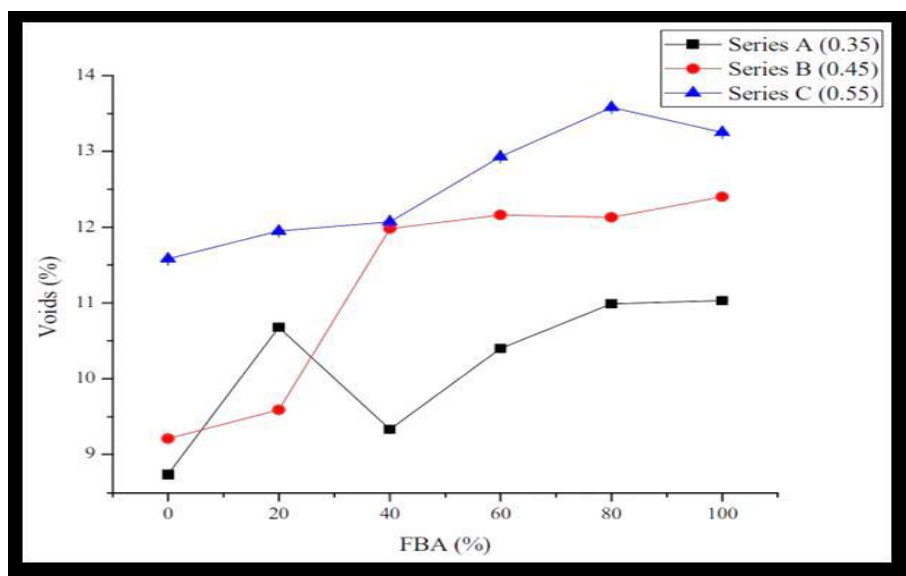


Figure II.9: Pourcentage de vides dans le béton [36]

e) Les déchets métalliques :

Le recyclage des déchets métalliques est une pratique courante qui permet de réduire les impacts environnementaux associés à l'exploitation des ressources naturelles et de prolonger la durée de vie des produits métalliques existants.

Les métaux peuvent être recyclés en différents types de produits, ce qui réduit le besoin de minerai neuf pour les productions de métaux. Les métaux recyclables comprennent notamment l'aluminium, le cuivre, le fer, le plomb, le nickel et l'acier.

Ces métaux peuvent être récupérés à partir de nombreux types de produits, tels que les canettes, les fils électriques, les voitures, les appareils électroniques, les produits de construction, les emballages et les ustensiles de cuisine.

Le recyclage des déchets métalliques est un processus qui comprend plusieurs étapes, notamment la collecte, le tri, le nettoyage, la décontamination et la fonte. Les métaux recyclables peuvent être collectés à partir de sites de déchets, de points de collecte municipale ou de centres de recyclage spécialisés.

Les métaux doivent ensuite être triés et séparés en différentes compositions et catégories de produits. Les métaux recueillis sont ensuite nettoyés et traités chimiquement pour enlever les impuretés.

Enfin, les métaux sont fondus à haute température pour produire de nouveaux produits en métal



Figure II.10 : Ferrailles et métaux [37]

II.5 Conclusion :

La gestion des déchets est une préoccupation majeure pour la société actuelle à mesure que la population mondiale continue de croître et que les industries se développent la quantité de déchets produits augmente également la gestion efficace des déchets est donc essentielle pour préserver notre environnement et notre santé publique avec son évolution considérable ces dernières années, le traitement des déchets apporte de nombreux enjeux environnementaux et économiques. Il devient nécessaire de trouver des méthodes durables et innovantes de collectes sélectives et de traitement des déchets, dans l'espoir de préserver l'environnement, la santé de l'homme, la qualité de vie et l'économie.

Chapitre III
Caractéristiques des
matériaux et
composition du béton

III.1 Introduction :

Le béton ordinaire est le matériau de choix pour la construction. Ces principaux constituants sont : Le ciment, l'eau, le gravier, le sable,

Dans cette étude nous présenterons les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, un béton ordinaire est formulé par la méthode Dreux-Gorisse

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de la substitution d'une partie du sable par des grains métalliques sur les caractéristiques des BO à l'état frais et durcis et de valoriser les déchets métalliques. Les pourcentages de substitution varient de 5%,10% et 15%.

III.2 Les matériaux utilisés :

Les matériaux utilisés dans cette étude :

- Le sable (0/5) de la région de BOUSAADA (Oued Maitar).
- Le gravier (3/8), (8/15) l'origine carrière COSSIDER à (ELECHE) BBA.
- Un ciment de type CEM II / A-L 42.5 N et provenant de la cimenterie GICA
- L'eau potable du laboratoire de génie civil.
- Les déchets métalliques (les grains métalliques).

III.2.1 Le sable :

Caractéristiques physiques de sable utilisé :

- L'analyse granulométrique (NF P94-056) pour déterminer la répartition de sable
- Module de finesse (NA EN 933-5)
- L'équivalent de sable (NF P 18-598) pour mesurer la propreté de sable entrant dans la composition de béton
- La teneur en eau (NA EN 933-5) permet de déterminer le pourcentage massique ($w\%$) d'eau dans le sable étudié
- La masse volumique, porosité et compacité, indice des vides (NF EN 1097-6)

III.2.1.1 L'analyse granulométrique (NF P94-056) :

L'analyse granulométrique est l'opération qui consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, etc.).

Habituellement, l'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres ; cette analyse peut se faire aussi bien par tamisage que par sédimentation dans l'eau en application de la loi de Stokes.

➤ **Mode opératoire :**

- Prélever une masse de 2 Kg de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide, soit mi la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0,08-fond].
- Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- Peser chacun des tamis.
- On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.
- Au fin tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1 g près,
- Soit M_i : la masse de tamis(i) + le sable.
- Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R1 de tamis 1).
- Reprendre ma même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R1, soit R2 la masse de refus m de tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{refus partiel sur tamis 2}$).
- Pour suivre la même opération avec la rente des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumules R3, R4... Rn le tamisât est calculé par la relation :

Tableau III.1 : Poids de l'échantillon (Kg) en fonction du diamètre

Poids de l'échantillon (Kg)	Diamètre max (mm)
2	Sable 0/5
1.6	Gravier 3/8
3.2	Gravier 8/16

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (III.2)

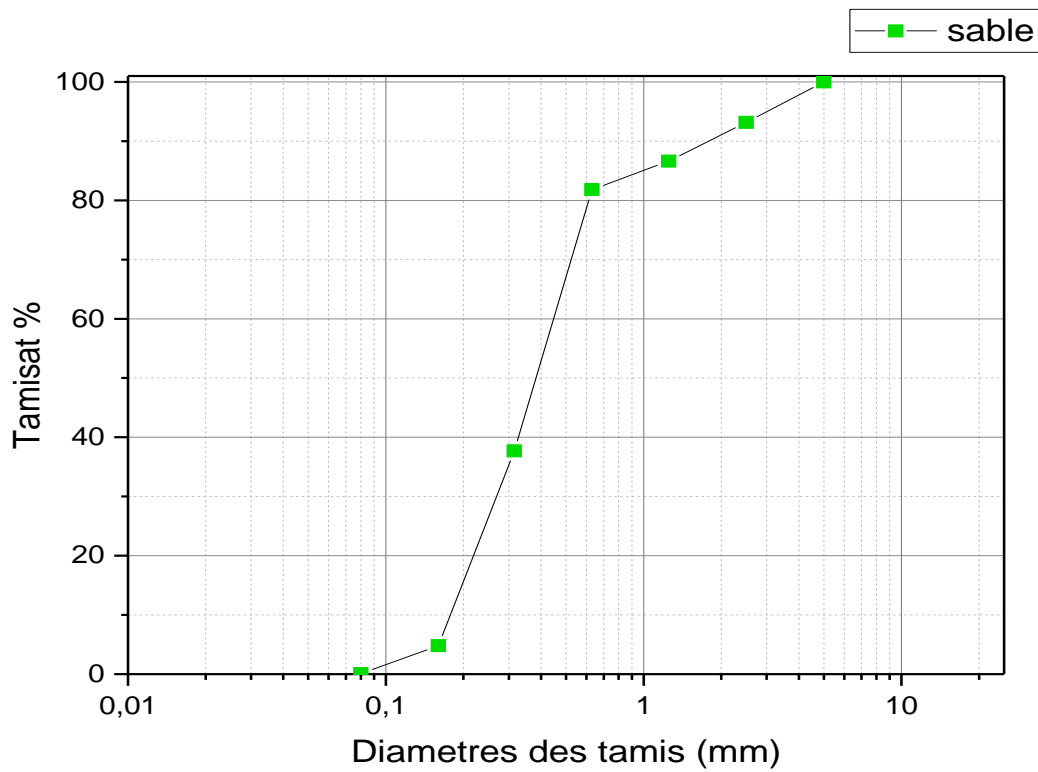


Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique de sable

III.2.1.2 Module de finesse (NA EN 933-5) :

Calculé par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum Rc\%(0.16;0.315;0.63;1.25;2.5;5)mm}{100}$$

Tableau III.3 : Les normes soviétiques spécifient de Mf des sables.

1 <Mf<1.5	Sables très fin
1.5 <Mf<2	Sables fin1
2 <Mf<2.5	Sables moyen
Mf>2.5	Sables gros

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

Mf = 1.95 (Le sable utilisé est considéré comme un sable fin).

III.2.1.3 Equivalent de sable (NF P 18-598) :

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers qui diminuent la qualité des bétons et provoque des gonflements et des retraits.

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g)
- On ajoute alors une quantité de sable sec(120g) et on attend 10 minutes.
- Ensuite on agite l'éprouvette à raison de 90 coups en 1 minute avec des battements de 30 cm.
- On la remplit de solution lavante jusqu'au deuxième repère
- Au bout de 20 minutes, le sable s'est déposé au fond et les fines forment une couche de « boue » par-dessus
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.
- Pour savoir l'équivalent de sable visuel (E.S.V)

$$ESV = (h_2 / h_1) \times 100 (\%)$$

- Pour savoir l'équivalent de sable piston (E.S.P)

$$E.S.P = (h'_2 / h_1) \times 100 (\%)$$

Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.

Hauteur h_2 : sable propre seulement.

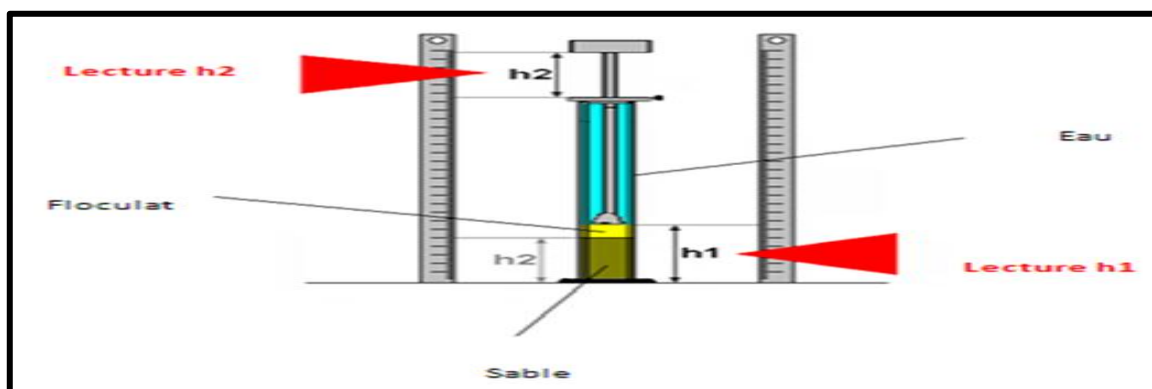


Figure III.3 : Principe de l'équivalent de sable.



Figure III.4 : une machine à vibrer automatique.

Tableau III.4 : les valeurs Equivalent de sable

N° d'essai	h1(cm)	h2 (cm)	ESV(%)	moy	h'2(cm)	ESP(%)	moy
1	12.3	9.2	75.04	73.06	8.2	66.66	65.66
2	12.2	8.9	72.95		7.8	63.93	
3	12.5	8.9	71.2		7.6	66.4	

(E.S.V) moy = 73,06.

(E.S.P) moy = 65,66.

C'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileuse.

Tableau III.5 : La norme d'équivalent de sables.

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
65% ≤ ES < 75%	60% ≤ ES < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% ≤ ES < 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85%	ES ≥ 80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

III.2.1.4 La masse volumique, porosité et compacité, indice des vides (NF EN 1097-6) :

a) Masse volumique apparente :

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent, après passage à l'étuve à $105\pm 5^\circ\text{C}$, notée ρ_{app} est exprimée en (g/cm^3 , kg/dm^3 , t/m^3).

▪ Mode opératoire :

- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On remplit le récipient par l'entonnoir avec une distance de chute égale ou moins 5 cm.
- On arase le matériau de la couche supérieur du récipient.
- Connaissant le volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

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

V_r : volume receptions



Figure III-5 : Equipment d'essai.

▪ L'état lâche :

Tableau III.6 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

N°d'essai	M1(g)	M2(g)	$\rho_{\text{app}}(\text{g}/\text{cm}^3)$	Moy
E1	115	1461	1.495	1.490
E2	115	1459	1.490	
E3	115	1460	1.494	

▪ **L'état compacte :**

Tableau III.7 : Masse volumique apparente du sable de Bousaâda à l'état compact

N°d'essai	M1(g)	M2(g)	$\rho_{app}(g/cm^3)$	Moy
E1	117	1553	1.590	1.590
E2	117	1557	1.600	
E3	117	1548	1.590	

b) La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_{abs} est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat.

▪ **Mode opératoire :**

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau
- On prend 03 échantillons de masse 300g
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 la masse volumique est alors donnée par la relation $\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$

Tableau III.8 : Masse volumique absolue du sable de Bousaâda

N°d'essai	M [g]	V1 [cm ³]	V2 [cm ³]	ρ [g / cm ³]	ρ_{moy} [g / cm ³]
E1	300	200	319	2.52	2.51
E2	300	200	320	2.50	
E3	300	200	319	2.52	

c) Porosité et compacité et indice des vides :

- **La porosité (NF P 18 554 ET 18 555) :**

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

$$P (\%) = 1 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) / 100$$

✓ La compacité est donnée par la formule :

$$C = \rho_{\text{app}} / \rho_{\text{abs}} = 1 - P$$

✓ L'indice des vides par la formule :

$$E = P/C$$

Tableau III.9 : les valeurs de porosité, compacité et indice des vides

Porosité p%		Compacité c%		Indice des vides c	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40.63	36.65	59.64	63.34	0.68	0.57

III.2.1.5 Teneur en eau (NF P 18-555) :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W tableau (III.10) contenu par unité de poids de matériau sec.

$$M = (M_h - M_s) / M_s \times 100 (\%)$$

M_h : Masse du matériau humide

M_s : Masse du matériau sec.

Mode opératoire :

- Peser un échantillon de sable humide, soit « M_h » son poids (500g) et le laisser dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105°C à 110°C pendant 24 heures.
- Peser l'échantillon de nouveau, soit « M_s » son poids.

Tableau III.10 : teneur en eau de sable

N°d'essai	M_h [g]	M_s [g]	W [%]
1	500	499	0.2
2	500	499	0.2
3	500	499	0.2

III.2.2 le gravier :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à B.B.A (carrière COSIDER).

Les fractions du gravier sont :

- ✓ Fraction **3/8**.
- ✓ Fraction **8/16**.

III.2.2.1 L'analyse granulométrique :**Tableau III.11 : analyse granulométrique des graviers**

Type de granulas	Maille de tamis(mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
3/8	8	42	2.57	1608	97.43
	6.3	541	35.76	1084	64.23
	5	411	60.98	624	39.01
	4	611	98.81	212	1.53
	3.15	22	99.81	80	0.18
	2.5	2	99.93	1	0.07
	Fond	1	100	0	0
8/16	16	134	4.18	3068	95.82
	12.5	767	28.13	2301	71.87
	10	1667	80.19	634	19.81
	8	486	95.37	148	4.63
	6.3	1384	99.68	10	0.32
	5	6	99.87	4	0.13
	Fond	2	100	0	0

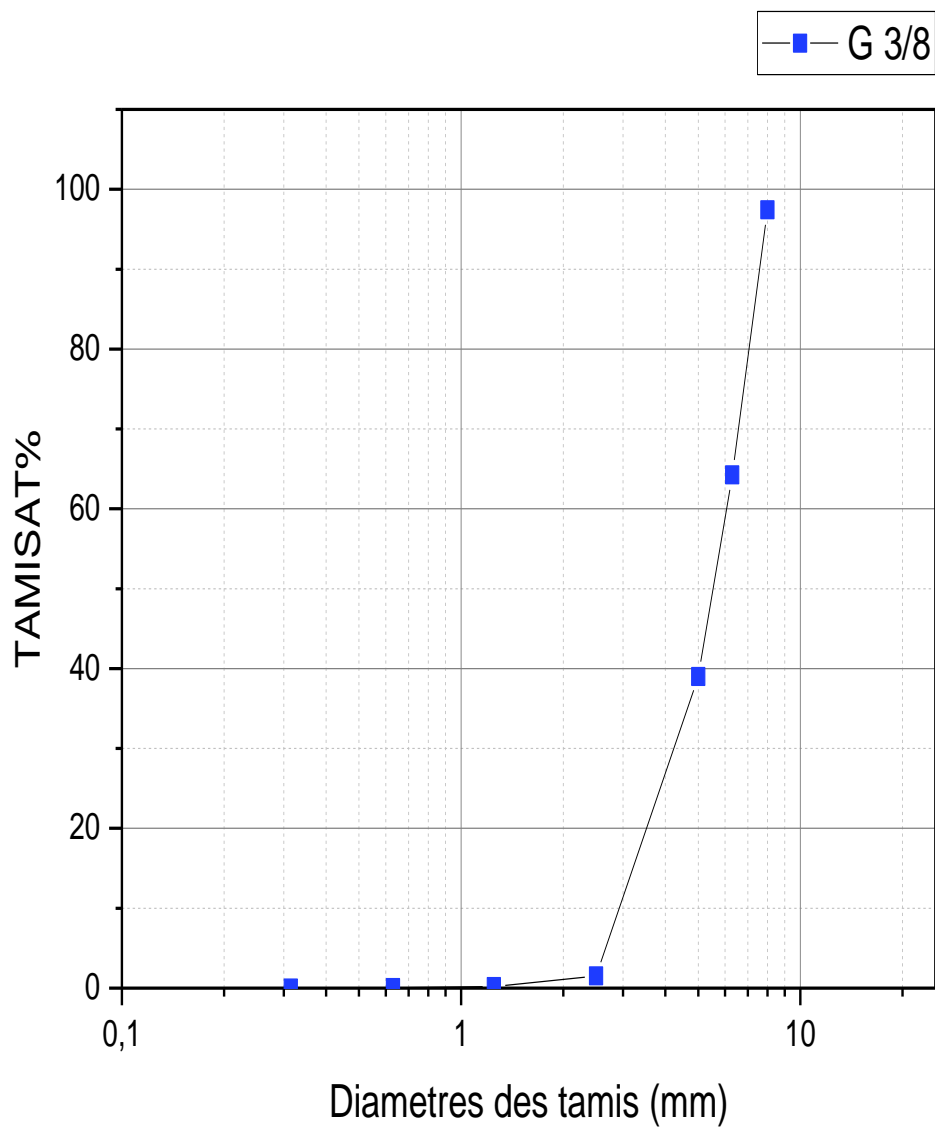


Figure III.6 : Courbe granulométrique de Gravier (3/8)

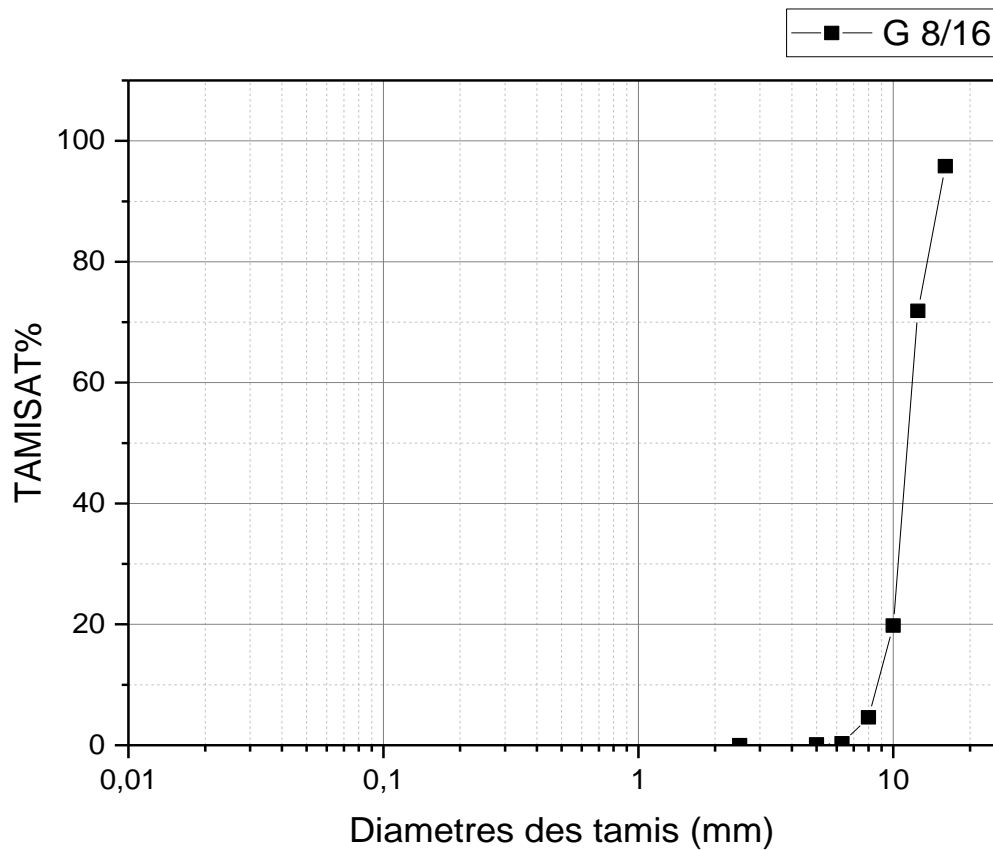


Figure III.7: Courbe granulométrique de Gravier (8/16)

III.2.2.2 La masse volumique :

a) La masse volumique apparente :

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V$$

V : volume du récipient

M₂ : poids de l'ensemble (granulats + récipient)

M₁ : poids

Tableau III.12 : Masse volumique apparent des graviers

N°d'essai	Gravier	V	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app}	Moy
E1		900	117	1374	1.396	
E2	8/15	900	117	1349	1.363	1.40
E3		900	117	1412	1.438	
E1		900	115	1430	1.461	
E2	3/8	900	115	1438	1.470	1.46
E3		900	115	1432	1.463	

b) La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue du gravier est déterminée par la formule : $\rho_{\text{abs}} = M/V$

Avec : $M = 400$ g et Volume de gravier : $V_1 = V - V_e$ et $V_e = 400$ cm³

Tableau III.13 : Masse volumique absolue des graviers

N°d'essai	Gravier	M (g)	V _e (g)	V (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)
E1 E2 E3	3/8	400	400	550 560 443	2,66
E1 E2 E3	8/16	400	400	550 552 554	2,6

III.2.2.3 Essai Los Angeles (NF EN 1097-2) :

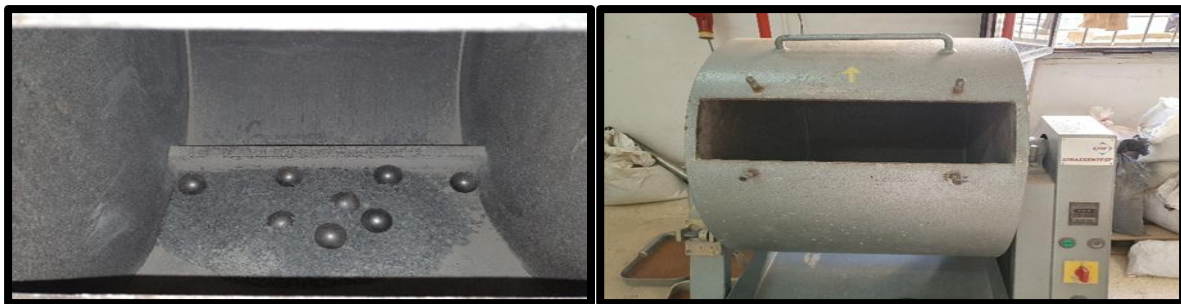
L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six classes granulaires qui sont : 4/6,3mm ; 6,3/10mm, 10/14mm, 10/25mm, 16/31,5mm, 25/50mm. Selon le type de granularité, la masse de la charge de boulets varie elle est donnée sur le tableau (III.14).

Tableau III.14 : nombre de boulet en fonction de la classe granulaire

Classes granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse de la charge de boulet (g)
4 – 8	8	3450 à 3540
6,3 -10	9	3840 à 3980
8 - 12,5	10	4260 à 4420
10-14	11	4700 à 4860
12,5 -16	12	5120 à 5300

TableauIII.15 : mesuré les résistances combinées à la fragmentation par chocs des granulats

Types de graviers	La masse initiale (g)	La masse de refus (g)	Coefficient LA %
3/8	5000	3637	24
8/15	5000	4047	19

**FigureIII.8.9** : Cylindre pour l'essai de Los Angeles sur les graviers**III.2.2.4 Degré d'absorption d'eau :**

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

$$Ab = (M_{\text{humide}} - M_{\text{sèche}} / M_{\text{sèche}}) \times 100 \%$$

TableauIII.16 : Degré d'absorption d'eau du gravier

Fraction	Essai	M humide(g)	M sèche(g)	A%	Moy
G 3/8	1	506.1	500	1.22	0.8
	2	502	500	0.4	
	3	504	500	0.8	
G 8/15	1	501	500	0.4	0.53
	2	503	500	0.6	
	3	503	500	0.6	

III.2.2.5 Teneur en eau (NF P 18-555) :**Tableau III.17 : teneur en eau du gravier**

Fraction du graviers	M _h [g]	M _s [g]	W [%]
G 3/8	300	296,5	1.16
G 8/15	300	292	2.7

III.2.3 Les déchets métalliques :

Les déchets métalliques utilisé dans la confection du béton est obtenu, par les travaux de tournage située à Sétif, c'est un matériau composé de petites particules de fer métallique.

III.2.3.1 L'analyse granulométrique :**Tableau III.18 : Analyse granulométrique des déchets métalliques**

Ouverture de passoire en mm	Refus en gramme	Refus cumule%	Tamisât en gramme	Tamisât (%)
5	3	0.29	1001	99.71
2.5	553	55.37	448	44.63
1.25	317	86.95	131	13.05
0.63	63	93.22	68	6.78
0.315	63	99.5	5	0.5
0.16	5	100	0	0
0.08	0	100	0	0
Fond	0	100	0	0

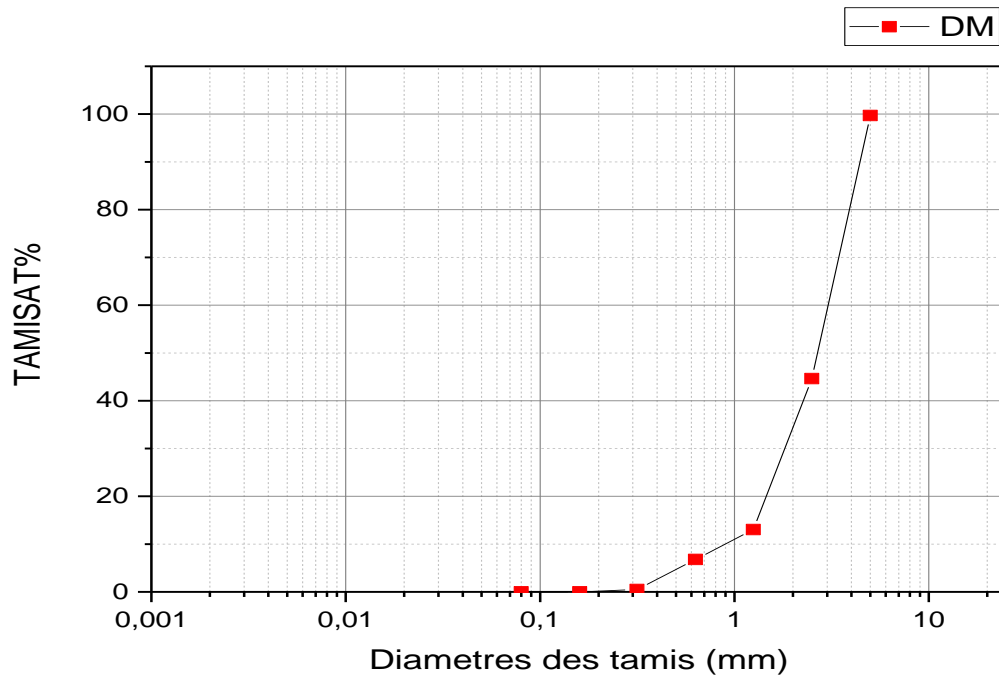


Figure III.10: Courbe granulométrique des déchets métalliques

III.2.3.2 La masse volumique :

a) La masse volumique apparente :

Tableau III.19: détermination de la masse volumique apparente des déchets

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	ρ_{app} (g/cm ³)	Moy
E1	1341	117	1.36	1.36
E2	1341	117	1.36	

b) La masse volumique absolues :

Tableau III.20 : détermination de la masse volumique absolue des déchets

N° d'essai	M1(g)	V (cm ³)	V (cm ³)	ρ_{abs}	Moy
E1	200	150	200	4	4.5
E2	200	150	190	5	



Figure III.11: Les grains métalliques

III.2 .4 Le ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est le Ciment Portland Ciment Portland **CEM II A-L 42.5 N & R**

Ciment Portland au calcaire (NA 442/2013) **CEM II A-L 42.5 N & R** est un ciment gris, contenant :

- * 80 à 94 % de clinker ordinaire $C_3S \geq 55 \%$
- * 6 à 20 % de calcaire pur
- * 0 à 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

III.2 .4.1 La masse volumique apparente :

Tableau III.21 : La masse volumique apparente du ciment

N°d'essai	M1(g)	M2(g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	Moy
E1	1085.9	116	1.077	1.074
E2	1084.3	116	1.076	
E3	1080	116	1.074	

III.2.5 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

III.2.5.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

Tableau III.22 : Caractéristiques chimiques de l'eau

La mesure en eau	Teneur en eau (mg/l)
Degree de temperature	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl^-	234.3
Sulfate SO_4^{4-}	351.6
Magnésium Mg^{2+}	110.8
Calcium Ca^{2+}	267.2
Sédiment sec	1412
Eligibilité d'oxydation en eau	1024

III.2 Formulation du béton ordinaire :

- On à utiliser la méthode de Dreux-Gorisse pour formuler notre béton ordinaire

a) Hypothèses de travail :**Caractéristique du béton**

Résistance moyenne à 28 jours du béton : $f_c = 25 \text{ Mpa}$

Affaissement au cône d'Abrams : $A = 7 \text{ cm}$

Caractéristique du ciment

Classe des granulats : Courante

Diamètre du plus gros granulats : $D = 16 \text{ mm}$

Coefficient granulaire : $G = 0,5$

Masse volumique des granulats :

Gravier : = $2,660 \text{ g/ cm}^3$

Sable : = $2,510 \text{ g/ cm}^3$

b) Détermination du rapport C/E :

$f_c = G * FCE (C/E - 0,5)$ Formule de Bolomey

Avec

f_c : Résistance moyenne du béton à 28 jours. Le béton doit être formulé pour qu'à 28jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique f_c .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

Soit $f_c = f_{c28} * 1,15 = 1,15 * 25$

f_{c28} : Résistance moyenne

G : Coefficient granulaire = 0,5

FCE : Résistance moyenne du ciment à 28 jours = 50

C : Masse du ciment par m^3 de béton

E : Masse d'eau par m^3 de béton

$f_c = G * Fce (C/E - 0,5)$

$$f_c = 1,5 * 25 = 37,5$$

$$C/E - 0,5 = \frac{37,5}{0,5 * 50}$$

$$C/E = \frac{37,5}{0,5 * 50} + 0,5 = 1,86$$

c) Détermination du dosage en ciment :

D'après l'abaque Estimation du dosage en ciment

C=400 Kg pour 1m³ de béton

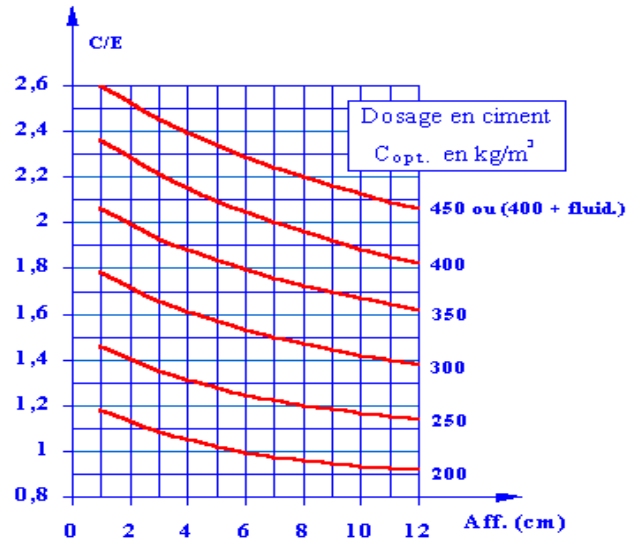


Figure III.12: Abaque permettant d'évaluer Approximativement le dosage en ciment À prévoir en fonction du rapport C/E

d) Détermination du dosage en ciment :

$$E = \frac{C}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ Litres}$$

e) Détermination de la composition granulaire :

Traçons la courbe granulaire de référence OAB

D_{max} = 16mm le point de brisure A de la courbe granulaire de référence est à l'abscisse :

$$D/2 = 8$$

Son ordonnée est : $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

$$D = 16 \text{ mm}, K = 0$$

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 2 = 48\%$$

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400 + Fluid	- 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

Figure III .13 : valeur du terme correcteur (k)

Les pourcentages des granulats après la correction :

- Sable 0/5 : 36%
- Gravier 3/8 : 14%
- Gravier 8/16 : 50%

f) Détermination de la composition en volume absolu :

$$V_{abs} = V_c + V_g + V_s = 1m^3$$

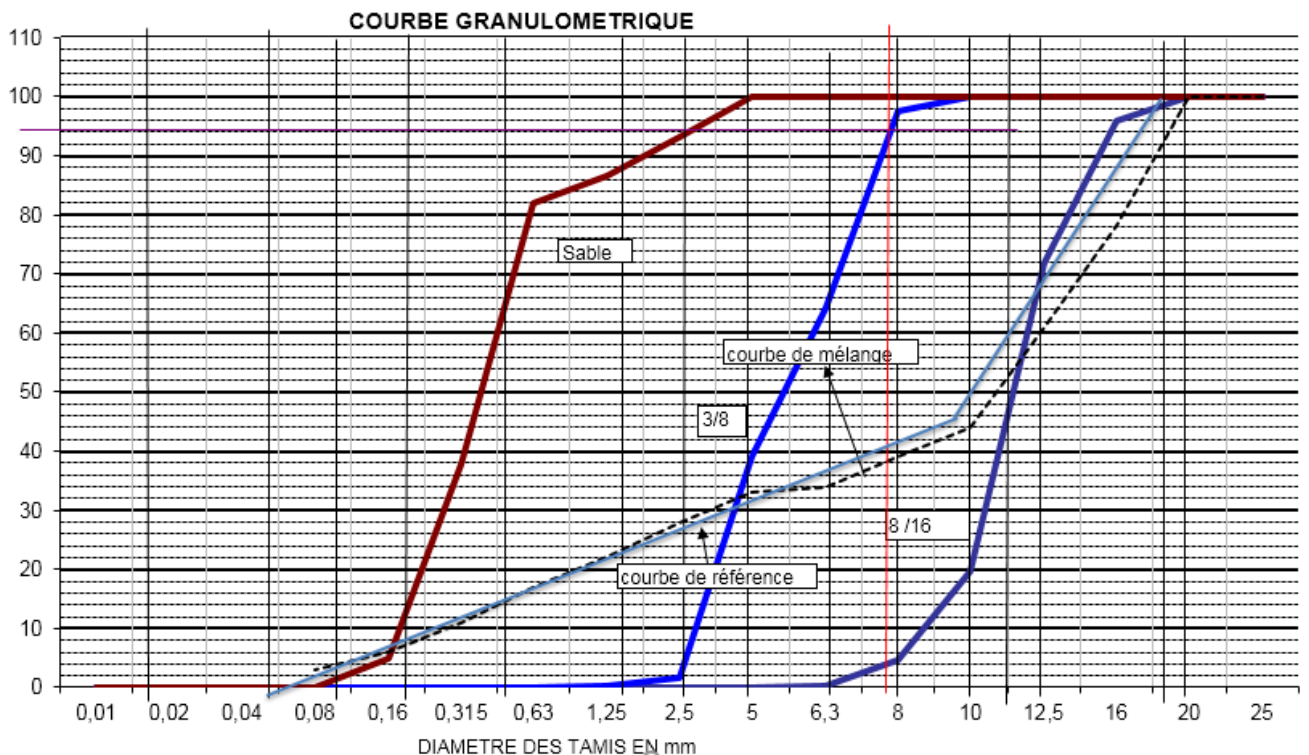


Figure III.14: Les courbes granulométriques, courbe de référence

$$\text{Coefficient de compacité : } \gamma = \frac{(V_c + V_g + V_s)}{1}$$

$$\text{Soit : } \gamma = (V_c + V_g + V_s)$$

- Volume absolu de ciment :

$$V_c = \frac{C}{MV_{abs c}}$$

$$V_c = \frac{400}{3,1} = 129,03 \text{ dm}^3$$

- Volume absolu de granulats :

$$V_G = (1000 * \gamma) - V_c$$

$$V_G = (1000 * 0,795) - 129,03 = 665,97 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

- Volume de sable :

$$V_s = S\% * V_G$$

$$V_s = 0,36 * 665,97 = 239,74 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

- Volume de gravillons :

$$V_g = G\% * V_G$$

Gravier 3/8 :

$$V_{g3} = 0,14 * 665,97 = 93,23 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Gravier 8/16 :

$$V_{g8} = 0,5 * 665,97 = 332,9 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

g) Détermination de la composition pondérale sèche en kg :

Masse de ciment :

$$C = 400 \text{ kg}$$

Masse d'eau :

$$E = 208 \text{ kg}$$

Masse de sable :

$$S = V_s * \rho_s = 239,74 * 2,51 = 601,74 \text{ kg}$$

Masse de Gravier 8 /16 :

$$G = V_{g8} * \rho_{g8} = 332,9 * 2,6 = 865,54 \text{ kg}$$

Masse de Gravier 3 / 8 :

$$G = V_{g3} * \rho_{g3} = 93,23 * 2,66 = 247,99 \text{ kg}$$

Résumé des dosages Pour préparer 1 de béton, il faudra donc les masses suivantes :

Ciment : 400 kg

Eau : 208 L

Sable : 601,74 Kg

Gravier 3/8 : 247,99 kg

Gravier 8/16 : 865,54 kg

Pour préparer 1^{er} béton : BOt

Formulation de Béton à base de : (sable, ciment, G3/8, G8/16, eau)

Pour coulage de 6 éprouvettes cubiques et 6 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(10 \times 10 \times 10) \times 6 + (7 \times 7 \times 28) \times 6] \times 1.2 = 0,0170 \text{ m}^3$$

$$E/C = 0,52$$

$$G/S = 1,85$$

Tableau III.23 : constitue nécessaires pour le béton témoin

Type de béton	Ciment (kg)	Sable (kg)	G3/8(kg)	G8/16 (kg)	Eau (kg)
BOt	6,8	10,22	4,21	14,71	3,27 (±0,5)

Pour préparer les bétons : BRM5, BRM10, BRM15.

Formulation de Béton à base de : (sable, ciment, G3/8, G8/16, eau, déchet métallique)

Pour coulage de 6 éprouvettes cubiques et 6 éprouvettes prismatiques pour chaque béton :

$$V = [(10 \times 10 \times 10) \times 6 + (7 \times 7 \times 28) \times 6] \times 1.2 = 0,0170 \text{ m}^3$$

Tableau III.24 constitue nécessaires pour béton RM

Type de béton	Ciment (kg)	Sable (kg)	G3/8(kg)	G8/16 (kg)	Eau (kg)	Déchet métallique (Kg)
BRM5	6,8	9,7	4,21	14,71	3,27 (±0,5)	0,551
BRM10	6,8	9,2	4,21	14,71	3,27 (±0,5)	1,02
BRM15	6,8	8,69	4,21	14,71	3,27 (±0,5)	1,53

III.2 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous décrivons les caractéristiques des matériaux locaux disponibles sur le marché local à Msila (ciment, granulats, sable de Boussada, déchet métallique).

L'objectif de cette section est l'identification et la caractérisation des matériaux. La plupart des tests ont été effectués dans le laboratoire de l'Université de génie civil de Msila.

Les essais pour déterminer les principales caractéristiques (physiques, mécaniques) des matériaux utilisés et les méthodes suivies sont réalisés selon les normes vitalité.

CHAPITRE IV

Techniques Expérimentales

IV.1 Introduction :

Ce chapitre résume les essais sur le béton ordinaire qui ont réalisés dans le cadre de cette étude, Nous avons réalisé les expériences en laboratoire de l'université selon les normes et conditions nécessaires sur les bétons soit à l'état frais ou durcis.

IV.2 Dispositif expérimental :

IV.2.1 Gâchage du béton :

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules cubiques (10×10×10) cm³ figure (IV.2) et des moules prismatiques (7×7×28) cm³ figure (IV.1) pour la confection des éprouvettes.

Le malaxage est exécuté à l'aide d'une bétonnière figure (IV.3), Les matériaux sont versés dans une bétonnière dans l'ordre suivant : Graviers -Sable – Ciment.

Les étapes de malaxage sont :

- Introduction de tous les granulats dans le malaxeur (Graviers -Sable pour Bot) et (Graviers – Sable– grains métallique pour BRM5, BRM10, BRM15) et faire le malaxage pendant 3 min afin d'assurer une bonne dispersion des G.C. parmi les éléments traditionnels du béton
- Introduction du ciment et faire le malaxage pendant 1min
- Introduction de l'eau et faire le malaxage pendant 2min



Figure IV.1 : Moules prismatiques



Figure IV.2 : Des moules cubiques



Figure IV.3 : Bétonnière

IV.2.2 Moulage et Démoulage :

Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Il a été coulé dans les moules cubiques et prismatiques en deux couches.

Chaque couche a été vibrée sur une table vibrante pendant 10 secondes par couche.

Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes

NF P18-422 et NF P 18-423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai.

IV.3 Performances du béton à l'état frais comme durci:

IV.3.1 Essai Sur béton à l'état frais:

IV.3.1.1 Affaissement au cône d'Abrams:

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais.

Ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône.

Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

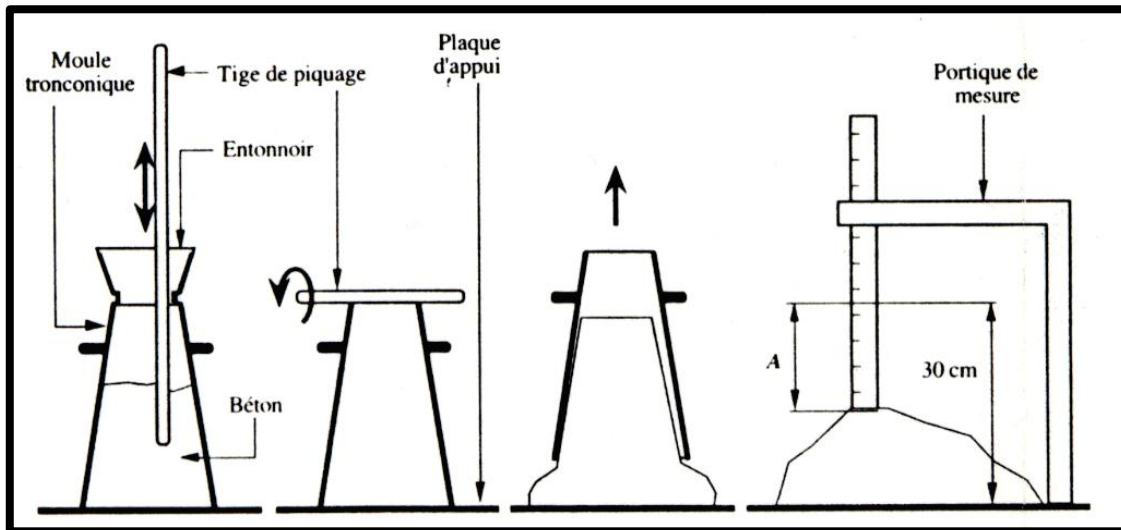


Figure IV.4: méthode d'Essai d'affaissement

- **Mode opératoire :**

—Humidifier le moule et le plateau de base, puis placer le moule sur le plateau

—Maintenir fermement le moule en place pendant le remplissage, en le solidarissant par les deux pattes de fixation.

—Remplir le moule en trois couches, chacune correspondant approximativement, après serrage, au tiers de la hauteur du moule. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage. Répartir les coups uniformément sur la section de chaque couche. Pour la couche inférieure, il est nécessaire d'incliner légèrement la tige et de donner approximativement la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre. Piquer la deuxième couche et la couche supérieure, chacune sur toute son épaisseur, de sorte que la tige pénètre légèrement dans la couche sous-jacente. Lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure, mettre un excès de béton au-dessus du moule avant de commencer le piquage.

Si lors du piquage de la couche supérieure apparaît un manque de béton au-dessous du bord supérieur du moule. Ajouter du béton pour avoir toujours un excès. Après avoir piqué correctement la couche supérieure, araser le béton suivant le bord supérieur du moule en effectuant un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage.

—Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau de base. Démouler le béton en soulevant verticalement le moule avec précaution.

—Immédiatement après avoir retiré le moule, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point la plus haut du corps d'épreuve affaissé. Voir figure (IV.5).



Figure IV.5: Essai d'affaissement

Classe de consistance	Affaissement	Consistance
S1	10 à 40 mm	Ferme
S2	50 à 90 mm	Plastique
S3	100 à 150 mm	Très plastique
S4	160 à 210 mm	Fluide
S5	≥ 220 mm	Très fluide

Figure IV.6: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

IV.3.1.2 La masse volumique à l'état frais:

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en béton frais un moule de volume V_r et de masse M_r .
- Araser le haut du récipient.
- Peser le récipient rempli du béton, soit M_b .

La masse volumique du béton frais ρ_f est donnée par la relation suivante :

$$\rho_f = \frac{M_b - M_r}{V_r}$$

IV.3.2 Essai Sur béton à l'état durcis:

IV.3.2.1 Essai de compression (NF EN 18-455):

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique (10×10×10) cm, L'éprouvette est centrée et fixée entre les plateaux d'une presse hydraulique chargé avec une vitesse constante jusqu'à rupture.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS figure (IV.7) ayant une capacité maximale de 3000 KN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24heures avant l'âge d'essai.

La résistance sera déterminée à 7, 14,28 et 60 jours.

Remarque :

Nous allons utiliser la norme (NF EN 12390-3 : 2001) spécifie une méthode qui permet de déterminer la résistance à la compression d'échantillons de béton durci.



Figure IV.7 : l'essai de compression



Figure IV.8 : éprouvette mise en place sur la presse hydraulique pour déterminer la résistance en compression

IV.3.2.2 Essai de traction par flexion (NF P.18-407):

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ selon la norme NF P.18-407.

Il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de la formule suivante :

$$f_{fl} = \frac{1,5FL}{B^3}$$

$$R_t = f_{fl} * 0,6$$

R_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F : la charge appliquée à la rupture en (N)

L : la distance entre les appuis ($L = 140$ mm)

B : le coté de la section carrée de l'éprouvette ($B = 70$ mm)

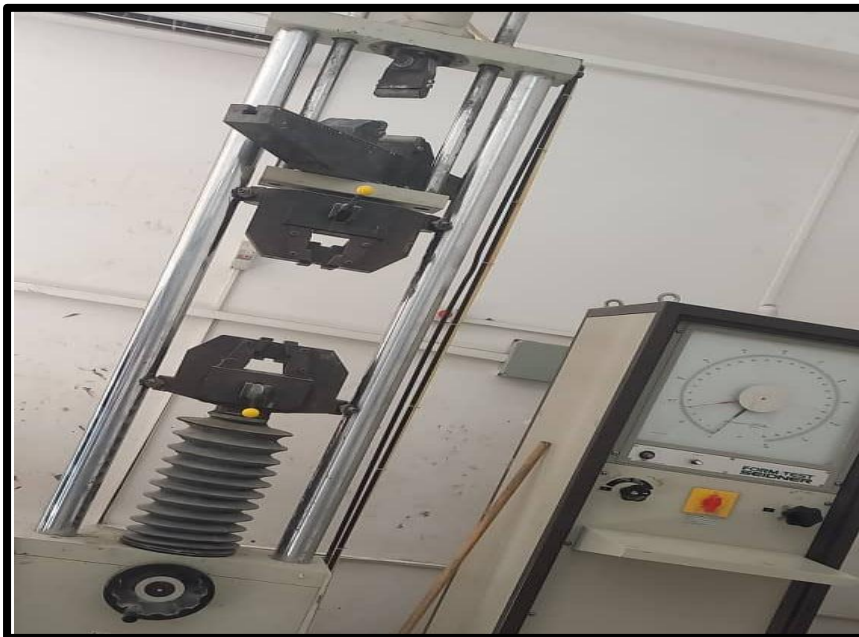


Figure IV.9 : Machine d'essai de traction par flexion

IV.3.2.3 La masse volumique à l'état durcis:

La masse volumique du béton durcis ρ_{dc} est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{dc} = \frac{M_b}{V_e}$$

M_b : la masse du béton

V_e : le volume de l'éprouvette

IV.3.3 Essais non destructifs:

a) Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) :

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

▪ Equipement nécessaire :

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques,
- Paire de transducteurs,
- Un amplificateur,
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur - émetteur et son arrivée au transducteur - récepteur,
- Un barreau de calibration est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse.



Figure IV.10 : Essai Ultrasonique



Figure IV.11 : Appareil d'ultrason

- Classification du béton d'après la vitesse du son :

Tableau IV.1 : appréciation de la qualité du béton d'essai ultrasonique

Vitesse du son V_u (m /s)	Appréciation du qualité
>4 5 0 0	Excellent
3 5 0 0 à 4 0 0 0	Bon
3 0 0 0 à 3 5 0 0	Asser bon
2 0 0 0 à 3 0 0 0	Médiocre
< 2 0 0 0	Très mauvais

b) Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) (NF EN 12504-2) :

Le but de cet essai est de permettre un accès rapide à la résistance du béton de structure sans avoir besoin de prélever des échantillons de béton durci par carottage.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance du béton de manière non destructive.

Cette méthode est intéressante par sa simplicité. Il vérifie rapidement la régularité du béton de structure.

- **Principe de l'essai :**

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

- **Equipement nécessaire :**

- Un scléromètre à béton conforme à la norme figure (IV.12)
- Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.



Figure IV.12 : Marteau de Schmidt ou scléromètre

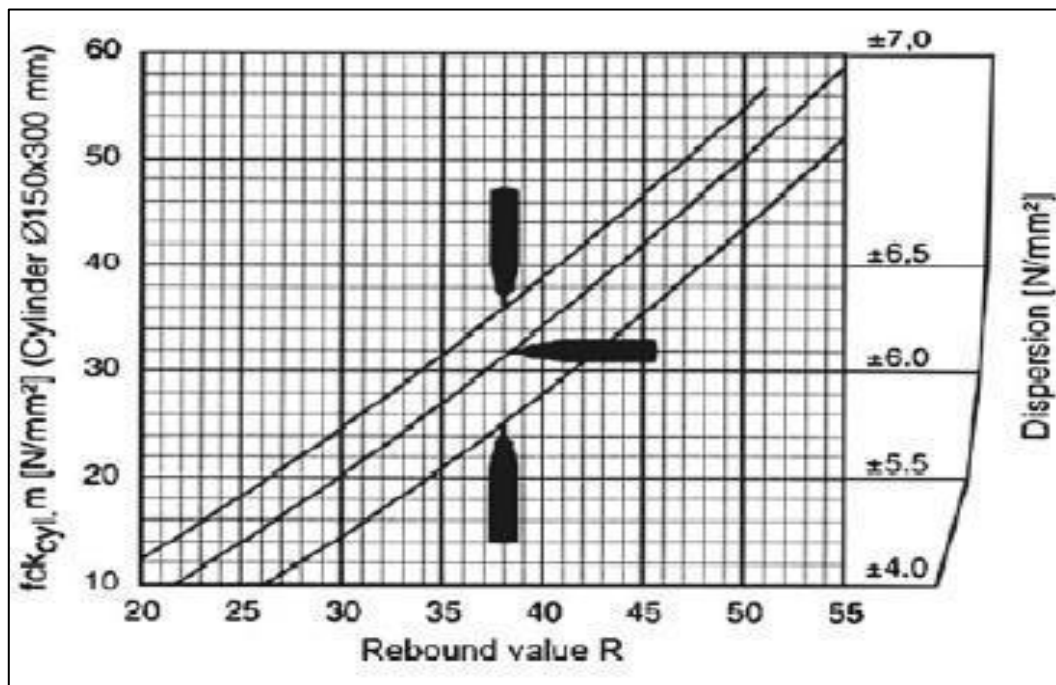


Figure IV.13 : Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques IS

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous allons faire l'étude expérimentale de béton ordinaire, nous introduisons dans notre travail, les essais en laboratoire et la méthode de calcul de la masse de l'élément de référence en béton ordinaire.

L'essai au cône d'Abrams permet de déterminer la consistance du béton étudié. Des essais de compression et de flexion en traction sont décrits. Ils seront utilisés pour obtenir des valeurs de résistance à la compression et à la traction pour tous les composés.

Les résultats expérimentaux de ce programme d'essai sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre V

Résultats et Analyses

V.1 Introduction:

Le béton est un matériau composite, formé par le mélange de ciment, sable, gravillon, d'eau et éventuellement des ajouts.

Ce chapitre résume les essais sur le béton ordinaire qui ont réalisés dans le cadre de cette étude, plusieurs expériences ont été menées au laboratoire pour déterminer les propriétés du béton ordinaire à l'état frais et l'état durcis.

V.2 Représentation et analyse des résultats:

V.3 Propriétés du béton à l'état frais :

À l'état frais, la propriété la plus importante du béton est sa consistance (ou ouvrabilité). Cette propriété traduit l'aptitude du béton à être mis en œuvre correctement. En laboratoire, on peut utiliser des rhéomètres pour caractériser le comportement du béton frais

V.3.1 Essai d'affaissement :

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre.

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau V.1 : les valeurs d'affaissement au cône d'Abrams

Type du béton	Affaissement (Cm)	Classe de consistance
BOt	8	Plastique P
BRM5	6,5	Plastique P
BRM10	7,5	Plastique P
BRM15	7,5	Plastique P

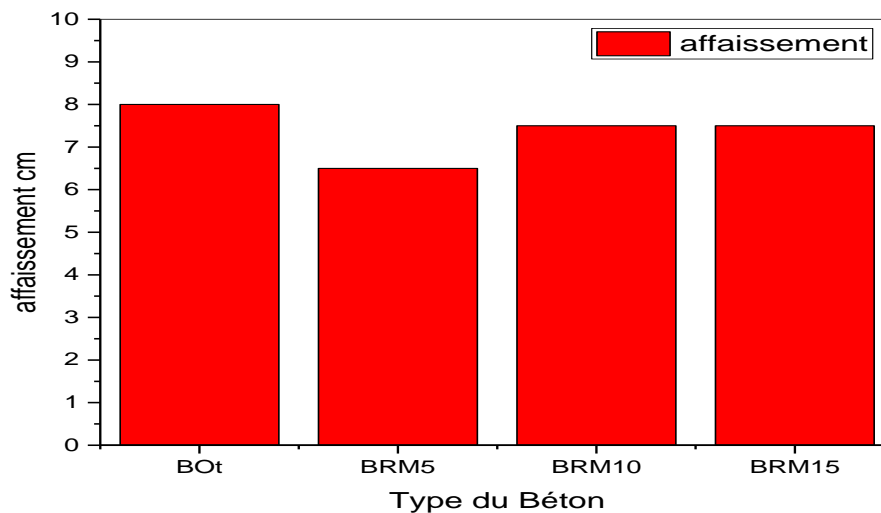


Figure V.1 : Évolution d'affaissement des différents bétons

D'après les valeurs d'affaissement enregistrées correspondent à un béton de consistance plastique, En effet il passe de 8 cm pour le béton ordinaire témoin à 7,5 cm pour un béton contenant 15% et 10% grains métalliques et 6,5 cm pour béton contenant 5% grains métalliques.

Donc le mélange qui serait le plus ouvrable est le béton ordinaire témoin qui contient le plus de granulats (sable). On peut donc dire que les grains métalliques affectent la maniabilité du béton.

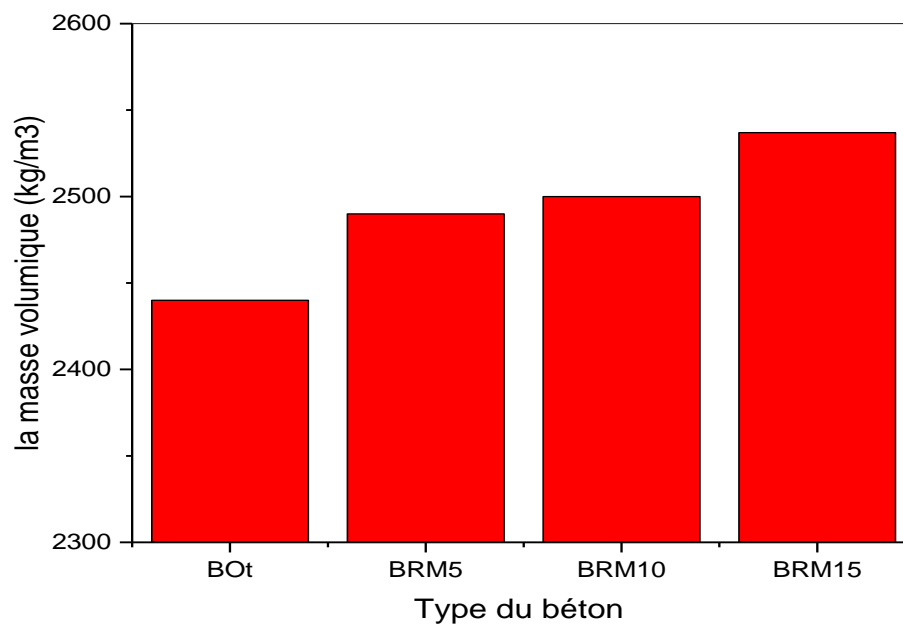
V.3.2 la masse volumique du béton frais :

La masse volumique du béton frais a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne **NF EN 206+A2/CN** :

Dans le tableau (V.2) on a présenté les résultats des mesures de la masse volumique à l'état frais des bétons BOt, BRM5, BRM10, BRM15 :

Tableau V.2 : les valeurs de la Masse volumique du béton frais

Type du béton	Essai (ρ_1)	Essai (ρ_2)	Moy($\frac{\rho_1+\rho_2}{2}$)
BOt	2400	2389	2394
BRM5	2483	2501	2492
BRM10	2480	2521	2500
BRM15	2609	2466	2537

**Figure V.2** : Évolution de la Masse volumique à l'état frais des différents bétons

D'une manière générale, les résultats qu'il n'y a pas de variation avérée de la masse volumique des mélanges.

Les valeurs obtenues sont celles d'un béton ordinaire, elle est en général comprise entre 2400Kg/m³ et 2550Kg/m³. On constate une augmentation pour les trois bétons BRM5, BRM10 et BRM15.

On note d'après les résultats obtenus dans l'énoncé que la masse volumique de BRM (tous les bétons contenant les grains métalliques) sont supérieurs à la masse volumique de béton ordinaire témoin.

C'est à dire la grande masse des grains métalliques influencé la masse volumique à l'état frais.

V.4 Propriétés du béton à l'état durcis:

V.4.1 La Masse volumique à l'état durcis:

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau V. 3 : les valeurs de la Masse volumique du béton à l'état durcis

Type du béton \ $\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	7 j	14 j	28 j	60 j
BOt	2384	2389	2424	2400
BRM5	2483	2501	2492	2420
BRM10	2480	2521	2500	2446
BRM15	2409	2466	2530	2460

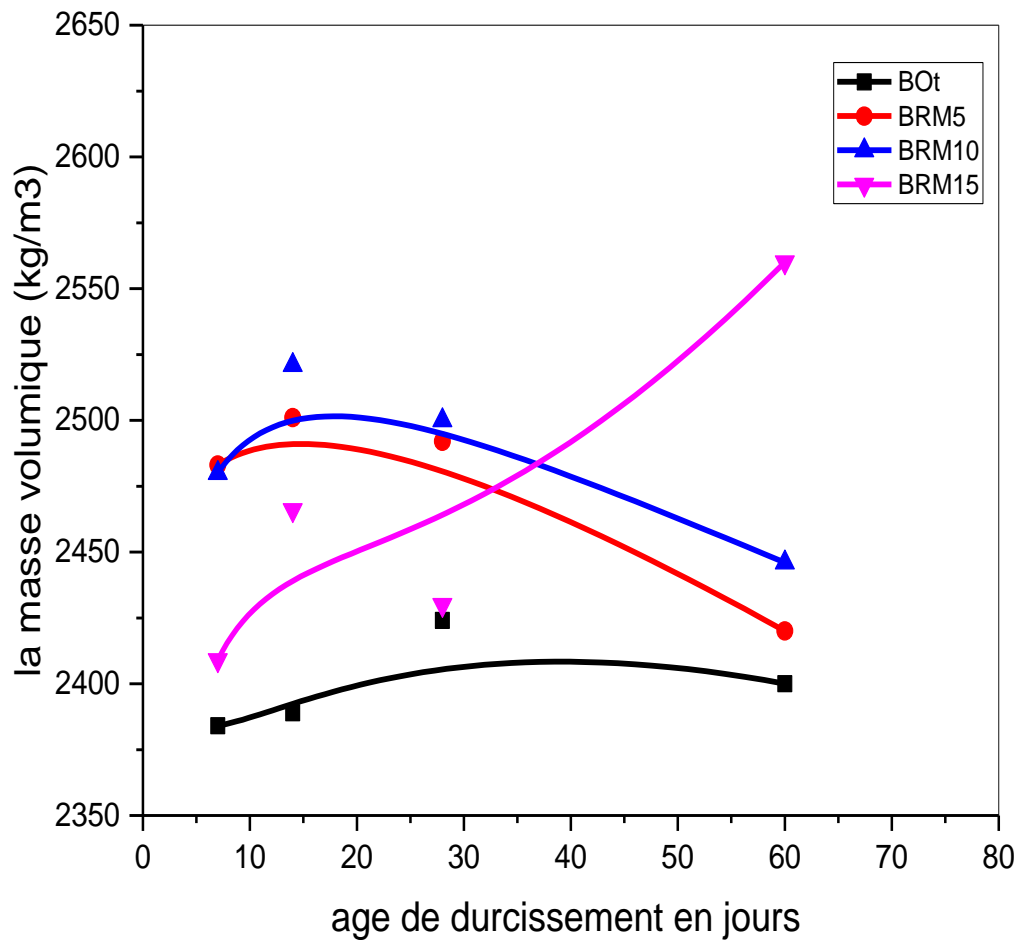


Figure V.3 : Évolution de la Masse volumique à l'état durcis des différents bétons

La figure (V.3) montre que la masse volumique des bétons contenant 15% grains métallique augmente en fonction de l'âge de durcissement, par contre les valeurs de la masse volumique convergentes pour les autres bétons en fonction de l'âge de durcissement, Parce que les poids des grains métalliques ne changent pas beaucoup avec le temps (la masse volumique reste constante)

V.3.2 Essai la Résistance à la compression:

Les résultats obtenus sont représentés sur les tableaux suivants :

a) L'âge de l'éprouvette 7 jours :

Tableau V.4: les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette

7jours des différents bétons

Type du béton	Poids de Éprouvette (g)	Rc (MPa) à 7j	Remarque
BOt	2368	25,71	CORRECTES
	2420	14,32	INCORRECTES
BRM5	2458	27,61	CORRECTES
	2445	21	INCORRECTES
BRM10	2380	21,01	CORRECTES
	2410	21,89	CORRECTES
BRM15	2480	13,68	INCORRECTES
	2437	19,39	CORRECTES

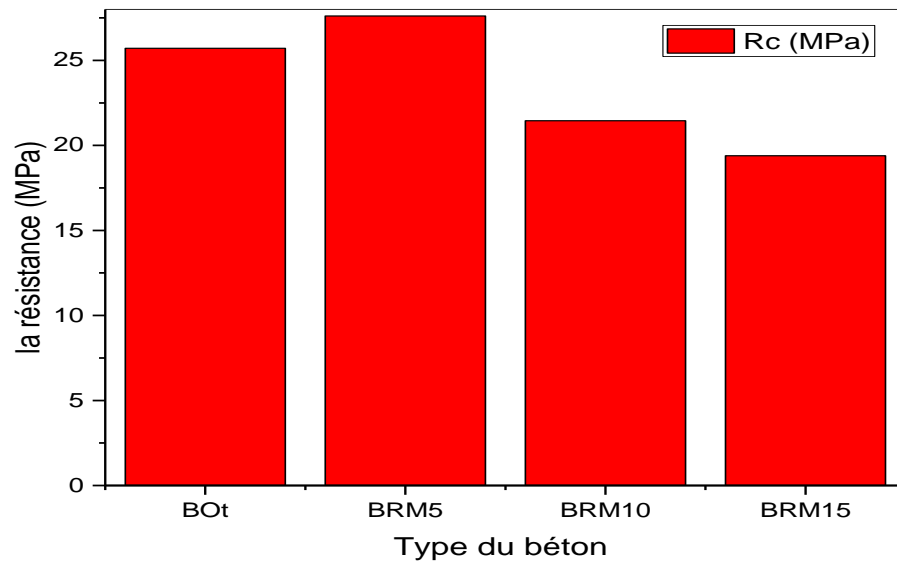


Figure V.4 : Évolution de la résistance en compression à 7j des différents bétons

A partir cette figure (V.4) la résistance du béton à base de 5% de déchet métallique est supérieur à celle du béton témoin à cause d'effet que la finesse des grains métallique pendant 7 j.

b) L'âge de l'éprouvette 14 jours :

Tableau V.5 : les valeurs de la résistance en compression à l'âge de l'éprouvette

14 jours des différents bétons

Type du béton	Poids de Éprouvette (g)	Rc (MPa) à 14 j	Remarque
BOt	2409	27,51	CORRECTES
BRM5	2469	34,77	CORRECTES
BRM10	2439	35,59	CORRECTES
BRM15	2474	25,92	CORRECTES

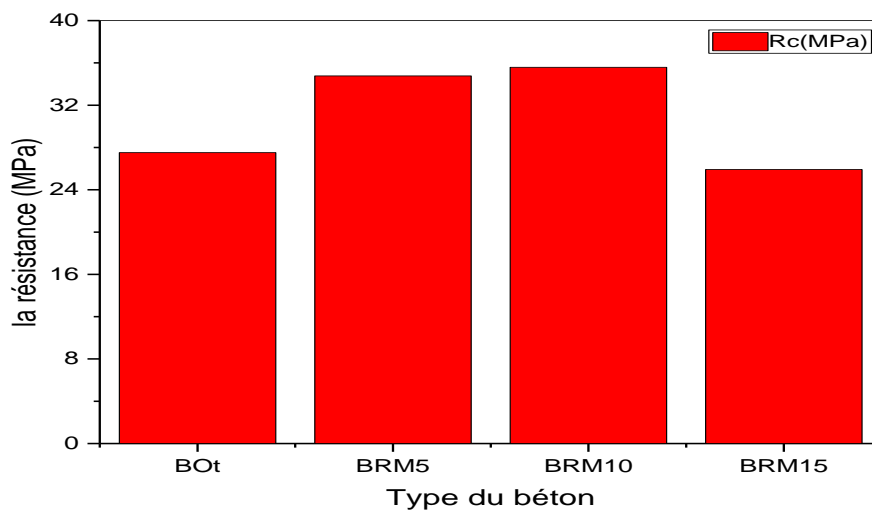


Figure V.5 : Évolution de la résistance en compression à 14 jours du différent béton

c) L'âge de l'éprouvette 28 jours :

Tableau V.6 : les valeurs de la résistance en compression à 28 jours du différent béton

Type du béton	Poids de Éprouvette (g)	Rc (MPa) à 28 j	Remarque
BOt	2432	29,42	CORRECTES
	2417	33,24	CORRECTES
BRM5	2486	15,59	INCORRECTES
	2383	40,33	CORRECTES
BRM10	2411	31,31	CORRECTES
	2428	30,98	CORRECTES
BRM15	2458	32,96	CORRECTES
	2459	33,49	CORRECTES

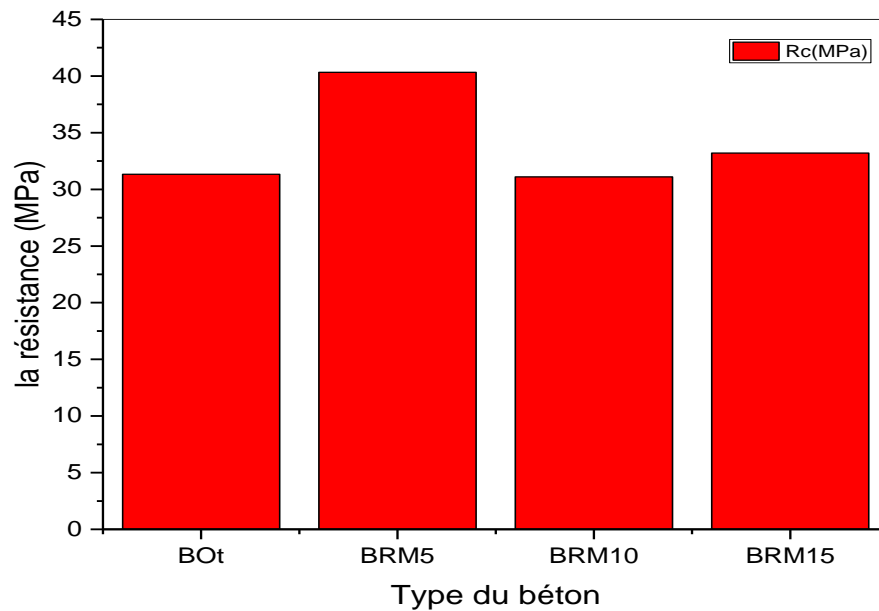


Figure V.6 : Évolution de la résistance en compression à 28 jours du différent béton

d) L'âge de l'éprouvette 60 jours :

Tableau V.7 : les valeurs de la résistance en compression à 60 jours du différent béton

Type du béton	Poids de Éprouvette (g)	Rc (MPa) à 60 j	Remarque
Bot	2419	31,2	CORRECTES
BRM5	2475	46	CORRECTES
BRM10	2446	35,43	CORRECTES
BRM15	2450	30,35	CORRECTES

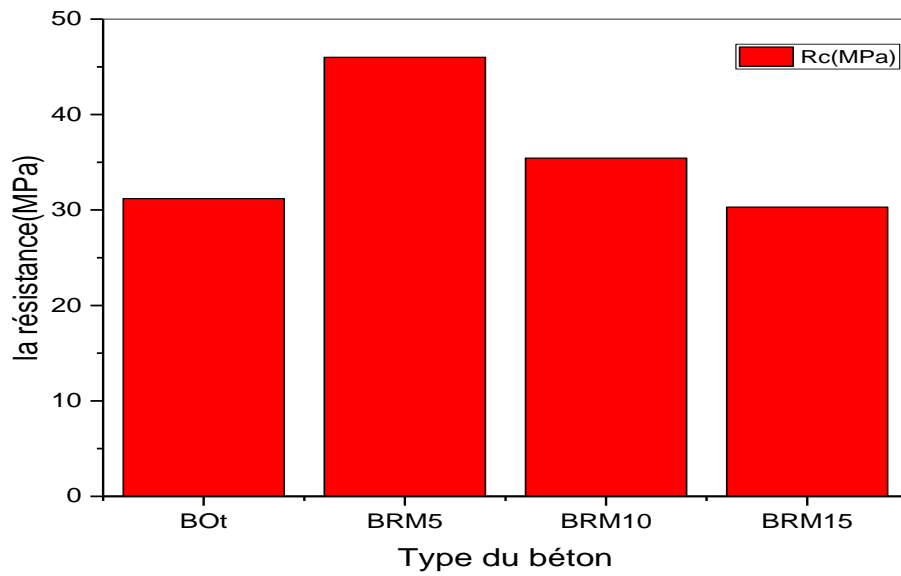


Figure V.7 : Évolution de la résistance en compression à 60 jours du différent béton

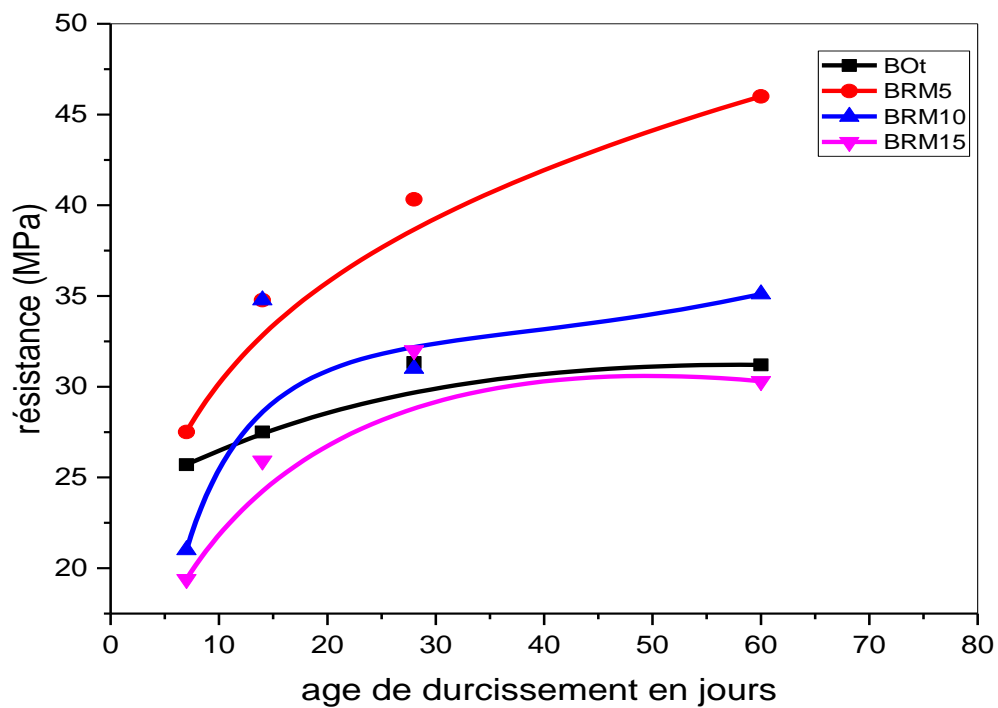


Figure V.8 : Evolutions de la résistance en compression du différent béton en fonction des jours.

La figure (V.8) présente les évolutions de la résistance en compression du différent béton en fonction des jours, On remarque que l'âge influence la résistance en compression surtout à l'âge précoce à cause de la fragilité de la microstructure du béton.

D'après la figure (V.8) et tableau (V.7) nous remarquons que le grain métallique influe favorablement sur les propriétés du béton. Pour une teneur de 5% en déchet métallique (de la masse totale du sable), on remarque (voir tableau V.7) une amélioration très importante de la résistance à la compression à l'âge de 60 jours.

Ces résultats montrent que l'utilisation du déchet métallique dans le mélange du béton ordinaire à un effet positif à cause de leur fonction par adhérence avec la matrice cimentaire.

V.3.3 Essai la Résistance à la traction par flexion:

Les résultats obtenus sont représentés sur les tableaux suivants :

Tableau V.8 : les valeurs de la résistance en traction du différent béton en fonction des jours.

Type du béton	Rt (MPa) à 7 j	Moy	Rt (MPa) à 14 j	Moy	Rt (MPa) à 28 j	Moy
BOt	1,59	1,86	2,71	2,49	2,31	2,63
	2,13		2,27		2,93	
BRM5	1,68	1,95	2,49	2,35	3,67	4
	2,2		2,2		4,33	
BRM10	1,72	1,61	2,39	2,18	3,89	3,63
	1,5		1,98		3,37	
BRM15	1,35	1,35	1,46	1,53	2,93	3,2
	1,35		1,61		3,48	

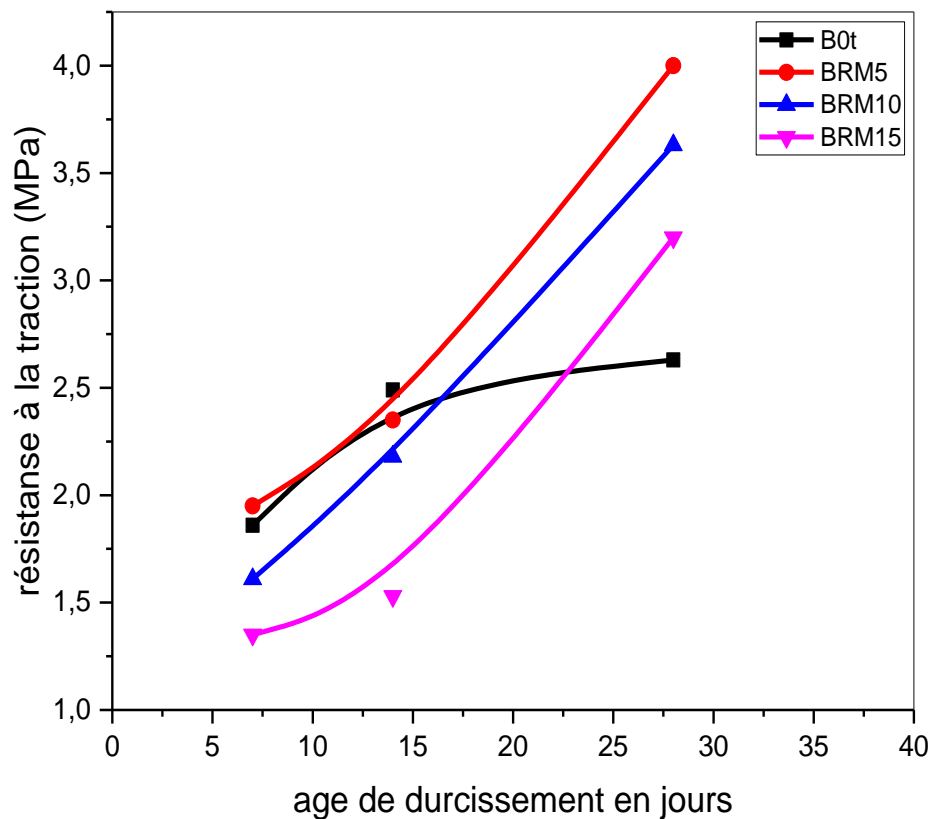


Figure V.9 : la résistance en traction des différents bétons en fonction des jours.

Nous remarquons d'après la figure la résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge de durcissement, le béton ordinaire témoin présentent des résistances à la traction plus faible que les bétons qui contenant des déchets métallique (grains métalliques).

Pour une teneur de 5% en déchet métallique (de la masse totale du sable), on remarque (voir tableau **V.9**) une amélioration de la résistance à la traction par rapport le béton ordinaire témoin cette résultats confirment ceux trouvés dans l'essai de compression, et donnent des bons avantages, d'autant plus que le béton est faible en résistance à la traction.

V.3. 4 Essais non destructifs sur béton :

V.3. 5 .1 Essai Ultrasonique :

- L'âge de l'éprouvette 7 jours :

Tableau V.9 : les valeurs d'Essai Ultrasonique à 7 jours des différents bétons

Type du béton	N° d'éprouvette	Distance (cm)	t (μ s)	Vu (m /s)	Appréciation de la qualité
BOt	4	10	28,8	3565	BON
BRM5	4	10	24	4144	EXELLENT
BRM10	3	10	27,5	3641	BON
BRM15	4	10	28,7	3485	ASSER BON

▪ L'âge de l'éprouvette 14 jours :

Tableau V.10 : les valeurs d'Essai Ultrasonique à 14 jours des différents bétons

Type du béton	N° d'éprouvette	Distance (cm)	t (μ s)	Vu (m /s)	Appréciation de la qualité
BOt	3	10	26,2	3814	BON
BRM5	3	10	27,63	3578	BON
BRM10	1	10	25,5	4035	EXCELLENT
BRM15	3	10	24,3	4118	EXCELLENT

▪ L'âge de l'éprouvette 28 jours :

Tableau V.11: les valeurs d'Essai Ultrasonique à 28 jours des différents bétons

Type du béton	N° d'éprouvette	Distance (cm)	t (μ s)	Vu (m /s)	Appréciation de la qualité
BOt	2	10	25,3	4140	EXCELLENT
BRM5	1	10	23,4	4368	EXCELLENT
BRM10	2	10	26,5	4202	EXCELLENT
BRM15	1	10	23,7	4216	EXCELLENT

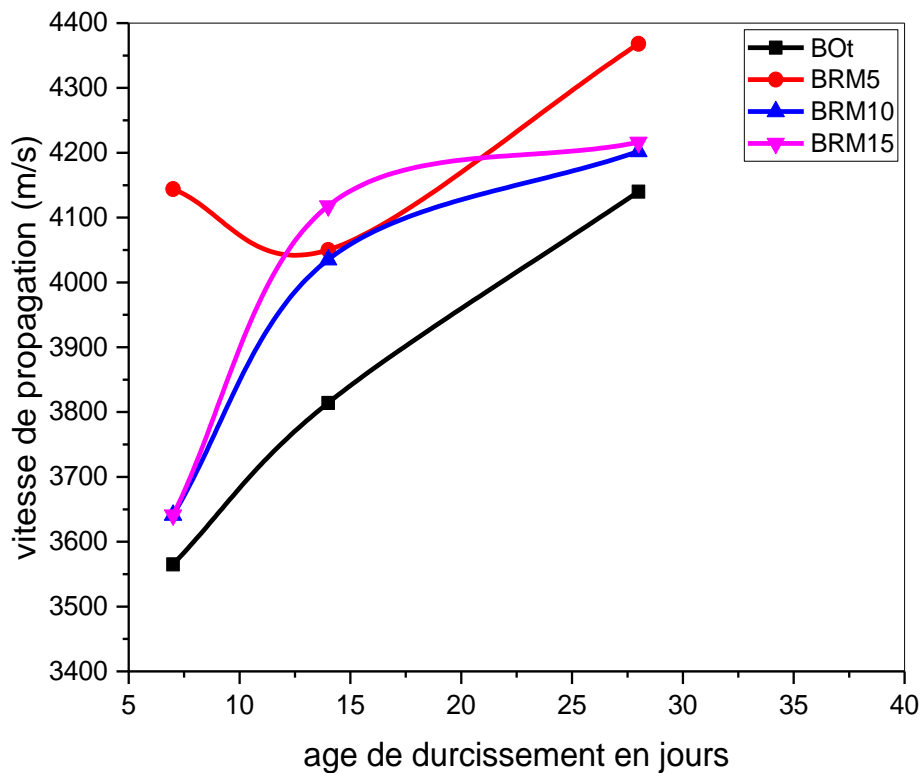


Figure V.10 : Evolution de la vitesse ultrason V_u du différent béton en fonction des jours.

D'après les tableaux (**V.9**, **V.10**, **V.11**) et la figure (**V.10**) la vitesse du son V_u augmente avec l'âge du béton sauf une légère diminution pour BRM5 à 14j en raison des circonstances que nous avons faites dans l'expérience, appréciation de la qualité du béton confiné entre bon et excellent.

Le remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera pas sur les résultats de la vitesse du son, les résultats sont en accord avec celle de résistance la compression

V.3.5.2 Essai au scléromètre :

- L'âge de l'éprouvette 14 jours :

Tableau V.12 : les valeurs d'Essai au scléromètre à 14 jours des différents bétons

Type du béton	N° d'éprouvette	L'indice de rebondissement		I moy	Résistance (MPa)
		Face 1	Face 2		
BOt	3	30	31	30	23,6
		28	29		
		28	30		
		30	30		
		31	28		
BRM5	3	32	28	32	26,9
		34	34		
		35	32		
		28	32		
		34	32		
BRM10	1	28	28	27,4	19,1
		24	20		
		29	30		
		28	28		
		30	29		
BRM15	3	22	28	27,2	19,1
		30	30		
		28	26		
		26	28		
		30	24		

- L'âge de l'éprouvette 28 jours :

Tableau V.13: les valeurs d'Essai au scléromètre à 28 jours du différent béton

Type du béton	N° d'éprouvette	L'indice de rebondissement		I moy	Résistance (MPa)
		Face 1	Face 2		
BOt	2	29	30	31	25
		35	30		
		33	32		
		30	32		
		31	28		
BRM5	1	28	32	32	26,9
		34	35		
		28	32		
		35	34		
		30	28		
BRM10	2	29	28	29	22,1
		30	24		
		29	29		
		28	28		
		31	30		
BRM15	1	22	28	27	19,1
		29	31		
		28	28		
		26	28		
		28	20		

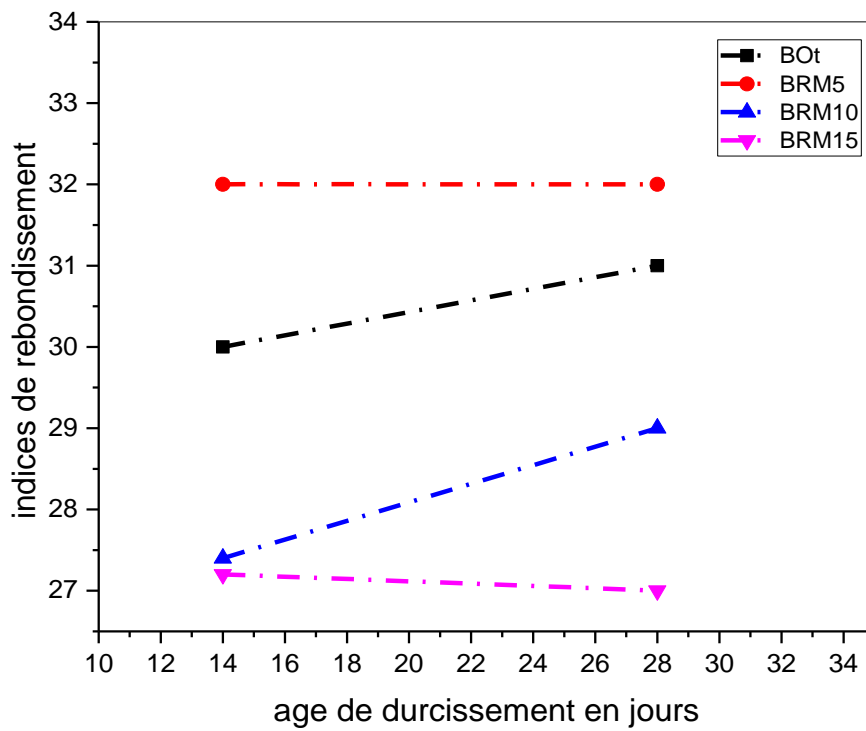


Figure V.11 : indices de rebondissement du différent béton en fonction des jours.

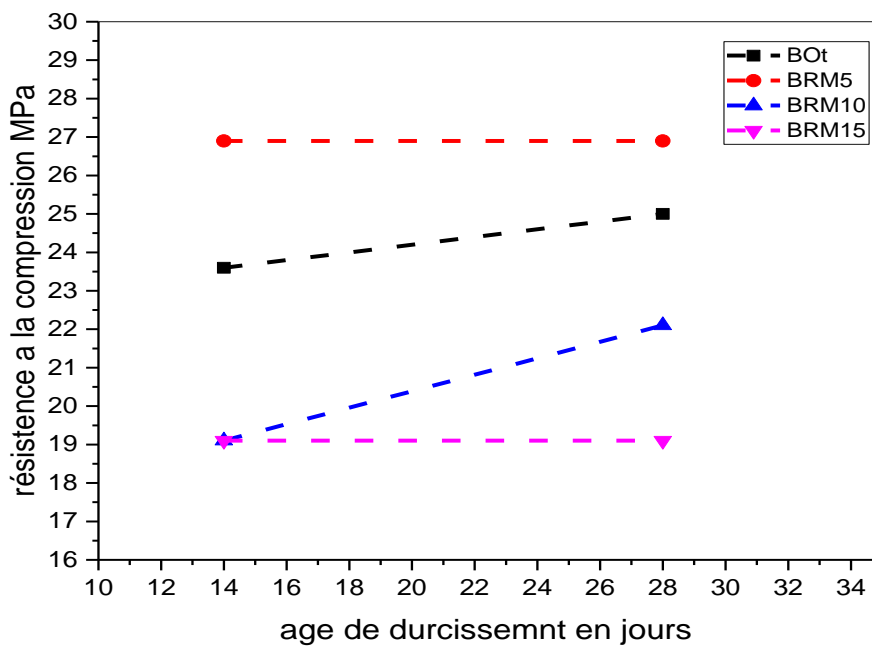


Figure V.12 : la résistance en compression du différent béton en fonction des jours.

La figure (**V.12**) présente l'évolution de l'indice de rebondissement I en fonction des jours. On remarque que l'indice de rebondissement I augmente avec l'âge du béton.

La figure (**V.11**) tracé sur la base des résultats individuels des éprouvettes, elle présente une courbe de corrélation établie entre les résistances à la compression R_c (MPa) et les indices de rebondissement I voir (abaque dans figure **IV.13** chapitres **IV**).

D'après les résultats dans la figure (**V.12**) montre qu'il existe une faible corrélation entre la résistance à la compression et l'indice rebondissement pour le béton BRM10 et BRM15 qui donne des faibles résistances à la compression par contre les résultats du béton ordinaire témoin et BRM5 un peu plus proche aux résultats d'essai de résistance à la compression.

V.3 Conclusion :

Au terme de cette partie expérimentale dans chapitre qui consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques d'un béton ordinaire témoin et les bétons qui contiennent des déchets métalliques (BRM5, BRM10, BRM15)

Nous avons obtenu de meilleurs résultats que les hypothèses proposées dans la formulation de béton ordinaire.

D'après les résultats dans ce chapitre nous avons constaté que l'utilisation des résidus métalliques dans la formulation du béton surtout pour une teneur de 5% en déchet métallique (de la masse totale du sable) a un effet positif sur le béton soit à l'état frais ou durcis.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés par l'être humain dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie.

Dans ce mémoire on a étudié la possibilité de valoriser les résidus métalliques dans le béton. Notre objectif principal, on a étudié l'effet de la substitution des déchets métalliques usagés sur les performances du béton à l'état frais et à l'état durci. Pour ce faire, nous avons procédé à la caractérisation des granulats entrant dans la composition de quatre mélanges : un béton témoin, trois bétons recomposés (pourcentage des déchets métalliques).

A la fin de la partie expérimentale, on présente une série d'essais expérimentaux effectués sur le béton à l'état frais et à l'état durci. À partir de l'étude de l'influence des déchets métalliques sur diverses caractéristiques du béton ordinaire étudiés, on a pu conclure les points suivants :

- La qualité des matériaux locaux utilisés dans notre recherche, est parmi les meilleurs matériaux dans le marché algérien, ce qui nous permet de considérer leurs caractéristiques comme suffisantes pour réaliser notre étude.
- Pour formuler un bon béton ordinaire il faut utiliser la méthode de Dreux – Gorisse pour le béton ordinaire qui assure une bonne qualité.
- La valeur d'affaissement de BRM inférieure (n'affectez pas trop) que la valeur d'affaissement de BOT. On peut expliquer cela que les granules métalliques, avec leur surface lisse, les granulés serrent le béton dans ce cas diminuer la fluidité du béton plus que le sable.
- Les propriétés mécaniques du composite ont montré que l'introduction des déchets métalliques ont donné une amélioration remarquable par rapport au béton ordinaire témoin. Pour une teneur de 5% en déchets métalliques (de la masse totale du sable), a donné le meilleur résultat dans la résistance à la compression et la résistance à la traction.

- On a noté que l'utilisation des résidus métalliques dans la formulation du béton ordinaire étudiés dans ce mémoire permettent une amélioration du comportement mécanique grâce à un contrôle de la microfissuration

- Nous pouvons résumer que nous avons constaté à travers ces travaux expérimentaux que l'utilisation des résidus métalliques pour une teneur 5% a un bon effet sur le niveau d'économie et de préservation de l'environnement extérieur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] S. Bernard, «guidebeton,» Grenoble Ecole de Management, [En ligne]. Available: <http://www.guidebeton.com/>. [Accès le 10 05 2023].
- [2] R. BERBAOUI, «IDENTIFICATION ET ANALYSE DE L'ENDOMMAGEMENT PAR FATIGUE DES MATÉRIAUX GRANULAIRES À BASE POLYMÈRE,» l'université de Cergy Pontoise, Le Mans, France, 2010.
- [3] J. F. & G. DREUX, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris-FRANCE: Eyrolles, 1998, pp. 327-331.
- [4] Yagoub.M, «matériaux de construction (chapitre 2),» cours en génie civil, université Mohamed Khaider , Biskra , 2009.
- [5] E. BOUALI et E. H. KADRI, «Effet de l'ajout de la Barytine BaSO₄ dans la formulation des béton lourd,» vol. vol 37, n° %11, pp. 147-149, 2019.
- [6] M. Virlogeux et M. Arnould, Granulats et bétons légers, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1986.
- [7] M. V. F. L. Cheyrezy M., «Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete),» *Cement and Concrete Research*, vol. 25, n° %17, pp. 1491-1500, 1995.
- [8] M. Bruno, «maconnerie.bilp.fr,» BILP, 11 avril 2017. [En ligne]. Available: <https://maconnerie.bilp.fr>. [Accès le 12 5 2023].
- [9] B. .. e. S. .. R, Le béton hydraulique Connaissances et Pratique,, Presses, 1982.
- [10] miloud.beddar, «Constituants du Béton chapitre 1 (cour technologie du béton),» univ-msila.
- [11] F. techniques, «Les constituants des bétons et des mortiers (TOME 1),» Ciments et bétons (Centre d'information sur le ciment et ses applications).
- [12] G. Eyrolles, «Cône d'Abrams.,» Edition Eyrolles, 2010.
- [13] H. H. M. Xavier JOURDAIN, «Essais destructifs sur éprouvettes en béton et acier d'armature,» école normale supérieure paris-saclay, paris, 2018.
- [14] a. Layachi, «LES MATERIAUX DE DEMOLITION UNE SOURCE DE GRANULATS POUR BETON : FORMULATION ET CARACTERISATION D'UN BETON A BASE DE CES RECYCLES,» chez *SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environement Infrastructures in Developing Countries ENSET.*, Oran (Algeria), 2009.
- [15] M. Y. Bachir REDJEL, «LA MESURE DE LA RESISTANCE DU BETON A LA TRACTION,» Ecole Nationale des Travaux Publice L'ENTP, alger, 2018.
- [16] H. BELARIBI, «Chapitre II : les essais non destructifs,» univ.biskra, 2007.

- [17] R. Jones, «Testing of concrete by the ultrasonic pulse method. *Materials and Structures*,» *Materials and Structures*, Vols. %1 sur %2Vol. 2, , n° %1No. 10, pp. p 253-661., July-August 1969.
- [18] A. M. B. YASSINE, «Mémoire de Magister Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences,» univ-ABOU BEKR BELKAID, tlemcen , 2013.
- [19] D. N. H. Naima, «L'économie Circulaire, Une Nouvelle Approche De Gestion Des Déchets.,» *algerian scientific journal Platform*, pp. 20-35.
- [20] F. M, «Le recyclage des déchets en Algérie,» 2013.
- [21] J. L. Eurotaxe, «recyclage et réutilisation Hélène,» *Jean-Claude André*, p. 189 à 190, 2018.
- [22] G. BERTOLINI, «montre-moi tes déchets,» *le Harmattan*, p. P 11., 2011.
- [23] Bruo, «classification-des-dechets,» [En ligne]. Available: <https://cy-clope.com>. [Accès le 04 16 2023].
- [24] loia, «dechets,» [En ligne]. Available: <http://environnement.wallonie.be>. [Accès le 12 04 2023].
- [25] B. Miloud, «Notions de base et définitions des déchets,» univ-msila, 2022.
- [26] Julien, «Typologie et analyse de la gestion des déchets municipaux ordures ménagères et déchets de marché,» 2005.
- [27] Directive, *relative aux déchets et abrogeant certaines directives*, parlement européen et du conseil, 2008.
- [28] JORADP, *relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable*, 2003, p. 6.
- [29] C. S. & P. C.S., *A comparison of waste management in Guangzhou and Hong Kong*, pp. 203-216..
- [30] MANUEL, *d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides Urbains résumé les déchets solides urbains*, pp. P 48-49,63.
- [31] R. K, «Compostage d'ordures ménagères et de déchets verts. Flore fongique et risques sanitaires potentiels,» l'UJF Grenoble I, 1998.
- [32] «Gestion-des-dechets/Les-Unites-de-Valorisation-Energetique-des-Dechets),» 2008. [En ligne]. Available: <http://www.symeed29.finistere.fr>. [Accès le 03 03 2023].
- [33] F. R. e. M. Boumaza, *La valorisation des déchets ménagers Cas de la commune de Bejaïa*, université Abderrahmane mira de Bejaïa, 2018, pp. 35-36.
- [34] N. R. Tamanna, «Sustainable use of recycled glass powder as cement replacement in concrete,» *The Open Waste Management Journal*, p. 13.

- [35] G. Garrick, «Analysis and Testing of waste tire fiber: modified concrete,» University of Louisiana state,U.S.A, Louisiana , 2005.
- [36] C. S. S. S. ,. G. T. Siddique S, «Sustainable utilisation of ceramic waste in concrete: Exposure to adverse conditions,» *Journal of cleaner*, n° 1210, pp. 246-255, 2019.
- [37] aerd, «paprec,» [En ligne]. Available: paprec.com. [Accès le 2023 04 01].