



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



FILIERE : Génie Civil

Spécialité : Matériaux Master 2

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master

Par : NOUI ABDELMOUMEN SAUDI ABDELBASSET

**Valorisation des sables recyclés dans la
formulation des mortiers contenant des
ajouts minéraux**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. BEDDAR Miloud	Université de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. BELOUADAH Messaouda	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. DJABRI Noura	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur : Pr Rahmouni Zine-El-Abidine et notre co-encadreur : Dr Belouadah Messaoud qui ont bien voulu nous encadrer et pour leurs conseils précieux, leur disponibilité et leur patience.

Nous remercions également tous les membres de jury d'avoir accepté de jugé, mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ❖ *A mon cher père et ma chère mère.*
- ❖ *A mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *A toute ma famille.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité*

NOUI ABDELMOUMEN

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ❖ *A mon cher père et ma chère mère.*
- ❖ *A mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *A toute ma famille.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

SAUDI ABDELBASSET

Résumé

La présente étude est destinée à valoriser les déchets du béton démolis par la recherche d'une formule optimale de mortier à base de sable de dune de l'Oued maître offrant des propriétés mécaniques optimales. Ces mortiers peuvent donc être utilisés pour les travaux de pavages, d'étanchéité ...etc

Ce travail est une contribution expérimentale à l'étude de l'incorporation du sable recyclé dans les mortiers de fumée de silice et leurs influences sur les comportements rhéologiques et mécaniques de ces mortiers avec adjuvants. A la suite de l'identification et la caractérisation des sables en particulier les recyclés, le comportement rhéologique s'est porté sur différents mélanges de mortiers à base de ciment CEM I 42,5 et avec $E/C=0,3$, en substituant le sable naturel par le sable recyclé avec différents pourcentages volumiques de : 0%, 15%, 30%, 40%, 50%, 75% et 100 %.

Mots-clés : mortier, sable recycle, sable de dune, propriétés physico-mécaniques, fumée de silice

ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تبيين النفايات الخرسانية المهذمة من خلال البحث عن الصيغة المثلى للملاط المحتوي على رمل من الكثبان الرملية لواد ميطر (بوسعادة) تقدم خصائص ميكانيكية مثالية. لذلك يمكن استخدام الملاط هذا في أعمال الرصف والعزل المائي وما إلى ذلك.

يعتبر هذا العمل مساهمة تجريبية لدراسة دمج الرمال المعاد تدويرها في ملاط دخان السيليكا وتأثيرها على السلوك الريولوجي والميكانيكي لهذه الملاط مع المواد المضافة. بعد تحديد وتوصيف الرمال، لا سيما الرمال المعاد تدويرها، ركز السلوك الريولوجي على الخلطات المختلفة من الملاط على أساس الأسمنت CEM I 42.5 و

$E / C = 0.3$ ، عن طريق استبدال الرمل الطبيعي بالرمل المعاد تدويره بنسب حجم مختلفة من : 0% ، 15% ، 30% ، 40% ، 50% ، 75% و 100%.

الكلمات المفتاحية: ملاط، رمل معاد تدويره، رمل كثبان، خواص فيزيائية ميكانيكية.

Abstract

The present study intended to valorize the waste of the demolished concrete by the research of an optimal formula of mortar based on sand dune of Oued maître offering optimal mechanical properties. These mortars can therefore be used for paving, waterproofing, etc. . . This work is an experimental contribution to the study of the incorporation of recycled sand in cement mortars and their influences on the rheological and mechanical behavior of mortars with and without adjuvants. Following the identification and characterization of sands and particularly recycled sands, the rheological behavior was made on various mixtures of mortars of 42,5 CEM I cement and with $W/C = 0,3$, substituting natural sand by the sand recycled with different volume percentages of 0%, 15%, 30%, 40%, 50%, 75% et 100 %.and 100%.

Keywords: mortar, recycled sand, dune sand, physico-mechanical properties, environmental

Table Des Matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité sur les mortiers	
Introduction	5
Généralités sur Les mortiers	6
1. Introduction	6
2. Définition de mortier	6
2.1. Constituent des mortiers	6
3. Définition du ciment	7
3.1. Constituants de base du ciment	8
3.1.1. Matières premières	8
3.1.1.1 Calcaire.....	8
a. Calcaire Dur	8
b. Calcaire Mou (Craie)	8
3.1.1.2 Argile	9
3.1.1.3 Les matières corrections	9
3.1.1.4 Minerai de fer (Fe₂O₃)	10
3.1.1.5 Le sable	10
3.1.1.6 Bauxite	11
3.1.1.7 Gypse	11
3.2 Les matières secondaires.....	12
3.2.1 Pouzzolane.....	12
3.2.2 Les fillers calcaires.....	13
3.2.3 Fumées de silice.....	13
3.2.4 Le laitier de haut fourneau	13
3.2.5 Produit semi-fini (Clinker)	13
3.3 Procédure de fabrication du ciment	14
3.3.1 Principe de fabrication	14
3.4 Classification normalisée des ciments	14
a-Caractéristique physiques	15

a.1-Comportement physico - chimique de la pâte	15
a.3-Durcissement	16
a.4-Chaleur d'hydratation	16
a.5-Finesse de mouture	16
a.6-Retrait	17
a.7-Gonflement.....	17
b - Caractéristiques mécaniques des ciments courants.....	17
4. L'eau de gâchage	17
5. Les ajouts	18
6. Les adjuvants	18
6.1 Les type des adjuvants	18
6.1.1 Plastifiants et fluidifiants.....	18
Adjuvants modifiant la prise et le durcissement	20
6.1.2 Accélérateurs de prise et durcissement	20
6.1.3 Retardateurs de prise	21
Adjuvants modifiant les propriétés physiques	22
- Hydrofuge de masse	22
6.1.4 Entraîneurs d'air	23
6.1.5 Rétenteurs d'eau	23
7. Différents types des mortiers	25
7.1 Mortier de ciment	25
7.2 Mortier de chaux grasse	25
7.3 Mortier de chaux hydraulique.....	25
7.4 Mortier bâtard	26
7.5 Mortier réfractaire	26
7.6 Mortier rapide	26
7.7 Mortier industriel	26
8. Classification des mortiers	26
8.1 Selon leur domaine d'utilisation	26
9. Caractéristiques des mortiers	27
10. Influence de sable de dune sur la matrice cimentaire	28

I.11. Influence de fumé de silice sur la matrice cimentaire	29
Conclusion	30

Chapitre II: Les granulats recycle

Introduction	32
1. Recyclage des déchets	32
1.1 Définition.....	32
2. Les types de recyclage (les procédés)	33
2.1 Le recycle technique (matière)	33
2.2 Le recyclage chimique	34
3. La chaîne du recyclage	34
3.1. Collecte de déchets	34
3.1.1 Transformation	34
3.2.2 Commercialisation et consommation	34
3.1.1 Transformation	35
3.2.2 Commercialisation et consommation	35
4. Impact du recyclage dans l'industrie	35
4.1 Source d'approvisionnement alternatif	35
5. Les avantages du recyclable sur l'environnement	35
5.1 Les avantage du recyclage	35
a– Environnement sain	35
b– Économie de matière première	35
c– Image soignée	36
d– Soutien à l'économie locale	36
6. Gestion des déchets	36
6.1 Définition	36
7. Les principaux objectifs à atteindre dans la réduction de la production de déchets	37
8. Valorisation des déchets en Algérie	37
9.1 La valorisation des déchets de chantier	37
10. Le principe de recyclage	39
10.1 Le principe de responsabilité	39

11. Dispositions législatives et réglementaires nationales	39
11.1 La loi 83-03 du 19 juillet 1983	40
11.2 Loi n° 01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets de 12 décembre 2001	40
11.3 La loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable	40
11.3.1 Les objectifs	41
11.3.1.1 Les principes	41
12. Granulats recyclés issus des déchets de la démolition et de la construction	43
12.1 Introduction	43
12.2 Composition du granulats recyclé	44
12.3 Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclent	44
12.3.1 Granulométrie	44
12.3.2 Masse volumique	45
12.3.3 Absorption	45
12.3.4 Résistance à l'usure	46
12.3.4.1 Essai los Angeles	46
Conclusion	48
CHAPITRE III: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISE	
III.1 Introduction	50
III.2 Sable	50
III.2.1 Origine du sable naturel	50
III.2.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé	51
III.2.2.1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555	51
a. But de l'essai	51
b. Mode opératoire	51
III.2.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554	52
a- But de l'essai	52
III.2.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche	53
III.2.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact	54
III.2.2.3 Porosité : NF P 18-554	55

III.2.2.4 Compacité	55
III.2.2.5 Equivalent de sable : NF P 18-59	55
III.2.2.6 Teneur en eau : NF P 18-555	56
III.2.2.7 Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560	59
III.2.2.8 Module de finesse	62
III.2.3 Caractéristiques chimique du sable	62
III.3 Granulats du Béton de démolition	63
III.3.1 Ciment	65
III.3.1.1 Caractéristiques physiques du ciment utilisé	66
III.3.1.2 Caractéristiques chimiques du ciment utilisé	66
III.4 L'eau de gâchage	67
III.4.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée	67
III.5 L'adjuvant	67
III.6 La Fumée de silice (FS)	69
III.7 Elaboration des différents mortiers	70
III.7. 1. Formulation Des Mortiers	70
III.7.2 Composition des mortiers	71
III.7.3 Procédure de gâchage	72
III.7.4 Confection des éprouvettes de mortier	72
III.7.5 Procédures expérimentales	73
III.7.5.1 Mode de cure	73
III.7.6 Description des essais	74
III.7.6.1 Essais sur le mortier frais	74
III.7.6.1.1 L'affaissement : Affaissement au cône d'Abram	74
III.7.7 Mesure de la densité réelle du mortier frais	75
III.8. Essais sur mortier durci	75
III.8.1.1 Essai de compression	75
III.9 Résistance à la traction par flexion	77
III.9.1 Essai ultrasonique	78
III.9.2 Absorption	79
Conclusion	80

CHAPITRE IV RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction	82
2. Comportement du mortier à l'état frais	82
3. Méthodologie adaptée pour les manipulations.....	82
4. Masses volumiques apparentes à l'état frais	83
5. Comportement du mortier à l'état durci	84
5.1 La masse volumique à l'état durci	84
5.2 Evolution de la Vitesse de Son(V)	86
5.3 Cinétique d'absorption capillaire	87
6. Résistance à la compression(RC)	88
7. Résistance à la flexion(Rf)	89
7.1 Interprétation	89
8. Résistance à la traction(Rt)	90
Conclusion	91
Conclusion Générale	92

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure. I. 1 Constituants des mortiers.

Figure. I. 2 Constituants des mortiers.

Figure I. 3 : Grain du calcaire

Figure I. 4 : Argile

Figure I. 5 : Minerais de fer

Figure I. 6 : Grain de sable

Figure I. 7 : Grain de gypse

Figure I. 8 : Grains de pouzzolane.

Figure I.9 : utilisation des super-plastifiants

Figure I.10 : action des super-plastifiants de floculation des grains de ciment

Figure I.11 : action d'entraîneur d'air

Figure I.12 : Evolution de la résistance à la compression pour des différents pourcentages d'ajout de sable de dune broyé dans le milieu standard.

Figure I.13 : Résistance à la compression du béton en fonction temps.

Figure I.14 : Résistance à la flexion des bétons en fonction du temps.

Figure I.15 : Evolution de la résistance à la compression pour les différents pourcentages d'ajout de fumée de silice dans le milieu sulfatique

Figure I.16: Evolution de la résistance à la compression fonction du temps d'un mortier avec $E/(C+FS)=0,40$

CHAPITRE II :

Figure II.1. Les étapes de la production des granulats recyclés

Figure II.2 Pyramide de valorisation selon les trois « R ».

Figure II.3 : schématisation d'un granulats recyclé

Figure II.4 : un granulats recyclé (granulats naturel entouré de mortier adhérent)

Figure II.5 : absorption des granulats recyclés en fonction de temps

Figure II.6 : machine Los Angeles

CHAPITRE III :

Figure III.1 : Sable naturel

Figure III.2 : Sable recyclée

Figure III.3 La masse volumique absolue d'un matériau
Figure III.4 Essai de détermination de la masse volumique apparente
Figure III.5 : Echantillons de sable dans un tube
Figure III.6 : Echantillons de Sable
Figure III.7 : Agitateur mécanique
Figure III.8 : Repos de 20 min pour l'éprouvette
Figure III.9 : Mesurée de L'équivalent de sable.
Figure III.10 : colonne des tamis
Figure III.11 : Appareil de l'analyse granulométrique
Figure III.12 La courbe granulométrique du sable de Boussaâda
Figure III.13.: Étapes de préparation des granulats du béton de démolition..
Figure III.14 : La courbe granulométrique du sable recyclé
Figure III.15 : Super plastifiant utilisé dans notre étude.
Figure : III.16 Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30
Figure III.17 : Poudre de la fumée de silice.
Figure III.18. Moule de confection des éprouvettes 4×4×16 cm.
Figure.III.19 Malaxeur du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila)
Figure III.20 : Les moules métalliques
Figure III.21 : La table à choc.
Figure III.22 : Conservation dans l'eau à 20°c
Figure.III.23 Cône d'Abrams du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila)
Figure III.24. : Presse Hydraulique (Machine De Compression)
Figure III.25 : les éprouvettes avant et après
Figure III.26 : Presse hydraulique pour l'essai de traction par flexion
Figure.III.27 Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)
Figure III.28 : l'appareil à ultrasons « Proceq Pundit Lab »
Figure.III.29 : Absorption

CHAPITRE IV:

Figure (IV.1) : Maniabilité de mortier
Figure (IV.2) : Masses volumiques à l'état frais des différents mortiers
Figure (IV.3) : La Masse Volumique l'état durcie

Figure (IV.4) : la vitesse ultrasonique

Figure IV.5. L'absorption d'eau à 7, 14, 28 jours d'âge de chaque type de mortier.

Figure (IV.6) : La résistance à la compression des mortiers recyclés en fonction de l'âge

Figure (IV.7) : Résultat du test de résistance à la flexion selon les intervalles après 7 et 14 jours et après 28 jours.

Figure (IV.8) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours)

Liste des tableaux

CHAPITRE I :

Tableau I.1 : Principales catégories de ciment

Tableau I.2 : caractéristique mécanique des ciments courants.

Tableau I.3 : adjuvants modifiant la prise et le durcissement du ciment

Tableau I.4 : action du rétenteur d'eau.

CHAPITRE III

Tableau.III.1 Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

Tableau.III.2 Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

Tableau.III.3 Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

Tableau.III.4 Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda

Tableau.III.5 Comparaisons des résultants

Tableau.III.6 Teneur en eau du sable de Boussaâda

Tableau.III.7 Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda

Tableau.III.8 Analyse chimique du sable de Boussaâda

Tableau III. 9 : Analyse granulométrique du sable recyclé

Tableau.III.9 Caractéristiques physiques du ciment

Tableau.III.10 Caractéristiques chimiques du CPJ -CEM II/B 42.5

Tableau.III.11 Caractéristiques Chimique de l'eau de gâchage

Tableau III.12 : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.

Tableau III.13 : Formulation d'un mortier normalisé

CHAPITRE IV :

Tableau IV.1 : Mélanges de mortier (adjuvants et additions minérales).

Abréviations

Rc : l'activité du ciment en Mpa.

E/C : le rapport massique eau -ciment. MF : module de finesse

M : Masse (kg).

ρ_a : Masse volumique apparente

ρ : Masse volumique absolue

ES : équivalent de sable au piston

h : hauteur (m)

ESV : équivalent de sable visuel

SD : sable de dune

SR : sable de rivière

MSR: (100 % SR)

MSD: (100 % SD)

M 80/20%:(80 % SR + 20 % SD)

M 60/40%:(60 % SR + 40 % SD)

M 40/60%: (40 % SR + 60 % SD)

M 20/80%: (20 % SR + 80 % SD)

Introduction Générale

Introduction Générale

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison et la solidarisation et qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage...etc., afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et combler les interstices entre les blocs de construction. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant (chaux ou ciment) toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement d'additions pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. De multiples compositions de mortiers sont présentes dans tous les secteurs du BTP, elles sont obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. En France, leur utilisation n'a fait qu'augmenter depuis 1970 pour arriver à une production proche de 4 millions de tonnes en 2011. De plus, la complexité des mortiers entraîne une augmentation constante des mortiers pré formulés, dits « industriels » ou « prêts à l'emploi », face au mortier réalisés sur chantier.

Les mortiers, de part nature est constitué d'un élément interne essentiel qu'est le sable en phase granulaire de diamètre très fin. En Algérie de grandes quantités de sable roulé siliceux alluvionnaire sont utilisées pour la confection des bétons et mortiers. Mais les extractions excessives de ces sables ont fortement contribué à l'épuisement des ressources naturelles et ont provoqué des retombées néfastes sur l'environnement. De nombreuses régions du monde vivent cette situation et doivent aujourd'hui chercher des matériaux de substitution pour faire face à la demande croissante en granulats à béton et mortier. Un autre type de sable, disponible en quantité importante localement et ne présentant pas de problématiques environnementales notables existe, il s'agit du sable de dune, qui malgré son abondance, reste assez méconnu dans le bâtiment. Sa quantité se chiffre en milliards de mètre cube, est disponible dans près de 60% du territoire et certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction ce qui permettra d'atteindre un équilibre entre les contraintes de protection de l'environnement et les considérations économiques et sociales.

Les granulats issus de recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans la plupart des pays Européens dans le domaine routier, et leur valorisation dans le béton hydraulique est freinée par le fait qu'ils

Introduction Générale

sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de contrôle des propriétés du béton frais et par conséquent, influençant la résistance et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

Au cours des dernières années, les recherches sont orientées beaucoup plus sur l'utilisation du gravier recyclé dans le béton mais peu d'études existent sur l'utilisation de la fraction fine (< 5 mm). Cette dernière est composée de mortier durci, elle nécessite une grande demande en eau, qui n'est pas constante le plus souvent, ce qui le rend plus difficile à recycler dans le béton et dans les mortiers par rapport au sable usuel. Lors du concassage du vieux béton une quantité importante de fraction fine est inévitable et qui est constituée en majeure partie, de la pâte cimentaire durcie caractérisée par sa porosité élevée ce qui le rend plus difficile à recycler dans le béton et dans les mortiers par rapport au gravier. Plusieurs chercheurs considèrent que cette fraction est nocive à la durabilité des bétons dont son ressort est la décharge, par contre d'autres études limitent son utilisation dans le nouveau béton à un seuil de 20% à 30% comme pourcentage de remplacement des sables naturels. Les (GR) se caractérisent par une plus faible densité, une absorption d'eau beaucoup plus élevée et des résistances mécaniques inférieures à celles des (GN). Ceci est expliqué par la porosité élevée de la pâte cimentaire, qui influence les propriétés des bétons et mortiers à base des recyclés à l'état frais et durci. De nombreux auteurs ont conclu que la substitution des granulats naturels par les recyclés, engendre une augmentation de la quantité d'eau de gâchage nécessaire, menant à des difficultés de contrôle de la rhéologie à l'état frais et par conséquent provoque des pertes de résistances à la compression, à la flexion ainsi que le module d'élasticité.

Objectif de l'étude :

Notre mémoire a pour objectif premier de caractériser les différents agrégats fins recyclés disponibles provenant de la démolition (débris de béton). Ces matériaux récupérés sont principalement du béton recyclé et de déchets sous forme d'agrégats fins (sable) qui par la suite, peuvent être mélangés partiellement avec les agrégats naturels pour former un type d'agrégats fins recyclés. L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats fins recyclés sur les caractéristiques physico-mécaniques, rhéologiques des mortiers à base de ces agrégats.

Ainsi, ce manuscrit présente :

Introduction Générale

Un **premier chapitre** : présent une recherche bibliographique sur les mortiers, leurs formulations, propriétés, avantages et domaines d'application.

Un **deuxième chapitre** : recherché concentre sur le granulat recycle.

Un **troisième chapitre** : aborde les techniques expérimentales utilisées : la caractérisation des matériaux utilisés, la formulation des mortiers et la présentation des essais confectionnés au niveau du laboratoire.

Un **quatrième chapitre** : consacré aux résultats expérimentaux avec la discussion des résultats. Enfin, ce mémoire se clôture par une conclusion générale.

CHAPITRE I:
GENERALITES SUR LES MORTIERS

Introduction :

Ce chapitre présente une compilation bibliographique des connaissances sur les principales propriétés concernant les propriétés des mortiers comprenant des déchets industriels (plastiques et briques).

→ La première partie : s'attache à expliquer l'importance du mortier et ses usages dans le domaine de la construction.

→ Deuxième partie : Il parle du recyclage des déchets industriels et de son inscription dans le domaine du génie civil.

1. Introduction

Le mortier est un composant essentiel en construction. Il est utilisé pour maintenir entre eux les éléments de maçonnerie, combler les vides et finir les surfaces.

Le type de mortier le plus courant est le mortier de ciment. On le fabrique en mélangeant du ciment avec de l'eau et du sable.

Il est utilisé pour maintenir entre eux les briques, les blocs et les pierres afin de former des constructions de différents niveaux de complexité.

2. Définition de mortier

Le mortier est un mélange constitué de sable d'eau et d'un liant, qui peut être la chaux ou le ciment. On peut également trouver des polymères dans la composition de certains mortiers. Ce mélange pâteux sert notamment à lier entre eux les matériaux de construction.

Ses proportions sont différentes de celles du béton et il ne comporte pas de gravier [3]

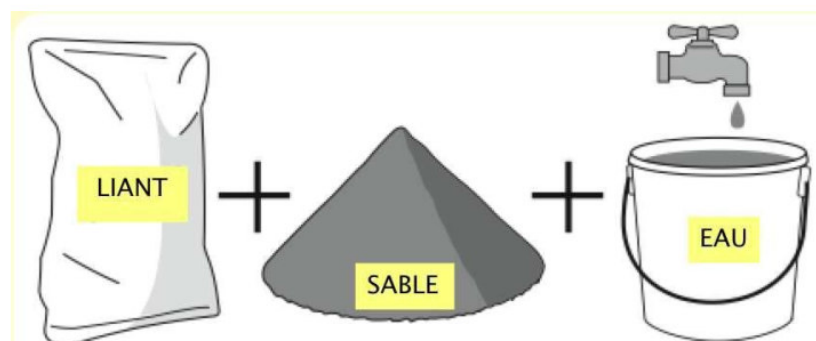


Fig. I. 1 Constituants des mortiers [4].

2.1. Constituent des mortiers:

Les mortiers sont constitués par des mélanges de:

(Liant + sable) + Eau = mortier

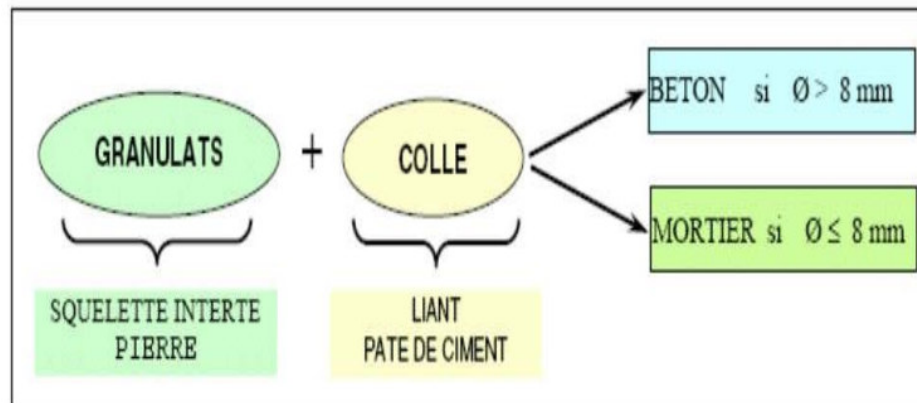


Fig. I. 2 Constituants des mortiers [5].

3. Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment gâché et mélangé avec des granulats et de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve une ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance donnés et aussi présenter une stabilité de volume à longue échéance.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation de silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tels que, par exemple, les aluminates. La somme des proportions d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse, dans les ciments.

Les ciments sont constitués de petits grains individuels de différentes matières, mais ils doivent être statistiquement homogènes en composition. Un haut degré de régularité dans toutes les propriétés du ciment est obtenu par un procédé continu de production en masse et, en particulier, par des procédés convenables de broyage et d'homogénéisation.

3.1. Constituants de base du ciment

3.1.1. Matières premières

Les matières premières sont nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile. Ces matériaux sont extraits par détonation, et ils sont transportés par des bulldozers et de gros camions vers le concassage pour les transformer de grosses roches en pierres de petit diamètre.

3.1.1.1 Calcaire

Le calcaire est essentiellement constitué de carbone de calcium qui existe à l'état pur sous de variétés cristallisées de calcite et d'aragonite. On classe les calcaires comme suit:

a. Calcaire Dur :

On attribue ce nom au calcaire contenant un minimum de 80 % en CaCO_3 et maximum de MgCO_3 . Le calcaire dur, renferme de faible proportion d'impureté de quartz, d'oxyde de fer. Les calcaires durs sont imperméables à l'eau.

b. Calcaire Mou (Craie) :

La craie exploitée, par exemple, s'est formée il y a 80 millions d'années par l'accumulation de coquilles de plancton appelés coccolites. Les précipitations de (CaCO_3) ont cimenté ces organismes entre eux avec un peu d'argile et de silice. Le calcaire mou contient un maximum de 90% en (CaCO_3). Il est une variété de calcaire friable, les impuretés sont en proportion secondaires. [3]



Figure I. 3 : Grain du calcaire

3.1.1.2 Argile :

Elles sont constituées surtout de minéraux très petits à structures en feuilles ceci explique leur tendance à absorber l'eau et leur plasticité. Il y a une nombreuse variété de minéraux aux formes très complexes les plus connues sont:

L'argile est une roche de couleur variable suivant les oxydes qu'elle contient. Lorsqu'elle est humide, elle dégage l'odeur caractéristique de la terre mouillée, elle se disperse facilement dans l'eau à cause du gonflement de ses particules de liaisons entre elle, et à cause de sa plasticité.

L'argile est une roche de couleur variable suivant les oxydes qu'elle contient. Lorsqu'elle est humide, elle dégage l'odeur caractéristique de la terre mouillée, elle se disperse facilement dans l'eau à cause du gonflement de ses particules de liaisons entre elle, et à cause de sa plasticité. Les argiles sont des produits composés de roches siliceuses principalement de feldspaths qui sont des silicates doubles d'aluminium et d'un métal alcalin ou alcalinoterreux. [3]



Figure I. 4 : Argile

3.1.1.3 Les matières corrections

Des correcteurs, minéral de fer qui apporte Fe_2O_3 , bauxite pour Al_2O_3 , calcaire pour CaO , sable pour SiO_2 sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée du cru et le gypse ($CaSO_4, 2H_2O$) qui est un retardateur de prise est broyé avec le clinker. [4]

3.1.1.4 Minerai de fer (Fe_2O_3)

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme la bauxite. Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère, sachant également que l'isomorphisme, presque toujours présent dans les minéraux naturels, réduit la teneur théorique. [5]



Figure I. 5 : Minerais de fer

3.1.1.5 Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin.

Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres.

On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière.



Figure I. 6: Grain de sable

Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol.

Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux ; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements : il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut.

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur).

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [7].

3.1.1.6 Bauxite

Est une roche latéritique blanche, rouge ou grise, caractérisée par sa forte teneur en alumine Al_2O_3 et en oxydes de fer. Cette roche constitue le principal minerai permettant la production d'aluminium. Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide. De structure variée, elle contient dans des proportions variables des hydrates d'alumine, de la kaolinite, de la silice et des oxydes de fer qui lui confèrent souvent une coloration rouge. [4]

3.1.1.7 Gypse

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate di hydraté de calcium de formule $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Le mot gypse désigne ainsi à la fois une espèce chimique et une roche. La Mine de Naica permet de voir des cristaux géants de ce minéral dépassant 11 mètre de long (**Figure I.7**) Le gypse est le minerai qui permet de fabriquer le plâtre. [7]



Figure I. 7 : Grain de gypse

3.2 Les matières secondaires

3.2.1 Pouzzolane

Le terme couvre une série de matières naturelles de produit naturels caractérisés par une forte teneur en silice (50%) et l'aptitude à fixer la chaux en présence de l'eau à la température ambiante, pour formes des silicates et aluminates de calcium hydratés.

En association avec un ciment portland (ciment dégagement beaucoup de chaux hydratée lors de processus d'hydratation) la pouzzolane agit en fixant progressivement cette chaux.

Ce faisant, elle accroît à long terme la résistance mécanique et améliore le comportement aux agents agressifs par la réduction de teneur en chaux libre.

En outre, la poudre très fine que constitue la pouzzolane, améliore l'imperméabilité en colmatant les capillaires. [3]



Figure I. 8: Grains de pouzzolane.

3.2.2 Les fillers calcaires

Les fillers calcaires sont des produits finement divisés. Obtenus par broyage des roches naturelles (calcaires, basalte, etc.), avec une teneur de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75%. Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de CaCO_3 , sinon il est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Dans le commerce, les fillers sont désignés comme des poudres très fines à granulométries contrôlées, les plus gros grains ne dépassent pas 80 μm .

Les fillers se différencient les uns des autres par : leur origine (roche), leur composition chimique et minéralogique, la forme des grains, leur finesse, leur dureté, et porosité, ainsi que les impuretés qu'ils contiennent.

3.2.3 Fumées de silice

Elles sont issues de la production de silicium métallique dans les fours à arc électrique. Elles forment des sphéricités qui se regroupent en agglomérats de quelques micromètres. La surface spécifique de ces fines est très élevée (10 à 20 m^2/g). [8]

3.2.4 Le laitier de haut fourneau

Le laitier est des sous-produits de l'industrie métallurgique. Leur composition chimique comporte de l'oxyde de calcium (40 à 50%), silice (25 à 35 %), l'alumine (12 à 30 %) ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. [29]

3.2.5 Produit semi-fini (Clinker)

Le clinker est un mélange de calcaire CaCO_3 (~80 %) et d'argile (~20 %) ayant subi une cuisson à 1450 °C au sein d'un long four métallique isolé par des briques réfractaires.

Le clinker obtenu à la sortie du four à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs. [21]

3.3 Procédure de fabrication du ciment

3.3.1 Principe de fabrication

La fabrication de ciment, Elle est basée sur trois opérations suivantes :

- Préparation de cru
- Cuisson
- Broyage et conditionnement

3.4 Classification normalisée des ciments

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme. Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent. [14]

Tableau I.1 : Principales catégories de ciment

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier -pouzzolanes - cendres - calcaires -schistes -fumées de silice	Teneur en Constituants secondaires
CPA-CEM I	Ciment Portland	95 à 100%		0 à 5 %
CPJ-CEM II/A	Ciment Portland composé	80 à 94 %	De 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 % ;	0 à 5 %
CPJ-CEM II/B		65 à 79 %	de 21 à 35 % avec les mêmes	0 à 5 %

			restrictions que ci-dessus.	
CHF- CEM III/A	Ciment de haut fourneau	35 à 64%	36 à 65 % de laitier de haut fourneau.	0 à 5 %
CHF- CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier de haut-fourneau.	0 à 5 %
CLK- CEM III/C		5 à 19 %	81 à 95 % de laitier de haut-fourneau.	
CPZ- CEM IV/A	Ciment pouzzolani que	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %.	0 à 5 %
CPZ- CEM IV/B		45 à 64 %	36 à 55 % comme ci-dessus.	0 à 5 %
CLC- CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5 %
CLC- CEM V/B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus.	0 à 5 %

a- Caractéristiques physiques :

a.1- Comportement physico - chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique- : C3A
- Alumino ferrite tétra calcique: C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

a.2-Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R.
- 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

a.3-Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène l'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance.

a.4-Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

a.5-Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g . Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'éventement du Ciment sont accrus.

a.6-Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

a.7-Gonflement :

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent, c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

b - caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes :

Classe de ciment	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32.5	-	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5	- -
52.5 R	≥ 30	≥ 52.5	- -

Tableau I.2 : caractéristique mécanique des ciments courants.

4. L'eau de gâchage:

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale [4].

5. Les ajouts

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice, etc....).
- Fibres de différentes natures.
- Colorants (naturels ou synthétiques).
- Polymères.

6. Les adjuvants :

Ils se présentent sous forme de liquide ou de poudre et sont additionnés en faible quantité (0,5 litre pour 35 kg de ciment utilisé) dans le mélange eau, sable et liant. Ils améliorent la résistance et ajoutent certaines propriétés au mortier.

Les différents types d'adjuvants que nous pouvons rencontrer sont :

- Les plastifiants qui permettent d'accroître l'homogénéité et l'élasticité du mortier
- Les fluidifiants qui favorisent l'humidification des grains de ciment
- Les colorants qui changent radicalement la couleur du mortier selon vos préférences
- Les entraîneurs d'air qui permettent d'augmenter la résistance au gel, aux intempéries et aux eaux agressives
- Les accélérateurs de prise qui entraînent l'hydratation rapide des grains de ciment. Ils sont à utiliser en temps froid pour accélérer la prise et assurer le durcissement complet du mortier.
- Les retardateurs de prise ayant l'effet contraire que l'accélérateur de prise. Ils sont à utiliser durant les temps exceptionnellement chauds et secs. Notons que l'ajout d'adjuvant lors de la fabrication du mortier n'est pas indispensable [9].

6.1 Les type des adjuvants :

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme NF EN 934-2

- a) Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier :

6.1.1 Plastifiants et fluidifiants :

Les plastifiants et les fluidifiants sont de loin les adjuvants les plus utilisés pour la confection du béton et mortier. Leur efficacité est illustrée par la figure I.6. Pour un rapport e/c constant,

L'utilisation de ces adjuvants améliore l'ouvrabilité du béton. Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport e/c , si l'ouvrabilité est maintenue constante, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité. On peut aussi, mais avec une moindre efficacité, conjuguer les deux effets, soit obtenir une amélioration de l'ouvrabilité tout en diminuant le rapport e/c . En conséquence, les plastifiants et fluidifiants permettent d'optimiser la recette du béton et mortier en termes d'ouvrabilité et de propriétés du béton et mortier durci.

Comme effet secondaire possible de ces adjuvants, on observe parfois un effet retardateur de prise. D'une manière générale, l'efficacité des adjuvants est étroitement dépendante des caractéristiques du ciment et de la composition du béton ou mortier. C'est pourquoi il est recommandé de vérifier la compatibilité et l'efficacité de chaque combinaison adjuvant - ciment au moyen d'essais préliminaire.

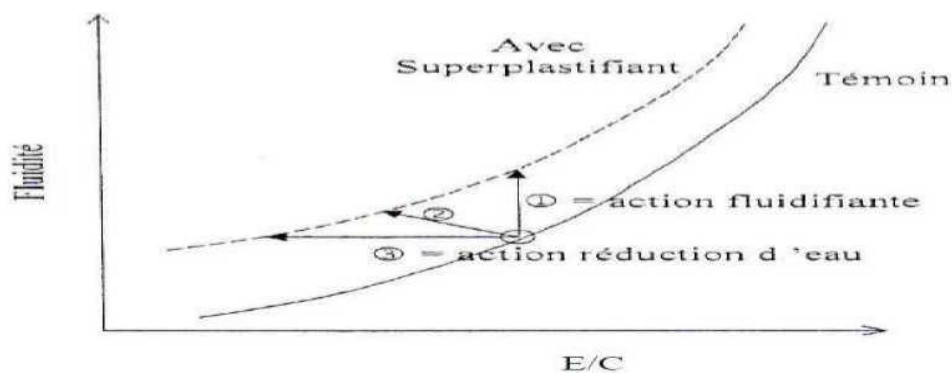


Figure I.9 : utilisation des super-plastifiants [20]

- 1- Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2- Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- 3- Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale). [20]

L'action principale des super-plastifiants est de flocculer les grains de ciment. Une action de répulsions électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et /ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité

du béton et mortier la figure I.7 .il est alors possible de mettre en rouvre des bétons et des mortiers très fluides, avec des rapports E/C faibles.



Figure I.10 : Action des super-plastifiants de floculation des grains de ciment

b) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution.

Physiquement, cette action se traduit par révolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé :

6.1.2 Accélérateurs de prise et durcissement :

Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement avancent le début de prise ou accélèrent le processus de durcissement en libérant la chaleur d'hydratation plus rapidement. L'hydratation étant plus rapide, le béton peut être décoffré, mis en charge ou exposé au gel plus tôt. L'effet des accélérateurs dépend beaucoup de leur composition chimique et de celle du ciment utilisé. En cas de surdosage, on peut observer une inversion du phénomène recherché, c'est-à-dire un ralentissement au lieu d'une accélération de la prise ou du durcissement. Les accélérateurs entraînent souvent une perte plus ou moins importante de la résistance finale du béton ou mortier.

Ces adjuvants peuvent avoir une influence majeure sur les caractéristiques du béton frais et durci. Leurs effets se basent sur des réactions chimiques et/ou physiques très complexes, c'est pourquoi il faut éviter de mélanger différents types d'adjuvants ou combiner des adjuvants provenant de fabricants différents. Il est impératif de procéder à des essais préliminaires, afin de définir le bon dosage et le type d'adjuvant adapté au ciment, aux additions, à l'eau et aux granulats de la recette de béton et mortier. [9]

6.1.3 Retardateurs de prise :

Les retardateurs de prise ont pour effet de retarder le début de la prise du ciment et de prolonger ainsi le délai de mise en place du béton. Leurs applications principales sont les suivantes :

- Bétonnage par temps chaud
- Transport du béton sur de longues distances
- Bétonnage de gros volumes ou de grandes surfaces

Un béton avec retardateur de prise durcit moins vite au jeune âge, mais sa résistance à 28 jours est souvent un peu plus élevée que celle d'un béton sans retardateur. Du fait de son durcissement initial ralenti, un béton avec retardateur de prise nécessite une cure prolongée et particulièrement attentive. Comme l'effet recherché dépend beaucoup du type de retardateur, mais aussi du ciment utilisé et de la température ambiante, il est indispensable de procéder à des essais préliminaires, en particulier à différentes températures. En cas de surdosage, l'effet du retardateur de prise peut s'inverser et devenir accélérateur.

Tableau I.3 : Adjuvants modifiant la prise et le durcissement du ciment [23]

<i>Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment (extrait du guide SYNAD)</i>				
		<i>Accélérateurs de prise</i>	<i>Accélérateurs de durcissement</i>	<i>Retardateurs de prise</i>
<i>Dosage/masse de ciment</i>		1 à 3 %	0,2 à 3 %	0,1 à 1 %
<i>Introduction</i>		Dans l'eau de gâchage		
<i>Effets sur la prise</i>		Accélération variable suivant les dosages les types de ciments et les températures.		Retards très variable suivant dosages, ciments, températures.
<i>Effets sur les résistances</i>	<i>initiales (avant 3 jours)</i>	Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.
	<i>finales (avant 28 jours)</i>	Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées	Légèrement augmentées.
<i>Effets secondaires favorables</i>		-	-	Amélioration de maniabilité avec possibilité de réduction d'eau
<i>Autres effets</i>		Possibilité d'une légère augmentation de retrait		-

c) **Adjuvants modifiant les propriétés physiques :**

- **Hydrofuge de masse :**

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, mortiers ou coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton qui peut néanmoins se modifier au bout de quelques années. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines ainsi que des agents fluidifiants. [22]

6.1.4 Entraîneurs d'air :

Le rôle des entraîneurs d'air est d'incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300 µm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel - dégel. Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du ressuage. Du fait de leur nature chimique particulière, les entraîneurs d'air ont la capacité d'introduire des bulles d'air de la dimension voulue dans le béton et de les stabiliser.

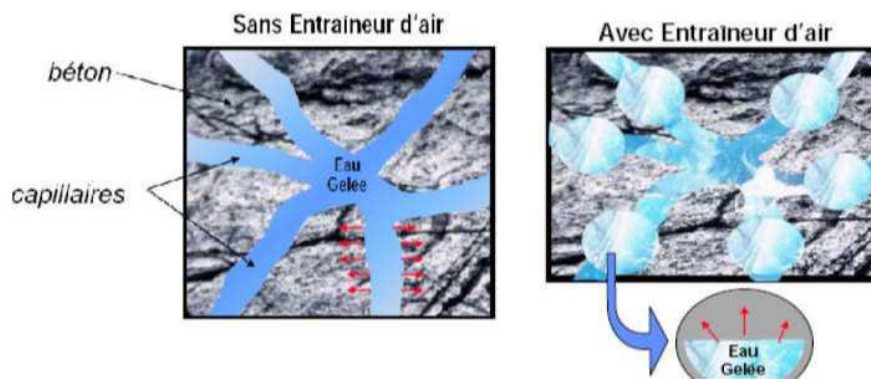


Figure I.11 : action d'entraîneur d'air [24]

6.1.5 Rétenteurs d'eau :

Permettent de réguler l'absorption de l'eau par un support et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange. [19]

Tableau I.4 : action du rétenteur d'eau. [23]

<i>Action des retentEURS d'eau</i>	
<i>Dosage</i>	Généralement < 0,5 %
<i>Effet sur la mise en œuvre du béton</i>	Diminution du ressuage de 50 %
<i>Résistance A toutes les échéances</i>	Par rapport au témoin, légère diminution possible
<i>Effets secondaires favorables</i>	Amélioration de la rhéologie du béton frais dans le cas d'un manque en éléments fins

Adjuvant	Abréviation	Effets principaux et domaines d'application
Plastifiant	BV	Diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité (éléments préfabriqués)
Fluidifiant	FM	Forte diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité. Permet d'obtenir des bétons à durabilité accrue et/ou à mise en place facilitée (bétons pompés, SCC)
Entraîneur d'air	LP	Production et dispersion de fines bulles d'air dans la masse du béton en vue d'augmenter sa résistance au gel et aux sels de déverglaçage (ouvrages d'art)
Retardateur de prise	VZ	Retardement du début de prise du béton (bétonnage par temps chaud)
Accélérateur de prise	SBE	Accélération du processus de prise du béton (bétons projetés)
Accélérateur de durcissement	HBE	Accélération du processus de durcissement du béton (préfabrication)
Hydrofuge	DM	Diminution de l'absorption capillaire (éléments préfabriqués)

7. Différents types des mortiers :

Les mortiers peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

7.1 Mortier de ciment :

Il est plus résistant que les mortiers de chaux mais il reste imperméable à l'air, par conséquent, il maintient l'humidité dans une maçonnerie traditionnelle de pierres qui doit toujours être aérée. Ce mortier doit être utilisé uniquement pour la maçonnerie des blocs de bétons ou autrement dit de parpaings en ciment. Sa rigidité en fait un matériau qui a tendance à fissurer sous l'action des écarts de température, notamment alternances gel & dégel, tandis que son imperméabilité l'expose aux moisissures. En revanche, il est plus facile, rapide, et tolérant à mettre en œuvre.

7.2 Mortier de chaux grasse :

Il fait prise en contact avec l'air. Il durcit en surface et reste souple à l'intérieur de la maçonnerie. Cette qualité en fait un mortier qui reste élastique et donc qui ne fissure pas. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Mais il ne doit pas être utilisé dans un milieu humide (cave, mur souterrain, etc.). Le mortier de chaux grasse est moins résistant par rapport à un mortier de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

7.3 Mortier de chaux hydraulique :

Il est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Deux avantages sont qu'il reste plus flexible que le mortier de ciment et est perméable à la vapeur d'eau, donc régule l'humidité ambiante. En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).

7.4 Mortier bâtard :

Le mortier bâtard est constitué par un mélange de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

7.5 Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues [13].

7.6 Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [13].

7.7 Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, Conditionnés en sacs, prêts à l'emploi, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins [13].

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiment.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ...
- Mortier de réparation.

8. Classification des mortiers**8.1 Selon leur domaine d'utilisation**

Généralement les mortiers sont classés selon leur domaine d'application, et ce dernier

qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes [14]:

- Mortier dépose ;
- Mortier déjoints;
- Mortier pour les crépis;
- Mortier pour le sol;
- Mortier pour les stucs ;
- Pierres artificielles ;
- Support pour les peintures murales ;
- Mortier d'injection;
- Mortier pour les mosaïques;
- Mortier de réparation pour pierres.

9. Caractéristiques des mortiers :

Elles sont nombreuses. A savoir :

- Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions.
- Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique.
- Etre imperméable : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits.
- Adhérer aux matériaux : pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries.
- Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter le tassement soules dislocations des ouvrage ;
- Résister aux agents agressifs d'un Eamon sphère ou d'un sol pollués ;
- Etre ouvrable, afin que l'exécutant puis sel mettre en place dans les meilleures conditions.
- Conserver toutes ses qualités, et notamment la permanence de la résistance. De quoi dépendront tous ces qualités des constituants :
- De leur nature.
- De leur dosage.

10. Influence de sable de dune sur la matrice cimentaire

D’après l’étude de KADRIA, qui est basé sur l’utilisation des matériaux sont : sable de construction de Hassi-Essayah Ouargla ($Mf\%=2.25$; $M_{abs}=2600Kg/m^3$; $M_{app}=1700Kg/m^3$) et 2 type de ciment (CPJ-CEM IIB42.5 et CPA-CEM I 42.5 de Ain Touta Batna) pour construire un béton de bonne résistance avec l’ajout de sable de d’une poudre de Hassi Ben Abd Allah Ouargla ($F=3600cm^2/g$; $M_{abs}=2600kg/m^3$; $M_{app}=0.915g/cm^3$). Et D’après l’étude de GUETTALA.S qui l’utilisation des matériaux sont : sable de construction de la région Biskra ($Mf\%=2.37$; $M_{abs}=2500Kg/m^3$; $M_{app}=1440Kg/m^3$) et ciment CEM I 42.5 de Ain Touta Batna ($F=3200cm^2/g$, $M_{abs}=3050kg/m^3$ $M_{app}=1120 kg/m^3$) et ajoute du sable de d’une poudre de la région Biskra ($F=4000cm^2/g$; $M_{abs}=2770kg/m^3$; $M_{app}=1.3g/cm^3$).

On conclue que le bon résultat qui améliore la résistance à la compression ou à la flexion c’est le pourcentage de 10% ou 2% de sable de dune broyé.

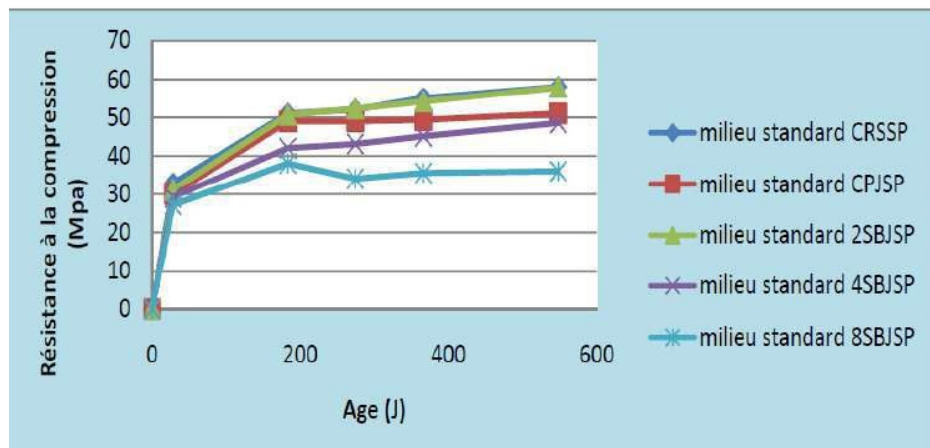


Figure I.12 : Evolution de la résistance à la compression pour des différents pourcentages d’ajout de sable de dune broyé dans le milieu standard.[KADRI .A, 2014]

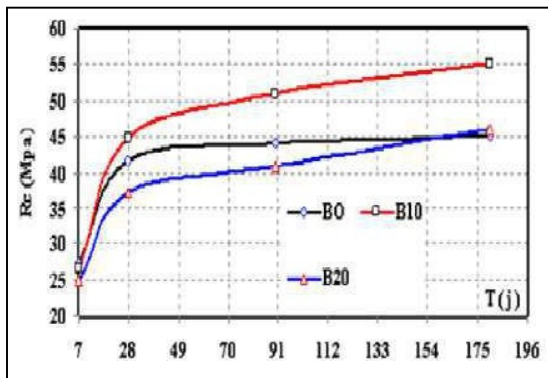


Figure I.13 :Résistance à la compression des en fonction du bétons temps

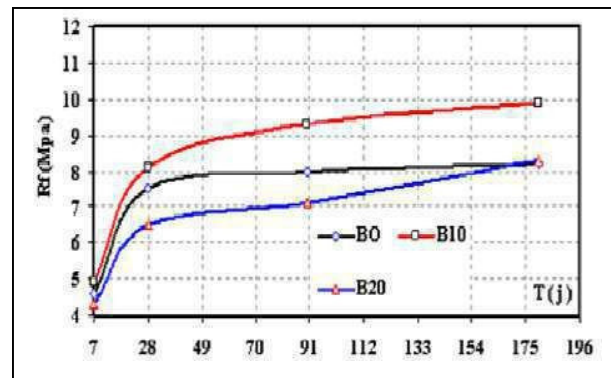


Figure I.14:Résistance à la flexion des bétons en fonction du temps [GUETTALA.S, 2013]

I.11. Influence de fumé de silice sur la matrice cimentaire

D'après l'étude de KADRI A., il est utilisé les mêmes matériaux du paragraphe (I-4) et avec l'ajout de la fumée de silice à la finesse = 150000 cm²/g, il conclue que la résistance du béton augmente avec l'augmentation les pourcentages de fumée de silice, et le bon résultat qui améliore la résistance à la compression ou à la flexion est obtenu par le pourcentage de 10% de fumée de silice.

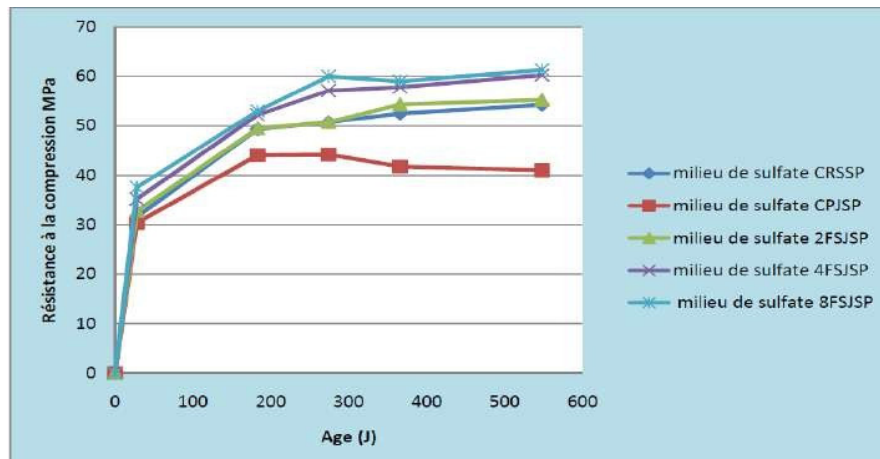


Figure I.15 : Evolution de la résistance à la compression pour les différents pourcentages d'ajout de fumée de silice dans le milieu sulfatique [KADRI.A, 2014].

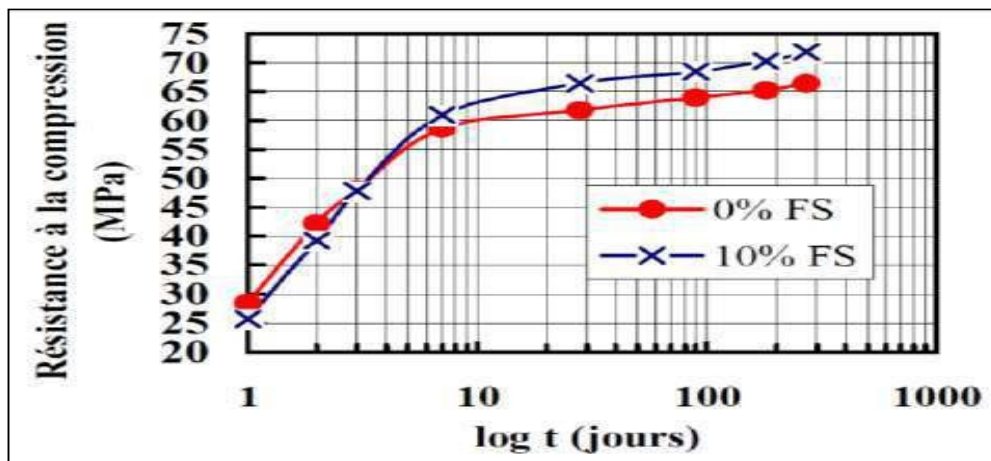


Figure I.16: Evolution de la résistance à la compression fonction du temps d'un mortier avec E/(C+FS)=0, 40 [KADRI. El, 2000]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé en générale sur le ciment et mortier, connaitre les différentes additions minérales sur le ciment. Enfin, permet l'influence des additions qui utilisant de notre recherche sur les matrices cimentaires : sable de dunes en poudre, la fumée de silice qui base sur les travaux précédents.

CHAPITRE II:
LES GRANULATS RECYCLES

Introduction

Depuis des années, une prise de conscience générale a permis le développement de concepts de gestion et de politiques orientés vers la protection de l'environnement et des ressources naturelles. Dans ces politiques, le recyclage tient une place importante. Ainsi, les granulats recyclés issus de déchets de démolition, de rebuts de fabrication de produits en béton et de déchets divers ne sont pas ou très peu utilisés dans l'industrie du béton voire du Génie Civil. Toutefois, leur perspective d'utilisation dans des produits de résistance mécanique peu élevée est grande moyennant quelques précautions d'emploi. C'est pourquoi le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement. Notre objectif, dans ce premier chapitre, est de passer en revue les connaissances actuelles les plus pertinentes sur les granulats qui ont fait l'objet de recherche comme substitut de granulats naturels. Cette synthèse met en avant l'origine de ces granulats et aussi présente les performances des bétons confectionnés avec ces granulats recyclés.

1. Recyclage des déchets :

1.1 Définition :

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

C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés [23].



Figure II.1. Les étapes de la production des granulats recyclés [23].

2. Les types de recyclage (les procédés) :

Il existe trois grandes familles de recyclage : chimique, mécanique et organique.

2.1 Le recycle technique (matière):

Il est essentiellement réservé aux thermoplastiques et consiste à broyer et refondre la matière plastique réversible pour fabriquer des produits finis commercialisables, des granules ou

des poudres de plastique. Ces derniers sont commercialisés sous la même forme que le granule de résine vierge qui peut servir à fabriquer des vêtements, des tuyaux, renforts de chaussures, etc.

Par ailleurs, ce type de recyclage exige un plastique homogène (composé d'une seule résine) qui doit être broyé et ajouté aux granules de résine vierge avant la phase de plastification, néanmoins certains plastiques en mélange font l'objet de recyclage mécanique par extrusion ou moulage pour la fabrication de divers substituts de composants en bois d'œuvre ou en béton (exemples des tables de pique-nique, des bancs de parc, etc.).

Cependant, le recyclage mécanique s'effectue suivant certaines étapes essentielles :

- Broyage;
- Lavage et séchage ;
- Extrusion ou régénération.

2.2 Le recyclage chimique :

Consiste à décomposer les plastiques en leurs éléments de base, soit en monomères, soit en pétrole, par un procédé chimique (pyrolyse, hydrogénation, etc.) ou thermique par l'incinération des plastiques afin de récupérer leurs chaleurs et de l'utiliser comme source d'énergie pour le chauffage, la production d'électricité ou de vapeur.

Ce procédé porte le nom de dépolymérisation et s'applique généralement au polyéthylène téréphtalate (PET) dont l'objectif d'obtenir des résines qui peuvent être incorporées dans la fabrication des produits qui vont contenir des aliments et des boissons

Toutefois, le recyclage chimique présente certaines difficultés liées à la propreté et à la présence du PVC qui réduit la qualité des produits obtenus mais elles peuvent aussi être d'ordre logistique et économique

3. La chaîne du recyclage :

3.1. Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler.

Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

3.1.1 Transformation

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

3.2.2 Commercialisation et consommation

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

4. Impact du recyclage dans l'industrie :

4.1 Source d'approvisionnement alternatif :

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

5. Les avantages du recyclable sur l'environnement :

5.1 Les avantages du recyclage-

a– Environnement sain :

Toute entreprise est responsable de la collecte et du traitement de ses déchets. En optant pour le recyclage, vous contribuez à la gestion écologique des déchets. Les autres modes de gestion, qui sont la mise en décharge et l'incinération, favorisent la pollution du sol et de l'air

b– Économie de matière première :

Recycler vous permet de faire des économies de matières premières. En réutilisant les matériaux

des produits en fin de vie, vous les réintroduisez dans le processus de production, à la place de nouvelles ressources naturelles. En effet, la qualité des matériaux contenus dans les verres, les métaux, et bien d'autres produits est conservée, même après le recyclage.

c– Image soignée :

La protection de l'environnement est une des valeurs que de nombreuses personnes, dont vos salariés et vos clients, défendent. Et le recyclage est une preuve tangible à travers laquelle ils peuvent percevoir votre implication dans une démarche écologique. Vous disposez donc d'un atout concurrentiel et d'un argument de communication.

De plus, si vous voulez vous engager dans une démarche qualité, il vous est indispensable de penser à un moyen de gérer durablement vos déchets.

d– Soutien à l'économie locale :

Plusieurs déchets industriels sont recyclables. Le carton peut être recyclé en carton, les appareils électriques en câbles ou en plastiques, le papier en dalles pour faux plafonds, les gravats en gravats, etc. Quel que soit votre secteur d'activité, vos déchets industriels pourraient être réutilisés.

6. Gestion des déchets :**6.1 Définition :**

La gestion des déchets, une des branches de la rudologie appliquée, regroupe la collecte, le négoce et courtage, le transport, le traitement (le traitement des rebuts), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux issus des activités humaines. Cette gestion vise à réduire leurs effets sur la santé humaine et environnementale et le cadre de vie.

Un accent est mis depuis quelques décennies sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation dans une perspective d'économie circulaire. Tous les déchets sont concernés (solides, liquides ou gazeux, toxiques, dangereux, etc.), chacun possédant sa filière spécifique. Les modes de gestion diffèrent selon que l'on se trouve dans un pays développé ou en développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. Les déchets non dangereux sont habituellement gérés sous la responsabilité des autorités locales, alors que les déchets des commerces et de l'industrie tendent à l'être sous leur propre responsabilité. En France « Tout producteur ou détenteur d'un déchet est

responsable de ce déchet : c'est-à-dire qu'il est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion. Cette responsabilité s'étend jusqu'à l'élimination ou la valorisation finale du déchet ».

7. Les principaux objectifs à atteindre dans la réduction de la production de Déchets :

- Diminuer la production et la nocivité des déchets, où il ne résout que partiellement les problèmes de l'élimination des déchets. Il permet cependant de diminuer les coûts de la gestion des déchets tout en induisant une prise de conscience des habitants face à la problématique des déchets.

- Valoriser les déchets qui peuvent être recyclés. Il s'agit de récupérer certains produits ou matériaux des déchets bruts à des fins de réemploi, de recyclage.

- Réserver les centres d'enfouissement aux seuls déchets ultimes, ne pouvant être ni traités, ni valorisés.

- Lutter efficacement contre les décharges « sauvages » anarchiques qui défigurent les paysages et les décharges polluantes non autorisées.

8. Valorisation des déchets en Algérie :

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis-à-vis l'environnement, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an, soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. C'est un véritable gisement. Or, il n'existe que 247 micro-entreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui ne valorisent à peine que 5 ou 6% de ce potentiel dont une partie est exportée. L'état mise beaucoup sur le développement d'une industrie de récupération et de recyclage. Elle est au cœur même du programme national de gestion des déchets municipaux (PROGDEM), qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation des déchets ménagers. Il existe deux (02) types de filières : classiques (plastiques, papiers, métaux, textiles, verres, bois et matières organiques) et complexes (pneus usagés, huiles usagées, piles et batteries et autres déchets d'équipements électriques et électroniques).

9.1 La valorisation des déchets de chantier :

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on

transforme un déchet en un nouveau matériau ou produit de qualité ou d'utilité supérieure, ou bien en une énergie renouvelable. La valorisation des déchets est généralement considérée comme l'inverse de la mise en décharge du contenu des poubelles. Elle se base sur le principe des trois «R», qui sont « Réduire », « Réutiliser » et « Recycler ». D'autres chercheurs y ont ajouté un quatrième R qui est « Repenser ».

- **Réduire :**

Cette étape consiste en la réduction à la source de la production des déchets. Cette opération peut se faire par exemple en faisant le tri à la source, ou bien en limitant l'utilisation des produits d'emballage. La réduction vise à avoir une quantité de déchets minimum à éliminer (mise en décharge).

- **Réutiliser :**

Cette opération consiste à donner une nouvelle fonction à un objet existant, sans pour autant le transformer. Cette technique connaît un grand essor chez les nouveaux décorateurs qui redonnent une nouvelle vie à des objets destinés à la décharge. Par exemple, les cageots en bois, les pneus de voitures, etc.

- **Recycler :**

Cette étape vient compléter les deux précédentes. Ainsi, s'il y a incapacité à réduire ou à réutiliser, on a recours au recyclage. C'est l'utilisation des déchets pour produire une nouvelle chose avec la même fonction ou une fonction toute autre. Ces objets recyclés sont bien entendu d'une qualité moindre

- **L'élimination :**

C'est la dernière étape du processus de valorisation. L'opération consiste à se débarrasser du reste des déchets qui ont été utilisés et qui ne peuvent subir aucune des opérations cités ci-dessus. C'est le cas notamment des déchets organiques qui peuvent servir de source d'énergie.

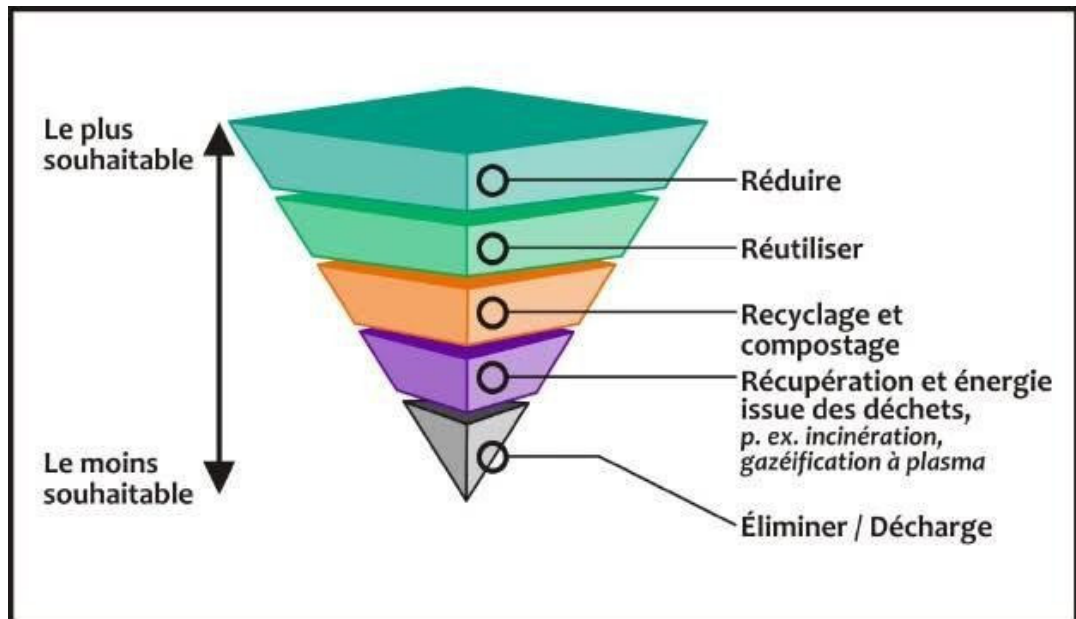


Figure. II.2 Pyramide de valorisation selon les trois « R ».

10. Le principe de recyclage :

Plusieurs principes guident la gestion des déchets, dont l'usage varie selon les pays ou les régions.

10.1 Le principe de responsabilité :

Il peut inclure celui de pollueur-payeur. Par exemple, concernant les déchets radioactifs, l'industrie nucléaire russe a obtenu de ses autorités de tutelle le principe « pay and forget » autorisant un exploitant (ex. : Rosatom via sa filiale Rosenergoatom, de « se libérer de la responsabilité de la gestion des déchets par le versement d'une soulte) ; en France, les propriétaires des déchets en conserveront la propriété, et donc la responsabilité, même lorsque ceux-ci auront été stockés ».

11. Dispositions législatives et réglementaires nationales

En mai 1998, l'Algérie adhère, avec réserve, à la convention de Bâle qui vise à réduire le volume des déchets dangereux ainsi que le contrôle de leurs mouvements transfrontaliers.

Ceci a renforcé le dispositif législatif et réglementaire avec la promulgation de divers textes juridiques en la matière:

- Loi de base sur l'environnement et le développement durable
- Loi sur la gestion des déchets
- Loi sur les aires protégées dans le cadre du développement durable (DD)
- Loi sur la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du DD ainsi qu'un grand nombre de décrets exécutifs et d'arrêtés en matière environnementale.

11.1 La loi 83-03 du 19 juillet 1983

C'est la première loi algérienne sur la protection de l'environnement. Elle a été adoptée le 19 juillet 1983. Elle a consacré tout un chapitre à la gestion écologique des déchets

11.2 Loi n° 01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets de 12 décembre 2001 :

Cette loi a pour objet de fixer les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets, sur la base des principes suivants :

- a) La prévention et la réduction de la production, et de la nocivité des déchets à la source.
- b) L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- c) La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- d) Le traitement écologiquement rationnel des déchets.
- e) L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

11.3 La loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable :

Elle a été adoptée pour remplacer la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement dans laquelle le concept du DD n'était pas introduit.

11.3.1 Les objectifs : Cette nouvelle loi a pour objectif notamment :

- De fixer les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement ;
- De promouvoir un développement national durable en améliorant les conditions de vie et en œuvrant à garantir un cadre de vie sain ;
- De prévenir toute forme de pollution ou de nuisance causée à l'environnement en garantissant la sauvegarde de ses composantes ;
- De restaurer les milieux endommagés ;

De promouvoir l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles disponibles, ainsi que l'usage de technologies plus propres ;

- De renforcer l'information, la sensibilisation et la participation du public et des différents intervenants aux mesures de protection de l'environnement.

11.3.1.1 Les principes

Les principes généraux sur lesquels est fondée la loi sont :

- Le principe de préservation de la diversité biologique ;
- Le principe de non dégradation des ressources naturelles ;
- Le principe de substitution ;
- Le principe d'intégration ;
- Le principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement ;
- Le principe de précaution ;
- Le principe de pollueur payeur ;
- Le principe d'information et de participation.

On peut noter en plus de ces lois, un grand nombre de décrets explicatifs, relatifs à la gestion des déchets dont on peut citer :

- Décret exécutif n° 05-314 fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux de 10 septembre 2005;
- Décret exécutif n° 04-410 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations de 14 décembre 2004;

- Décret exécutif n°04-409 fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux de 14 décembre 2004;
 - Décret exécutif n° 03-478 définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins de 09 décembre 2003;
 - Décret exécutif n° 02-372 relatif aux déchets d'emballages de 11 novembre 2002;
 - Décret exécutif N°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets y compris les déchets spéciaux dangereux;
 - Décret présidentiel N°06-170 du 22 mai 2006 portant ratification de l'amendement à la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontière des déchets dangereux et de leur élimination, adopté à Genève le 22 septembre 1995.
- Arrêté interministériel du 2 septembre 2013 fixant les caractéristiques techniques des étiquettes des déchets spéciaux dangereux;
- Décret exécutif n°87-182 du 18 Août 1987 relatif aux huiles à base de polychlorobiphényles (PCB).
 - Décret exécutif N°06-138 du 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeur, particules liquides ou solides ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle;
 - Décret exécutif N°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents Liquides industriels.
 - La politique de la gestion des déchets s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets spéciaux et parmi ces principes la mise en œuvre du Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux ou PNAGDES.

Le PNAGDES est considéré comme un outil de gestion, de planification et d'aide à la décision, Il a été établi pour une période de dix (10) années.

Il comporte les éléments suivants:

- l'inventaire des quantités de déchets spéciaux, particulièrement ceux présentant un caractère dangereux, produites annuellement;
- le volume global des déchets en stock provisoire et en stock définitif, en les classifiant par catégorie de déchets;
- le choix des options de traitement pour les différentes catégories de déchets;
- l'emplacement des sites et des installations de traitement existants;
- les besoins en capacité de traitement des déchets, tenant compte des capacités installées des priorités retenues ainsi que des moyens économiques et financiers.

12. Granulats recyclés issus des déchets de la démolition et de la construction

12.1 Introduction :

Les granulats recyclés (GR) sont formés du granulat d'origine et du mortier attaché à celui-ci. Ceux-ci doivent donc être considérés comme un système composé de deux phases distinctes, le mortier et le granulat d'origine [Fathifazl et al., 2009]. La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé (GR) [Etxeberria et al., 2007]. Elle est également une des caractéristiques importantes permettant d'évaluer la qualité d'un granulat recyclé (GR). Une des conséquences de la présence du mortier résiduel est la formation d'une zone de transition entre le granulat original et le mortier résiduel en plus de la zone de transition se formant entre le granulat recyclé (GR) et la nouvelle pâte de ciment. La configuration du granulat recyclé (GR) est illustrée sur la Figure suivante.



Figure II.3 : schématisation d'un granulat recyclé [Tam et al. 2005]

12.2 Composition du granulat recyclé :

Un granulat de béton recyclé (GR) est un matériau composite constitué de deux phases distinctes, la première phase est constituée d'un granulat naturel (GN), et la deuxième est constituée d'une pâte cimentaire généralement adhérente au granulat naturel (GN), tel que cette pâte cimentaire peut enrober le granulat naturel (GN) totalement ou partiellement, alors le taux de chaque phase est en fonction de la composition du béton initial.

La différence entre un granulat naturel (GN) et un granulat recyclé (GR) se présente au niveau de la pâte cimentaire, le granulat naturel (GN) est monophasique tandis que le granulat recyclé (GR) est bi phasique, les propriétés physiques et mécaniques des (GBR) dépendent essentiellement des propriétés des deux phases (GN) et pâte cimentaire qui constitue le (GBR), la pâte cimentaire adhérente présente une porosité élevée, ce qui modifie les caractéristiques des GBR et les rend différentes de celles des (GN).



Figure II.4 : un granulat recyclé (granulat naturel entouré de mortier adhérent)

12.3 Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclent

12.3.1 Granulométrie :

La granulométrie des éléments fins a été étudiée par l'analyse des particules au laser. Les diamètres des particules sont ainsi obtenus par diffraction (théorie de Fraunhofer). Cette analyse est réalisée sur les éléments de fraction inférieure à 500 μm (réalisée en milieu liquide), puis à 100 μm (réalisée en milieu sec). L'analyse successive sur les fractions granulaires étudiées permet d'obtenir les proportions d'éléments fins présents dans les granulats.

Cet essai a été réalisé selon la norme [NF EN 933-1], sur les différents lots par tamisage par voie sèche sans lavage. Les granulats recyclés (GR) contenant du mortier tout autour du granulat parent ne sont pas lavés avant l'essai comme préconisé dans la norme. Comme les fines seront

conservées dans la formulation des bétons et des mortiers, le lavage engendrerait leur évacuation. De plus, la présence de fines et d'éléments réactifs interdit une hydratation préalable.

12.3.2 Masse volumique :

La masse volumique correspond au rapport entre la masse sèche d'un échantillon de granulat et le volume qu'il occupe dans l'eau. En règle générale, la masse volumique du granulat recyclé (GR) est moins grande que celle du granulat naturel (GN).

La littérature à ce sujet indique que la masse volumique des granulats recyclés (GR) se situe généralement entre 2,4 et 2,5 (2400 à 2500 kg/m³) alors que les granulats naturels (GN) ont généralement une masse volumique de l'ordre de 2,75 (2750 kg/m³). La masse volumique plus faible du granulat recyclé est causée par la présence du mortier résiduel qui a une masse volumique plus faible que celle du granulat original et diminue par conséquent la masse volumique totale du granulat recyclé [Chakradhara Rao *et al.*, 2011].

1.2.3.3 Absorption :

L'absorption d'eau correspond au rapport entre la masse d'eau absorbée par un échantillon de granulats après immersion dans l'eau et sa masse sèche.

Les études réalisées sur les granulats recyclés (GR) ont relevé des valeurs d'absorption d'eau beaucoup plus grandes pour les granulats recyclés (GR) que les granulats naturels.

Cette propriété est vraisemblablement la plus grande différence entre le granulat recyclé (GR) et le granulat naturel (GN). Les valeurs d'absorption des granulats recyclés (GR) se situent généralement entre 3 et 10% alors que pour un granulat naturel (GN) celles-ci sont souvent de 1%, mais peuvent augmenter jusqu'à une valeur de 5% [Tarn *et al.*, 2008].

La mesure de l'absorption d'un granulat recyclé (GR) est une méthode simple qui peut être utilisée pour évaluer la qualité de celui-ci. Comme l'absorption du granulat est due en grande partie au mortier résiduel, une valeur d'absorption élevée indique la présence d'une grande teneur en mortier résiduel [Tam *et al.*, 2005] et par le fait même, un impact plus important sur les propriétés du béton préparé avec ce granulat. Cette propriété est particulièrement importante puisqu'elle affecte la quantité d'eau à ajouter au mélange pour une maniabilité donnée. Comme l'absorption du granulat recyclé (GR) est beaucoup plus grande que celle du granulat naturel (GN), la quantité d'eau que celui-ci contient à l'état saturé est largement supérieure. Une rectification de la quantité d'eau ajoutée au mélange est donc nécessaire pour maintenir le même rapport E/L.

Une autre problématique peut se présenter lors de l'utilisation du granulat recyclé (GR) asséché. Comme une plus grande absorption se fait dans les 30 premières minutes pour un granulat recyclé (GR) [Malesev *et al.*, 2010], l'utilisation de ce granulat à l'état sec peut affecter négativement les propriétés rhéologiques du béton frais. Étant donné que les granulats secs absorbent une partie de l'eau présente dans le béton frais, il peut être nécessaire d'ajouter jusqu'à 10 % de l'eau totale pour obtenir le même affaissement. Ceci peut affecter négativement les propriétés mécaniques ainsi que la durabilité du béton [Malesev *et al.*, 2010]. La Figure présente l'absorption d'un granulat recyclé (GR) durant les 30 premières minutes).

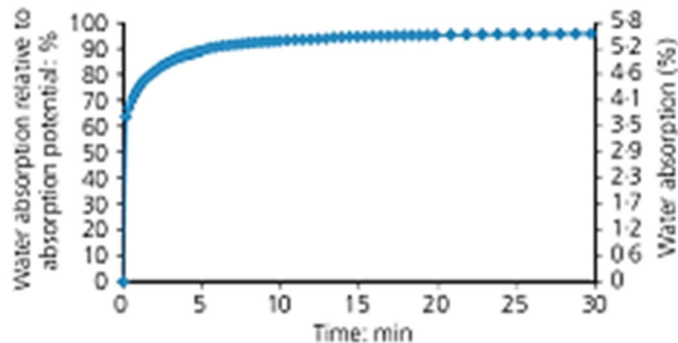


Figure II.5 : absorption des granulats recyclés en fonction de temps

12.3.4 Résistance à l'usure :

La résistance à l'usure est l'aptitude d'un matériau à résister aux chocs et aux frottements, elle conditionne très souvent la durée de vie du matériau.

12.3.4.1 Essai los Angeles :

L'essai Los Angeles est le plus souvent retenu pour déterminer la résistance aux chocs et à l'abrasion des divers granulats recyclés (GR).

Les recommandations de la norme européenne [NF EN 206/CN, 2014] pour désigner la catégorie de résistance à la fragmentation des granulats recyclés (GR) pour une utilisation dans le béton sont basées sur le coefficient Los Angeles (2, 2010] des granulats naturels (GN). En général, la valeur du coefficient Los Angeles mesurée sur les matériaux de construction recyclés (CR) est comprise entre 20 et 40. Elle est donc légèrement supérieure aux valeurs typiques des granulats naturels (GN). C'est la teneur en mortier des (GR) qui explique cette différence [Zega

et al., 2010]. Il a été également remarqué que les deux types de granulats naturel (GN) et de (GR), présentent une augmentation presque identique de leur (



Figure II.6 : machine Los Angeles

Conclusion

Les granulats recyclés (GR) présentent une plus grande absorption d'eau et une plus faible masse volumique par rapport aux granulats naturel (GN) ce qui modifie sensiblement les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclés (GR).

CHAPITRE III:
CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX
UTILISES

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre mortier et d'écrit les différents modes opératoires des essais destructives (compression, flexion) et non

Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable de la région de Boussaâda (OUED MAITAR)
- ✓ Le sable recycle
- ✓ Le ciment CPJ – CEM II/B 42,5 N
- ✓ L'eau potable du Laboratoire de département de génie civil d'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila.
- ✓ Les adjuvants : SIKAPLASTBV40+ de Granitex. (Super-plastifiant).
- ✓ Poudre de fume de slice (0/0.08).

III.2 Sable :

Dans cette étude, on a utilisé deux types de sable, un sable fin naturel (figure III.1) provenant de carrière l'OUED MAITER située au SUD-EST Algérien et un sable recyclée des éprouvettes du béton de démolition concassée (figure III.2).



Figure III.1 : Sable naturel



Figure III.2 : Sable recyclée

III.2.1 Origine du sable naturel :

Le sable de base de notre recherche provient des abords de l'OUED MAITER. Cet oued est situé entre les collines de BOUSAADA, dont le vent provient du sud est chargé de grains fins.

III.2.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR

III.2.2.1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

a. But de l'essai :

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

b. Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**. On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable -eau. Soit (V_2) ce volume Sachant que le volume (V)d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V}$$

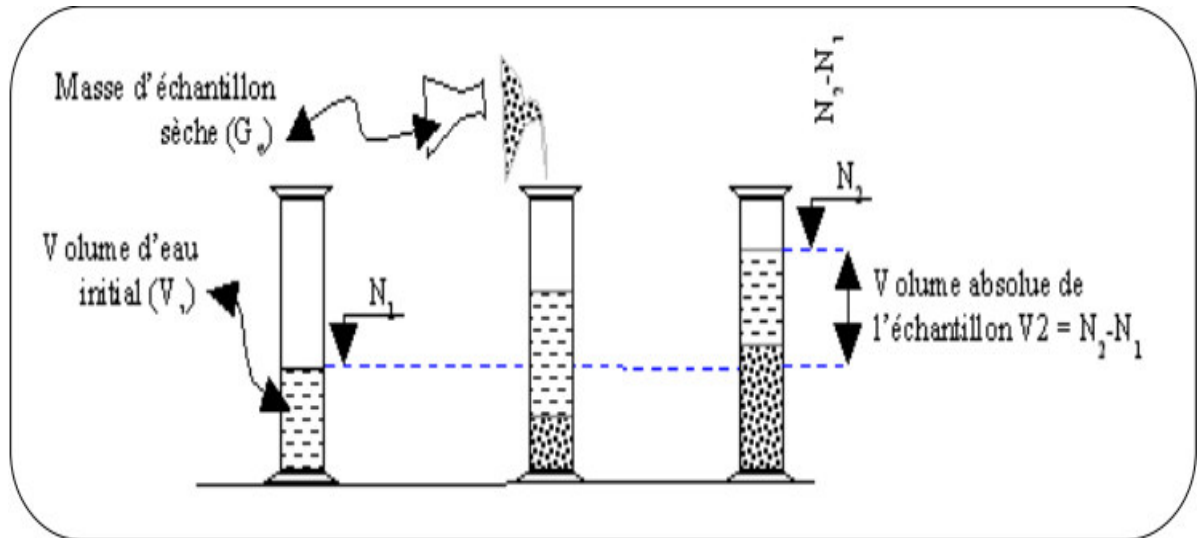


Figure III.3 La masse volumique absolue d'un matériau

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.1 Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

N° d'essai	M (g)	V (cm ³)	V ₂ (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} moy (g/cm ³)
1	140	140	56	2.50	2.54
2	140	140	55	2.54	
3	140	140	54	2.59	

- ✓ M : masse du sable
- ✓ V₂ : volume d'eau + sable.
- ✓ V : volume d'eau.

III.2.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554

But de l'essai :

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau, c'est - à - dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

III.2.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existants entre les grains.

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900\text{cm}^3$.

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

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



Figure III.4 Essai de détermination de la masse volumique apparente

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau.III.2 Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app moy} (g/cm ³)
01	117	1449.4	1.48	1.37
02	117	1449.9	1.48	
03	117	1445.6	1.15	

III.2.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les Vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Mode opératoire :

- ✓ Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles.
- ✓ On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M₂ le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau.III.3 Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app moy} (g/cm ³)
01	117	1371	1.39	1.39
02	117	1375	1.39	
03	117	1382	1.40	

III.2.2.3 Porosité : NF P 18-554

C'est le volume des vides entre les grains du sable, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

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

On distingue deux cas pour le sable Boussaâda :

- Etat lâche : $P_L = 46.06 \%$
- Etat compact : $P_C = 45.27\%$

III.2.2.4 Compacité :

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_{\text{app}} / \rho_{\text{abs}}) = 100 - P$$

On distingue deux cas pour le sable Boussaâda :

- Etat lâche : $C_L = 50.74 \%$
- Etat compact : $C_c = 54.72\%$

III.2.2.5 Equivalent de sable : NF P 18-59

a- Le but d'essai :

Ce test vise à isoler les fines particules présentes dans le sol des éléments sableux Rugueux. La procédure standard permet de spécifier un coefficient équivalent de Sable Qui en détermine la propreté.

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.

- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans L'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube, l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

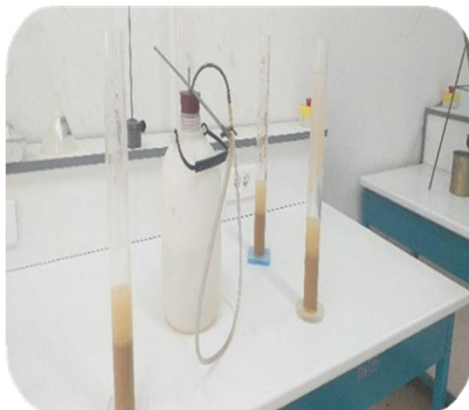


Figure III.5: Echantillons de sable dans un tube



Figure III.6: Echantillons de Sable



Figure III.7: Agitateur mécanique



Figure III.8: Reposde20 min pour les éprouvette

❖ **Equivalent de sable visuel (ESV) :**

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$\times 100 \text{ESV} = \frac{H_2}{H_1}$$

❖ **Equivalent de sable visuel (ESP) :**

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglelet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$\times 100 \text{ESP} = \frac{H'_2}{H_1}$$

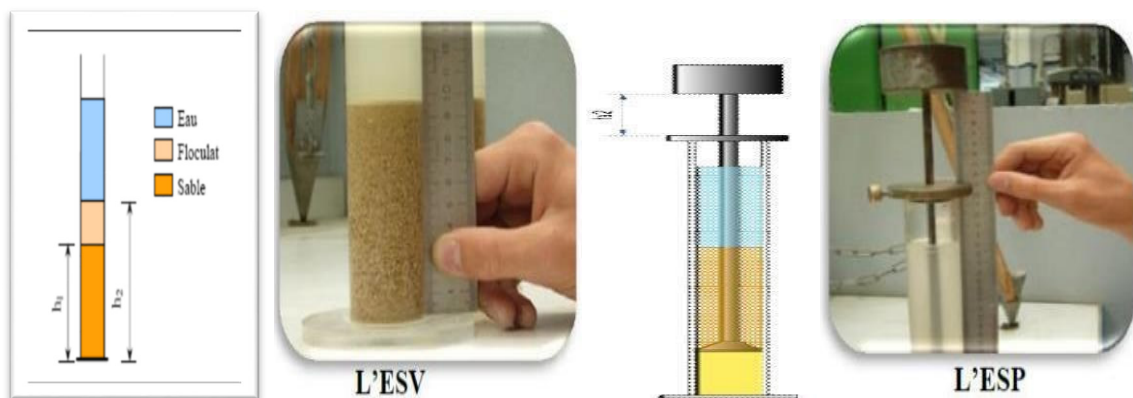


Figure III.9: Mesurée de L'équivalent de sable.

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau.III.4 Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda

L'éprouvette	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	ESV%	ESV _{moy} %	H' ₂ (cm)	ESP%	ESP _{moy} %
01	10.8	9.9	91.67		8.9	82.41	
02	11.3	9.4	83.19	86.37	9	79.65	81.18
03	10.8	9.1	84.26		8.8	81.48	

ESV_{moy} = 86.37%

ESP_{moy} = 81.18%

Donc :

ESV > 85

ESP > 80



Sable très propre : l'absence totale de fine argileux risque
D'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il
Faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

Tableau.III.5 Comparaisons des résultats

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

III.2.2.6 Teneur en eau : NF P 18-555

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

La teneur en eau donnée par la formule :

$$W = ((M_h - M_s) / M_s) * 100 (\%)$$

Où :

- ✓ M_h : Masse des granulats humides.
- ✓ M_s : Masse des granulats sec.

Les résultats obtenus en (Tableau .III.6)

Tableau.III.6 Teneur en eau du sable de Boussaâda

Essais	M_h (g)	M_s (g)	W(%)	W_{moy} (%)
1	300	297.2	0.942	0.593
2	300	299	0.334	
3	300	298.5	0.502	

III.2.2.7 Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560

L'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

L'analyse granulométrique permet de déterminer les dimensions des grains et les proportions de grains de même dimension (% pondéral).

Elle comprend deux opérations :

- Tamisage
- Sédimentation

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

Mode opératoire :

- ◆ Prélever (1 kg) de matériau (sable sec).
- ◆ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- ◆ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08 mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- ◆ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin différents tamis. ◆ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- ◆ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- ◆ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis)
- ◆ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T = 100 - R_C$



Figure III.10: colonne des tamis



Figure III.11: Appareil de l'analyse granulométrique

Où :

T : Tamisât en %

R_c : Refus cumulés en %

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.7 Les résultats d’analyse granulométrique du sable de Boussaâda

M =1000g						
Tamis (mm)	Tares (g)	Tamis Plain (g)	Refus Partiel (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulés (%)	Tamisât Cumulés (%)
5	628	629	1	1	0.1	99.9
2.5	596	733	137	138	13.8	86.2
1.25	505	619	114	252	25.2	74.8
0.63	500	571	71	323	32.3	67.7
0.315	461	790	299	622	62.2	37.8
0.16	285	601	316	938	93.8	6.2
0.08	437	467	30	968	96.8	3.2
Fond	451	454	3	971	97.1	2.9

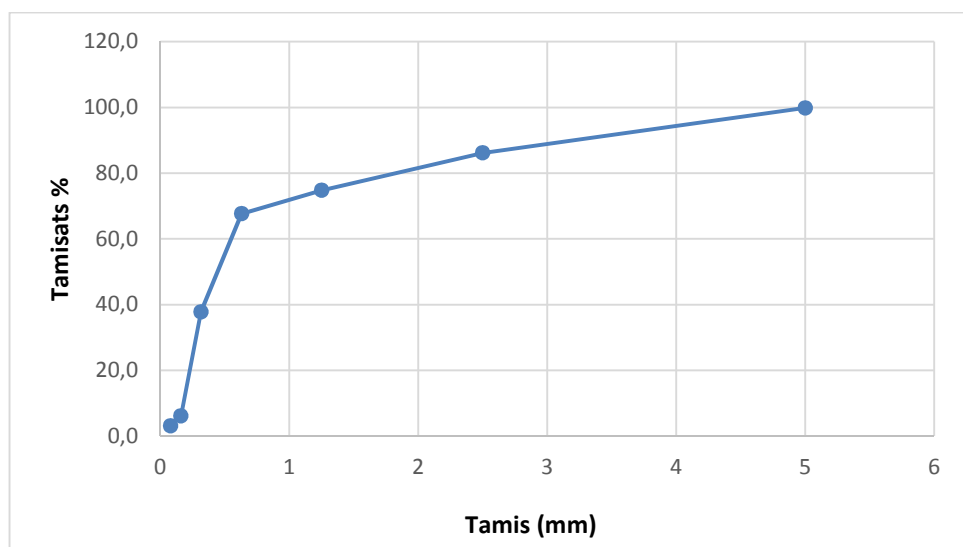


Figure III.12 La courbe granulométrique du sable de Boussaâda

III.2.2.8 Module de finesse :

Le module de finesse (M_f) est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100

Il est donné par la relation suivante :

$$Mf = \sum \frac{Rc}{100}$$

Où :

R_C : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit : [46]

- Sable gros : $M_f > 2.5$
- Sable moyen : $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin : $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin : $1 < M_f < 1.5$

Pour le sable de Boussaâda: $M_f = 1.6$

Donc, c'est un sable fin.

III.2.3 Caractéristiques chimique du sable :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars 2005, à la cimenterie de Lafarge (M'sila). Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.8 Analyse chimique du sable de Boussaâda

Constituants		Teneur en (%)
Elément	Symbole	
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	Al ₂ O ₃	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53
Sulfate	SO ₃	0.44
Pente au fer	P.A.F	2.81

III.3 Granulats du Béton de démolition

Pour les granulats recyclés, on a choisi des déchets du béton de démolition, certaines et dont on dispose des renseignements sur la composition de leurs bétons, la qualité des granulats et leurs caractéristiques.

Les granulats recyclés utilisés dans les études sont donc des granulats concassés de classes : sable 0/5, (mode du concassage traditionnel avec marteau et avec l'appareille de fragmentation dynamique FD) comme illustre dans la figure III.13 La préparation et l'obtention des classes granulaires se fait par concassage, criblage et tamisage.



Figure III.13.: Étapes de préparation des granulats du béton de démolition..

Les caractéristiques physiques des deux types de sable sont résumées dans le tableau suivant et l'analyse granulométrique des sables utilisés est présentée sur la **Figure III.14**

Tableau III. 9: Analyse granulométrique du sable recyclé

Caractéristique	Sable de béton recyclé
La classe granulaire (mm)	0/3
Le module de finesse (g/cm^2)	1.7
La masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63
La masse volumique apparente (g/cm^3)	2.37
Equivalent de sable à piston (%)	84.3
Equivalent de sable à vue (%)	87.08

M =1000g						
Tamis	Tares	Tamis	Refus	Refus	Refus	Tamisat
Diamètre	(g)	Plain	Partiel (g)	Cumulés	Cumulés	
Ouverture		(g)		(g)	(%)	
5	629	640	1.1	1.1	1.1	98.9
2.5	596	1215	619	630	63	37
1.25	505	667	162	792	79.2	20.8
0.63	500	581	81	873	87.3	12.7
0.315	461	505	44	917	91.7	8.3
0.16	285	337	52	969	96.9	3.1
0.08	437	463	26	995	99.5	0.5
Fond	451	454	3	998	99.8	0.2

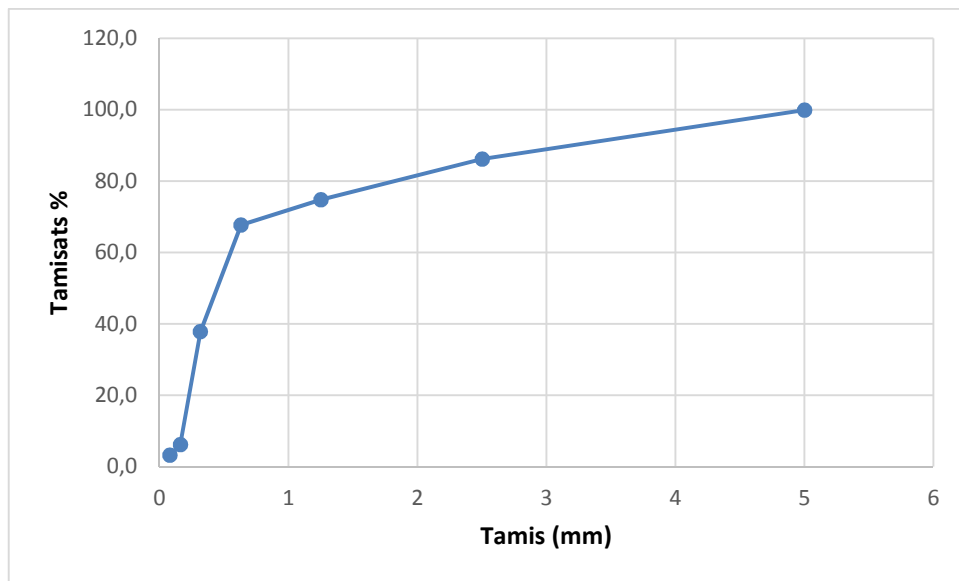


Figure III.14 : La courbe granulométrique du sable recyclé

III.3.1 Ciment

Un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise. (Fiche tech ciment Gica).

III.3.1.1 Caractéristiques physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques physiques du ciment utilisé sont classées dans le tableau suivant :

Tableau.III.9 Caractéristiques physiques du ciment

Les Constituants de Ciment en % *			
Clinker		80-88	
Pouzzolane + Calcaire		12-20	
Régulateur de prise(Gypse)		00-05	
Essai physico-Mécanique	Min	Max	Norme
Ss Blaine cm/g	2960	4200	-
Consistance %	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	≥60 mn
Compression 02j	12.5	23	>10.0
Compression 07j	25	36	-
Compression 28j	43	52	≥42.5
Expansion a	0	8.5	>10mn

III.3.1.2 Caractéristiques chimiques du ciment utilisé :

L'analyse chimique du ciment utilisé est établie au laboratoire de l'ACC. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau.III.10 Caractéristiques chimiques du CPJ -CEM II/B 42.5

Analyse chimique	Min	Max
SiO2	22.80	32.00
AL2O3	5.20	6.20
Fe2O3	3.20	3.60
CaO	52.00	62.00
MgO	1.02	1.20
K2O	0.35	0.45
Na2O	0.40	0.50
SO3	1.80	2.20
PF	2.00	2.80
CL	0.03	0.45
Ri	6.00	12.00
Caol	0.40	1.54

III.4 L'eau de gâchage:

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

III.4.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

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

Tableau.III.11 Caractéristiques Chimique de l'eau de gâchage

Les caractéristiques	La valeur
PH	7.71
Conductibilité	1745
Chlore Cl ⁻	236.30 mg/l
Sulfate SO ₄ ⁻	349.60 mg/l
Magnésium Mg ²⁺	115.30 mg/l
Sodium Na ²⁺	néant
Calcium Ca ²⁺	269.50 mg/l

III.5 L'adjuvant :

Dans notre travail, l'adjuvant qui nous avons utilisé s'appeler : Le super plastifiant **(MEDAFLOW 30)**.



Figure III.15 : Super plastifiant utilisé dans notre étude.

Description

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

Domaines D'application

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

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet : Sur béton frais :

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

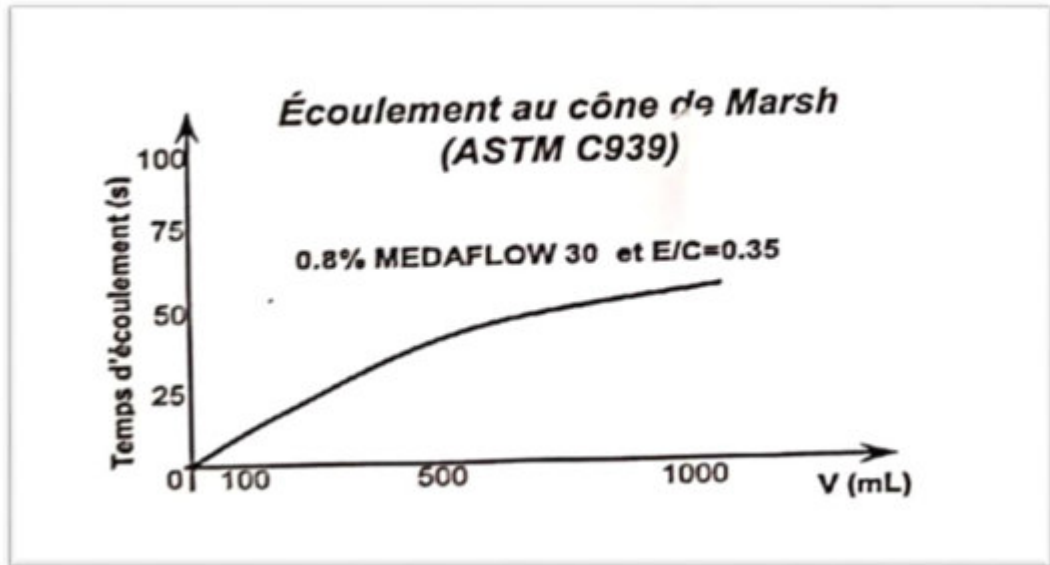


Figure : III.16 Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30

Sur béton durci :

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

Caractéristique

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore.	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6 – 6,5	1,07 ± 0,01	< 1g/l	30%

III.6 La Fumée de silice (FS)

Les substances minérales sont composées essentiellement de silice de couleur grise claire comme le ciment, que possède une propriété pouzzolanique, grâce à la structure fine de la fumée de silice (10 à 20 fois que le ciment) (Figure IV.6). Ce produit est commercialisé par l'entreprise GRANITEX (Alger-Algérie).



Figure III.17 : Poudre de la fumée de silice.

Tableau III.12 : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.

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

III.7 Elaboration des différents mortiers :

III.7. 1. Formulation Des Mortiers

Après avoir définis les proportions du mortier, nous avons déterminé les compositions des (100% SD, 15% SR - 85 SD, 30% SR- 70% SD, 40% SR-60% SD, 50% SR – 50% SD, 75% SR- 25% SD, 100% SR) Ces derniers sont obtenus en maintenant toutes les proportions identiques au mortier de référence (en eau et en ciment en Adjuvant), la seule modification est la proportion en Sable (SD) et en Sable (SR) .

Éprouvette prismatiques 4cm ×4cm ×16cm (Figure III.???)

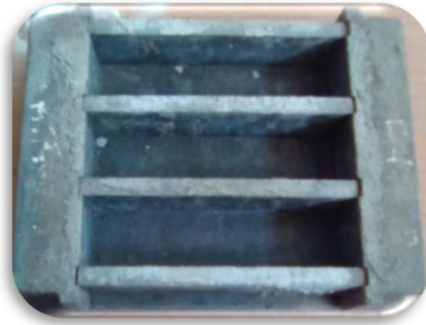


Figure III.18. Moule de confection des éprouvettes 4×4×16 cm.

III.7.2 Composition des mortiers :

La réalisation de nos formulations nous conduit en premier lieu à connaître les proportions des constituants de chaque formulation.

- Pour le mortier de référence (témoin), on l'a formulé à l'aide de la composition suivante une gâchée pour trois éprouvettes doit être constituée de (380 ±2) g de ciment, (1140 ±2) g de sable, (190 ±) g d'eau et 5.7 g d'adjuvant (superplastifiant).
- Pour les autres mortiers, on a remplacé le sable de dune par les différents pourcentages de sable concassée.

La Compositions des mortiers normalisées pour 27 éprouvettes confectionnés est représenté dans les tableaux suivants :

Tableau III.13: Formulation d'un mortier normalisé

	Sable cyclé (g)	Sable (g)	Ciment (g)	Eau (ml)	FS (g)	Adj (g)
100 SD	0	1350	500	243	40	7.5
15% SR +85% SD	202.5	1147.5	500	260	40	7.5
30% SR +70% SD	405	945	500	253	40	7.5
40% SR +60% SD	540	810	500	261	40	7.5
50% SR + 50% SD	675	675	500	261	40	7.5
75% SR +25%SD	1012.5	337.5	500	256	40	7.5
100% SR	1350	0	500	256	40	7.5

Les tableaux suivants montrent les quantités correspondant aux constituants entrant dans la confection du mortier normalisé de toutes les variantes pour un moule de $(40 \times 40 \times 160) \times 3$

III.7.3 Procédure de gâchage :

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur d'une capacité maximale de 5 L (voir figure III.10). La même procédure de gâchage a été utilisée pour tous les mortiers :

- ✓ Mettre le ciment puis l'eau dans le bol du malaxeur.
- ✓ Malaxer le ciment et l'eau 30 secondes vitesses min (140 Cycle en minutes).
- ✓ Ajouter sable 30 seconde vitesse min.
- ✓ Malaxer le ciment et le sable et l'eau 30 secondes vitesses rapides.
- ✓ Laisser reposer 1 minute 30 secondes.
- ✓ Malaxer pendant 1 minute vitesse rapide (280 Cycle en minutes).

Dans le cas d'utilisation des adjuvants, ce dernier est dilué dans l'eau de gâchage



**Fig.III.19 Malaxeur du mortier
(Laboratoire de génie civil M'sila)**

III.7.4 Confection des éprouvettes de mortier :

Pour le mortier, des éprouvettes de $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$, ont été réalisées pour les essais de compression, les essais de flexion et les essais de traction par flexion. Les éprouvettes ont été coulées dans des moules métalliques préalablement huilés. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 30 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 30 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. la surface des éprouvettes est ensuite lissée. Les moules remplis avec le mortier frais sont ensuite recouverts par un film plastique jusqu'au démoulage. Le démoulage est effectué après 24 heures



Figure III.20 : Les moules métalliques



Figure III.21 : La table à choc.

III.7.5 Procédures expérimentales

III.7.5.1 Mode de cure :

Après le démoulage d'échantillons ont laissé pendant 24 heures pour sécher relativement, après sa nous mettons échantillons (4 x 4 x 16) cm, dans l'eau de la nappe phréatique, pendant 7 et 28 Toutes les éprouvettes utilisées dans cette compagne expérimentale ont suivi la même cure et le même conditionnement conformément à la norme NF P 18-404. Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans leur moule à température ambiante (2 ± 20)°C. A l'issue de ce temps de conservation initiale, elles ont été démoulées, puis plongées dans l'eau à 20 °C pendant 28 jours. Ce mode de conservation permet d'assurer l'hydratation du mortier et d'éviter toute fissuration due à la dessiccation. Il permet également de maintenir

les mortiers saturés et de se rapprocher ainsi des conditions réelles qu'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains



Figure III.22: Conservation dans l'eau à 20°C

III.7.6 Description des essais :

III.7.6.1 Essais sur le mortier frais :

III.7.6.1.1 L'affaissement : Affaissement au cône d'Abram

Cette essai le plus couramment utilisé car il est très simple, il est réalisé sur le mortier à l'état frais pour déterminer sa consistance et sa fluidité.



Figure.III.23 Cône d'Abrams du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila)

III.7.7 Mesure de la densité réelle du mortier frais :

La densité réelle du béton frais est mesurée par la pesée d'un récipient de 8 litres (le récipient de l'aéromètre à béton) rempli de béton selon un moule de remplissage analogue à celui utilisé pour le remplissage des éprouvettes cylindriques. La densité est calculée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M - M_0}{V}$$

Avec:

M est la masse du récipient plein de mortier (arasé à l'aide d'une règle)

M₀ est la masse du récipient vide

ρ est la densité du béton frais et **V** le volume du récipient (**375 cm**)

III.8. Essais sur mortier durci

III.8.1.1 Essai de compression :

L'essai de compression uni axiale est réalisé suivant la norme EN 12390-3 « Essai pour mortier durci – Résistance à la compression des éprouvettes ». Les extrémités des éprouvettes sont rectifiées par surfaçage avec une rectifieuse. L'éprouvette est placée et centrée sur une presse hydraulique de marque UTEST de 2000 kN puis soumise à un taux de chargement de 0,5 kN.s⁻¹ jusqu'à la rupture (Photo II.14). La charge maximale qui provoque la rupture de l'éprouvette permet de calculer la résistance en compression comme suit :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Où :

R_c : Résistance à la compression en MPa.

F_c : Charge de rupture en N.

b: Côté de l'éprouvette en mm



Figure III.24. : Presse Hydraulique (Machine De Compression)

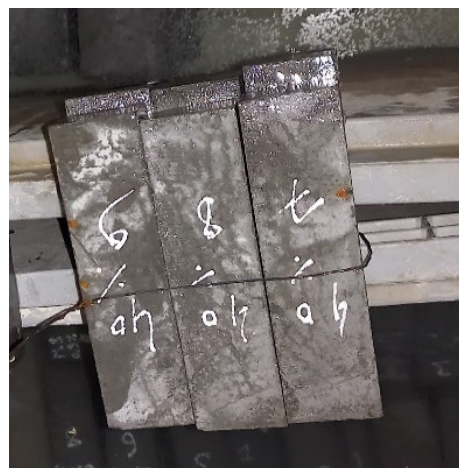


Figure III.25 : les éprouvettes avant et après

III.9 Résistance à la traction par flexion :

Les essais de résistance à la flexion et traction par flexion (R_f) ont été effectués sur des Éprouvettes prismatique $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Il y a plusieurs méthodes pour calculer la résistance à la traction, mais vu que l'utilisation de l'essai de traction direct est difficile, alors on a choisi l'essai de traction par flexion. L'essai de traction par flexion est le plus couramment utilisé, il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$. La résistance à la flexion est donnée par la formule :

$$R_f = \frac{1.5 F_f l}{b^3}$$

R_f : Résistance à la flexion en MPa

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N.

L : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm

b : Côté de l'éprouvette en mm



Figure III.26 : Presse hydraulique pour l'essai de traction par flexion

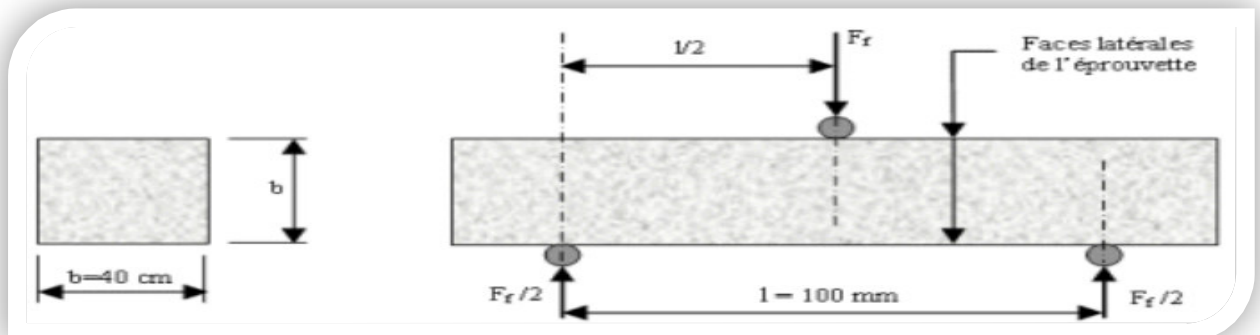


Fig.III.27 Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)

III.9.1 Essai ultrasonique :

Le matériel utilisé est l'appareil à ultrasons « Proceq Pundit Lab » (figure III.23). Cet essai est réalisé suivant la norme EN 12504-4 (EN 12504-4, 2004), le principe de l'essai est qu'une impulsion de vibrations longitudinales est produite par un transducteur électroacoustique maintenu en contact avec une surface du mortier sous test. Après avoir parcouru une longueur de chemin connue dans le mortier, l'impulsion de vibrations est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits de synchronisation électroniques permettent de mesurer le temps de transit de l'impulsion. Dans cette étude, nous avons testé des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm séchées jusqu'à masse constante dans l'étuve à 105°C, trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de mortier. Ces mesures sont faites aux échéances 7, 14 et 28 jours. Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran. Ou procède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante :

$$V = L / T \text{ (m/s)}$$

L : longueur de l'éprouvette

T : temps nécessaire à une impulsion ultrasonore pour se déplacer du transducteur Émetteur au transducteur récepteur



Figure III.28 : l'appareil à ultrasons « Proceq Pundit Lab »

III.9.2 Absorption :

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par immersion dans l'eau par rapport sa masse sèche. Le coefficient d'absorption (A_b) par la relation suivante : $A_b \% = (M_2 - M_1 / M_1) \times 100$ – Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau (M_2) - Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche (M_1).



Figure.III.29 : Absorption

Conclusion

La présentation des caractéristiques des matériaux utilisés, la composition des mélanges et les procédures expérimentales vont nous permettre de mieux analyser les résultats et d'avoir une meilleure compréhension de l'influence des différents paramètres étudiés sur le comportement physico-mécanique et rhéologique des mortiers confectionnés à base de sable carrière.

CHAPITRE IV:
RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats et l'analyse des essais physiques et mécaniques (maniabilité, la porosité, la masse volumique, ultrason, la résistance à la compression, et la résistance à la traction par flexion) effectués sur les éprouvettes de mortier.

2. Comportement du mortier à l'état frais :

Premièrement on présente les résultats à l'état frais, obtenu juste après le gâchage pour caractériser ce type de mortier. Qui permet d'étude les propriétés du mortier à l'état frais pour voir l'effet des additions et l'adjuvant sur les deux paramètres essentiels qui sont (le rapport E/C et la masse volumique).

3. Méthodologie adaptée pour les manipulations

Tableau IV.1 : Mélanges de mortier (adjuvants et additions minérales).

Formulation	Sable cyclé (g)	Sable (g)	Ciment (g)	Eau (ml)	FS (g)	Adj (g)	E/C
M 0%	0	1350	500	243	40	7.5	0.48
M 15%	202.5	1147.5	500	260	40	7.5	0.52
M 30%	405	945	500	253	40	7.5	0.50
M 40%	540	810	500	261	40	7.5	0.52
M 50%	675	675	500	261	40	7.5	0.52
M 75%	1012.5	337.5	500	256	40	7.5	0.51
M 100%	1350	0	500	256	40	7.5	0.51

Rapport E/L :

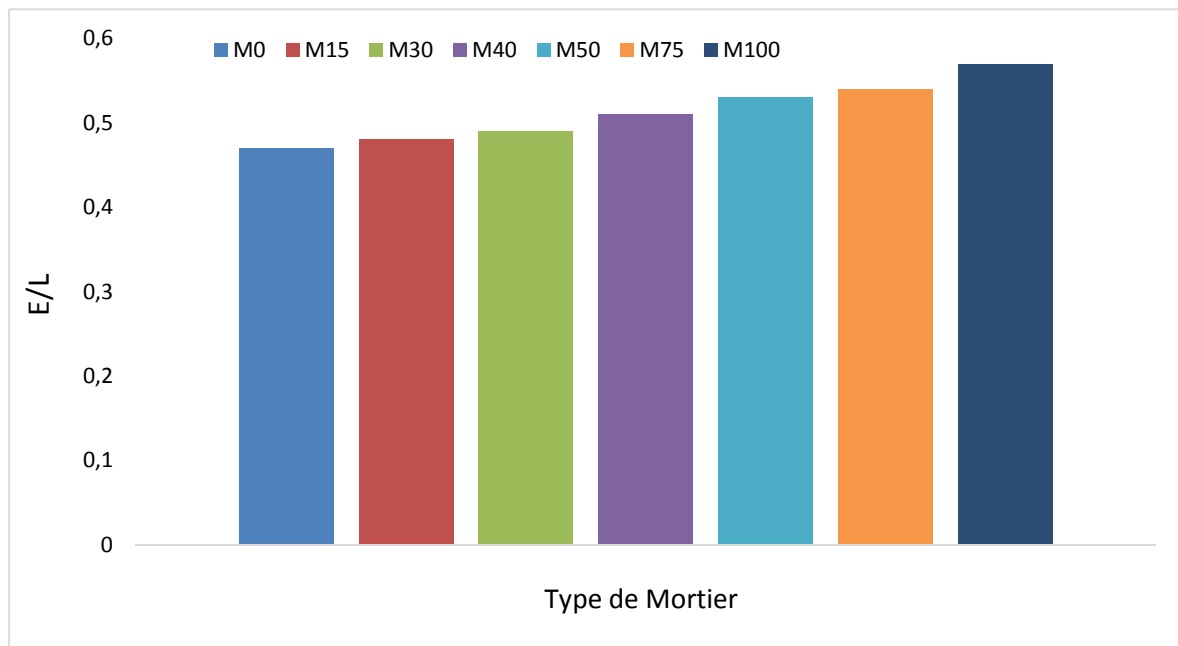
La quantité d'eau de gâchage conditionne, en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité.

Pour les différents sables, des quantités d'eau successives seront ajoutées aux mélanges jusqu'à obtention d'une maniabilité constante. Pour ce faire nous avons utilisé un cône. Pour les différents dosages en sable recyclé (voir Tableau IV.1)

D'après le figure IV.1 on remarque que le rapport E/L des différents mélanges varie dans le même sens que le taux de substitution en sables recyclés. Cela se traduit par la présence des fines en grande quantité dans le sable de démolition de béton concassé.

La figure IV.1 montre que le rapport E/L augmente avec l'accroissement du taux de SR dans les mortiers. Ces variations sont dues aux différences de granulométrie entre le sable recyclé fin et le sable naturel grossier

On remarque aussi que l'ouvrabilité des mortiers augmente avec l'utilisation d'adjuvant fluidifiant (super-plastifiants pour un dosage 1.6%).



Figure(IV.1) : Maniabilité de mortier

4. Masses volumiques apparentes à l'état frais

Les résultats de la masse volumique à l'état frais présentés dans la figure IV.2 correspondent à une moyenne des valeurs obtenues pour trois essais.

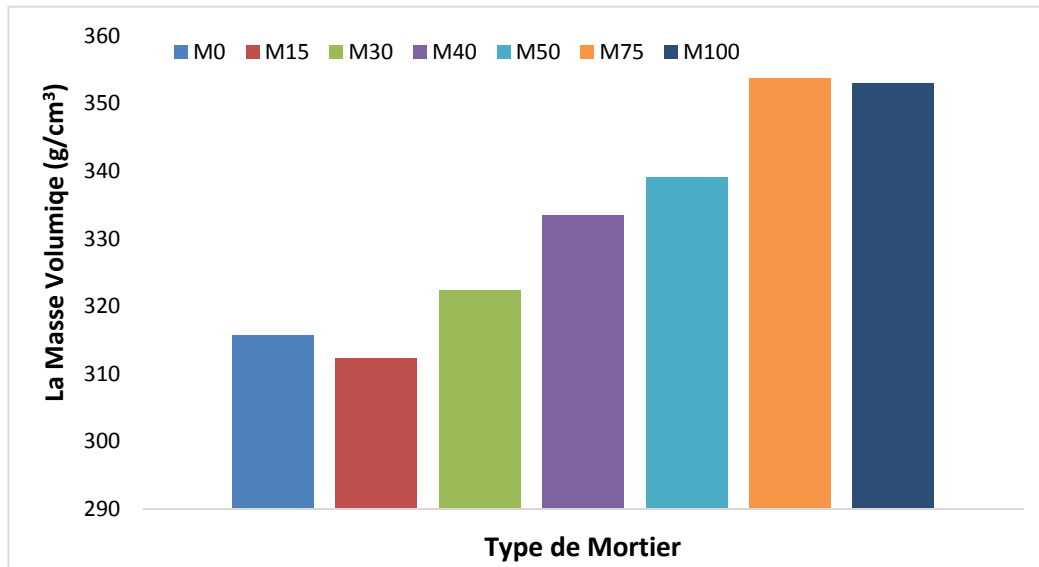


Figure (IV.2) : Masses volumiques à l'état frais des différents mortiers

D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la densité avec l'augmentation de pourcentage de sable recyclés pour réduire le volume des pores (la densité absolue de sable de dune 2,55% est plus élevée que la densité de sable recyclés 2,40%). On remarque aussi, les masses volumiques des mortiers adjuvantés est constatée : 1.6% augmenté avec l'augmentation du taux de remplacement du SN par le SR, jusqu'à 25% pour le mortier recyclé 100%. Cela est dû à l'augmentation de la teneur en eau avec l'augmentation de la teneur en sable recyclé. Une légère augmentation des masses volumiques des mortiers recyclés d'augmentation pour le mortier à 50% de sable recyclé. Comme précédemment, une légère diminution était attendue en raison de l'augmentation légère de la teneur en eau. Cela est probablement dû à l'effet du super plastifiant qui améliore la compacité pour le mortier M75.

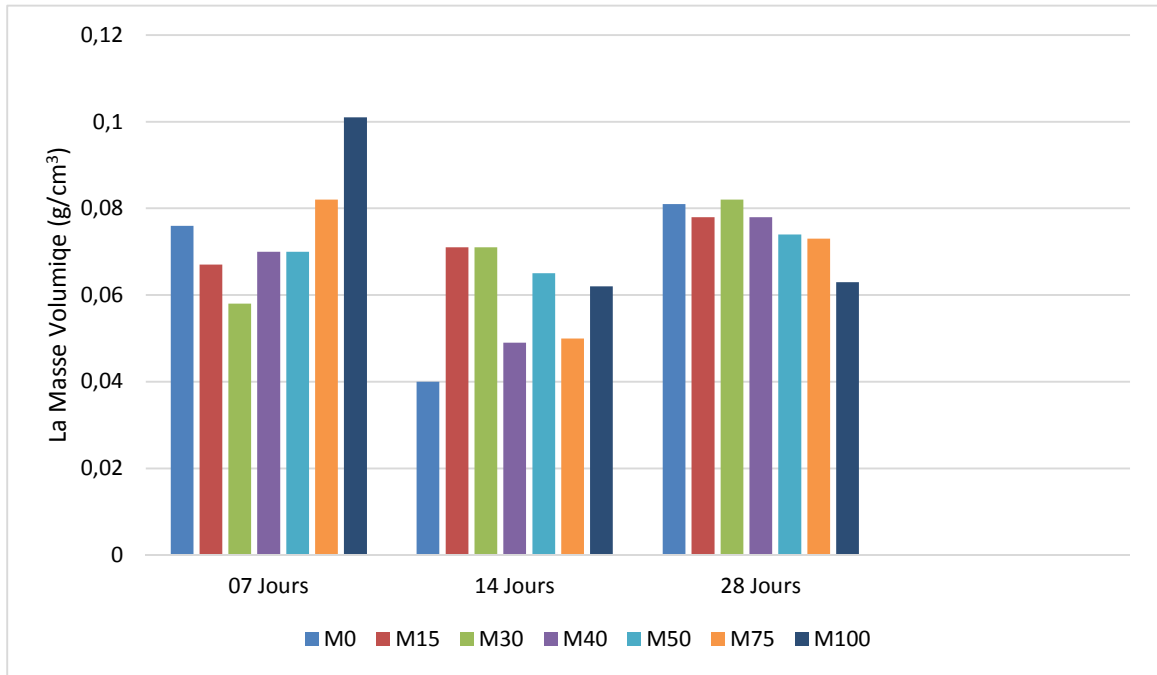
La masse volumique des mortiers témoins étant inférieure à celle mortiers recyclés.

5. Comportement du mortier à l'état durci

5.1 La masse volumique à l'état durci

La figure IV.3, présentent la variation de la densité des différents types de mortier à l'âge (7, 14 et 28 jours).

On peut noter l'évolution de la densité des différents mortiers recyclés conservés dans l'eau. Un mélange plus dense du mortier avec les sables recyclés ont été enregistrées.



Figure(IV.3) : La Masse Volumique l'état durcie

D'après la figure (V.3), on remarque que la densité des mortiers augmente proportionnellement avec l'âge. Cette densité est augmentée avec des taux (11%,23 %) par rapport au mortier témoin 100%SD aux âges de 7 et 14 jours successivement. Par contre cette densité reste légèrement supérieure avec des taux (22 %,27 %) par rapport au mortier témoin aux âges de 28 jours successivement.

Deux échantillons de mortier (M30) et (M75), donnent les meilleurs résultats dans l'âge à 28 jours. Ces résultats confirment les travaux de recherche obtenue par Z. Rahmouni et al (2018) et M. Belouadah (2019).

5.2 Evolution de la Vitesse de Son(V) :

La mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrason est une des diverses méthodes d'essai non destructif utilisées pour obtenir le maximum d'informations sur la qualité des mortiers

La figure (IV.4) présente la vitesse de son pour l'ensemble des mortiers recyclés testés.

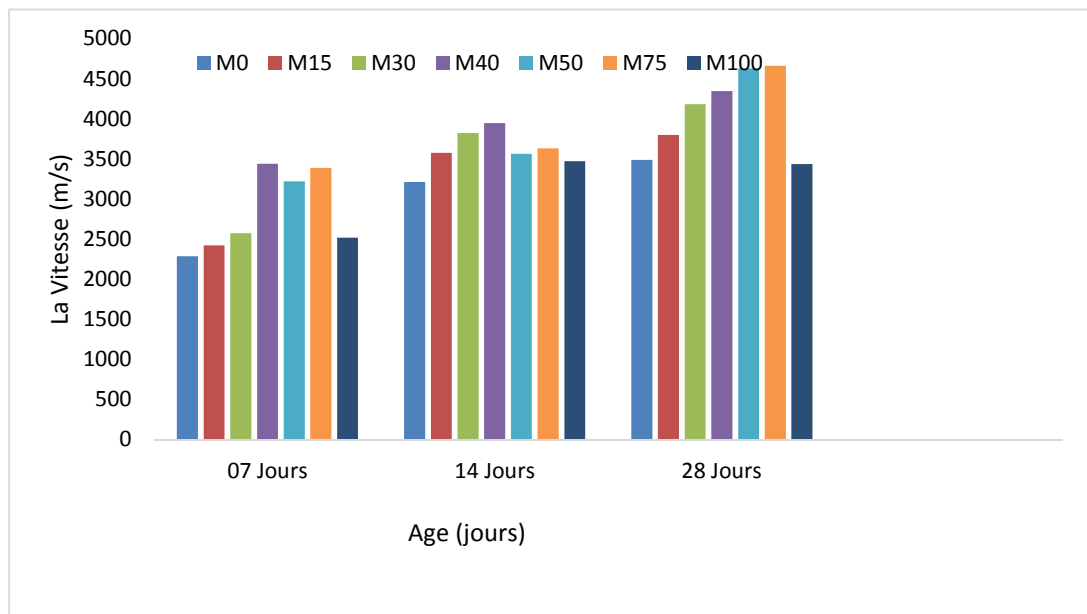


Figure (IV.4) : la vitesse ultrasonique

La figure IV.4 représente l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrason des différents mortiers étudié dans le temps. On remarque que tous les mortiers ont une cinétique analogique en ce qui concerne l'évolution de la vitesse l'ultrason dans le temps, mais avec des valeurs différentes, ces valeurs dépendent essentiellement de la composition du mortier et son pourcentage de substitution de sable de dune ; la vitesse d'ultrason nous donne des informations sur la compacité et l'homogénéité du mortier et par conséquent une bonne indication sur le comportement mécanique de ces mortiers.

Les valeurs montrent une augmentation de vitesse de propagation des ondes ultrason dans le temps, et ce pour tous les mélanges.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec M75 et M50 à 28 jours de conservation, et en constate qui diminution de la vitesse ultrasonique pour le mortier M100 de 5% de 28j de conservation par rapport mortier témoin.

5.3 Cinétique d'absorption capillaire

La cinétique d'absorption a été réalisée dans les conditions normales, pour tous les types de mortiers et pour chaque échéance (7, 14 et 28 jours). L'influence du taux de substitution des sables recyclés sur l'absorption d'eau des différents types de mortiers. Les résultats obtenus sont résumés dans Figure IV.5.

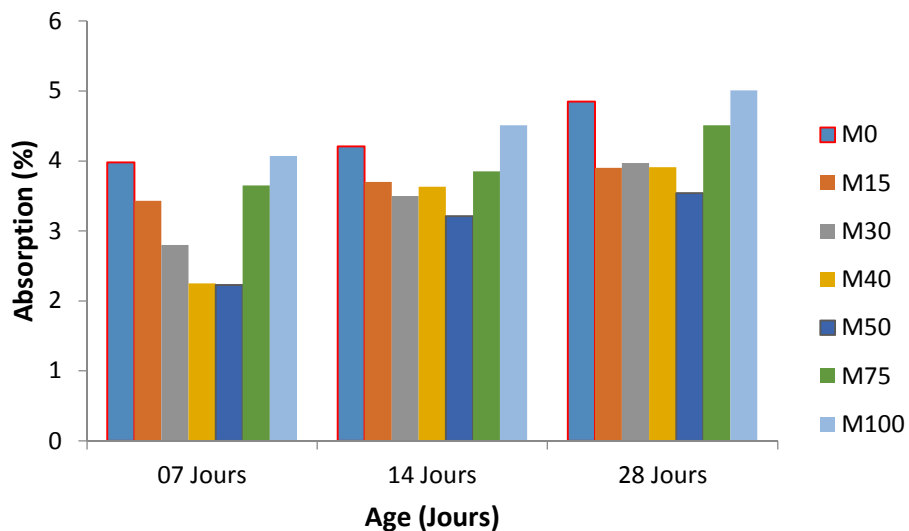


Figure IV.5. L'absorption d'eau à 7, 14, 28 jours d'âge de chaque type de mortier.

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption d'eau dans le temps, et ce pour tous les mélanges. On remarque que le M100% est celui qui a le coefficient d'absorption le plus grand par rapport aux autres mélanges. Le mortier M15% et M40% a enregistré une diminution de à 20%, 25% et 35% par rapport à M40%, M0%, M75% et M100% respectivement. Généralement on conclut que l'absorption d'eau l'âge 7, 14 et 28 jours, les mortiers M15% et M30% ont enregistré la plus petite absorption, ce qui signifie un bon mélange. On peut expliquer cette absorption d'eau par l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage pour assurer une maniabilité, lors de la prise et le durcissement des éprouvettes l'eau qui ne réagit pas avec le ciment va progressivement s'évaporer et laisse la place à la porosité, ce qui explique le taux élevé de l'absorption d'eau, et spécifiquement dans les mortiers témoins à base des sable recycle 100 %, qui renferment une partie importante de fines formées suite à l'utilisation de la méthode de concassage. Donc nous dirons que les mortiers M15% et M50%, les mélanges les plus favorisent.

On remarque aussi les mortiers de référence MSR% et MSD% est celui qui a le coefficient d'absorption le plus grand par rapport aux autres compositions,

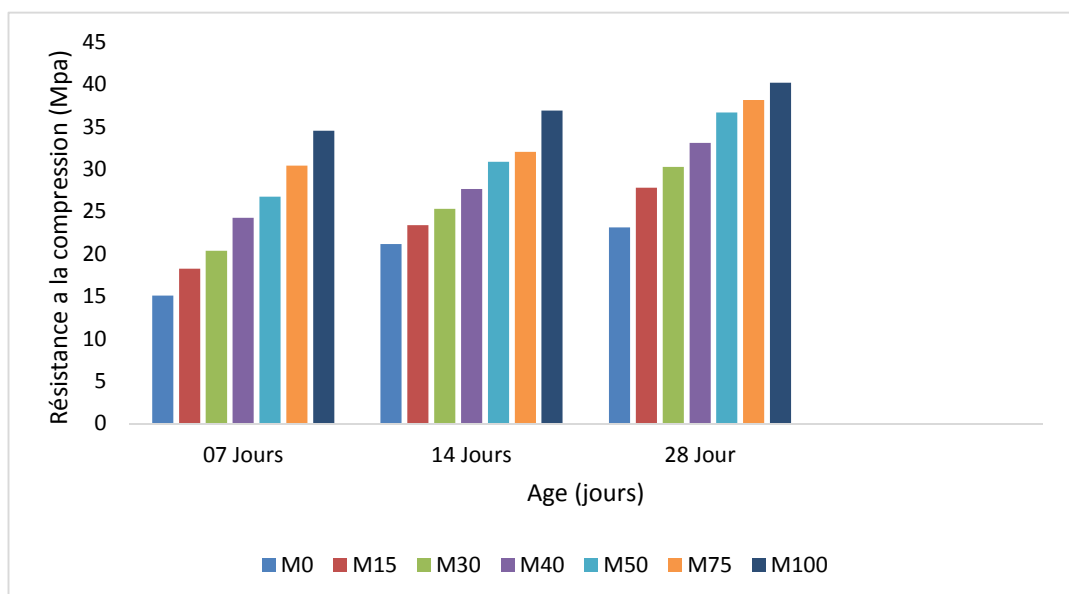
6. Résistance à la compression(RC):

La résistance à la compression est déduite par moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubiques de (40x40) cm² en mortier à base de granulats recyclés (béton démolé) pour chaque mélange, soit à 07j, 14j et à 28 jour de cure sont présentés dans la Figure IV.6.

D'après les figures précédentes, on remarque que la résistance en compression pour tous les mortiers augmente en fonction de l'âge (7j, 14j et 28 j) et aussi en fonction du pourcentage de sable recyclés utilisé. Dans les 7 premiers jours, la résistance à la compression atteint presque 70 % de la résistance à 28 jours. Il a été prouvé que le remplacement de 8% de ciment par le modificateur sous forme de fumée de silice contribue à une augmentation à la résistance moyenne du mortier par rapport au mortier témoin. On a constaté que mortier de type M75+M100 a donné la meilleure résistance à la compression à 7, 14 et 28 jours respectivement. Les mortiers à base des sables recyclés présentent des résistances à la compression plus grand par rapport aux mortiers témoin qui nécessitent une augmentation du dosage et présentent un inconvénient du point de vue économique ;

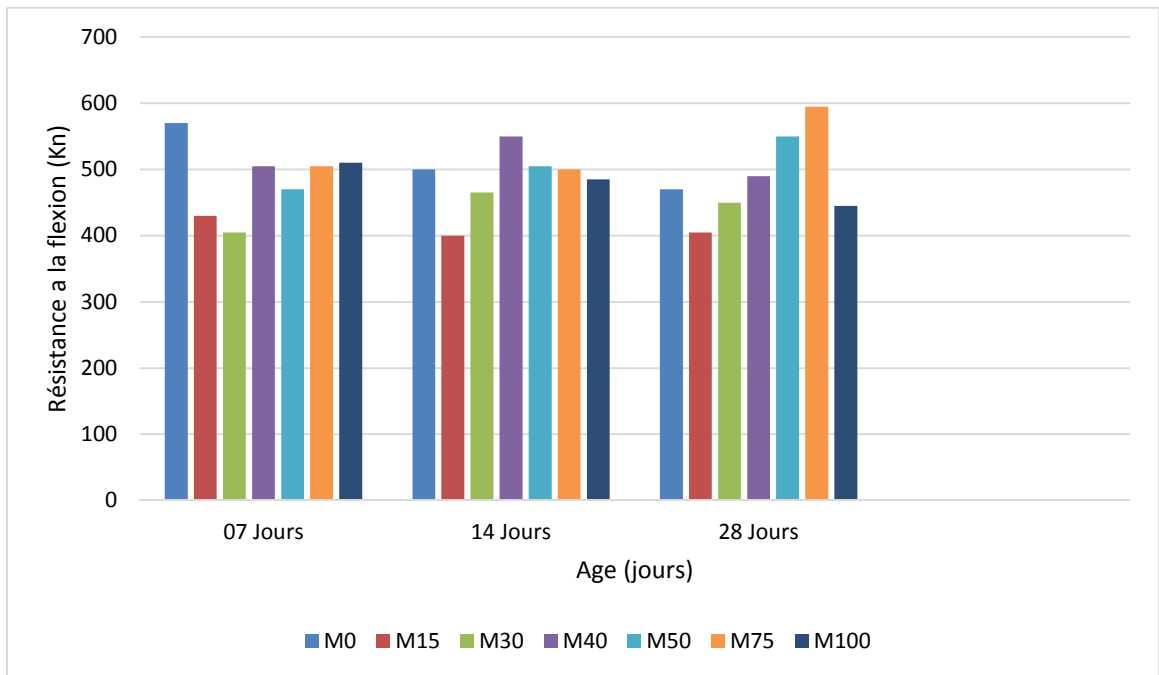
Un mortier à base de sable recyclés avec un taux de substitution de 75% présente une meilleure résistance à la compression ;

Le mortier 100% SR présente résistance très élevée presque égale à 41 MPa en 28 jours. Ces résultats sont en accord avec les études antérieures où il est remarqué que les résistances des mortiers ordinaires incorporant la poudre de fumée de silice (SR) se développent dans le temps [16] [17].



Figure(IV.6) : La résistance à la compression des mortiers recyclés en fonction de l'âge

7. Résistance à la flexion(Rf) :



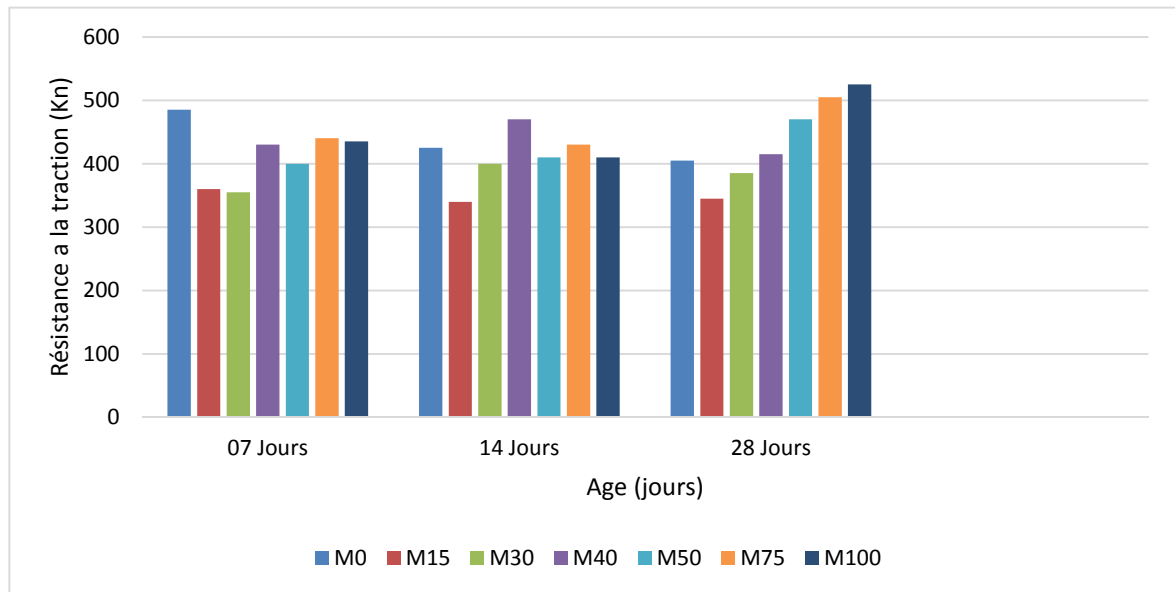
Figure(IV.7) : Résultat du test de résistance à la flexion selon les intervalles après 7 et 14 jours et après 28 jours.

7.1 Interprétation :

La figure (IV.7) montre clairement une augmentation du rapport de résistance à la flexion avec le temps on remarque que la résistance à la flexion argument à M0 en 7j dans 28j par 25% pour M75 duos 14j par 15% pour M40 mortier moirure M75

8. Résistance à la traction(Rt)

La résistance à la flexion est déduite par moyenne de trois éprouvettes prismatiques de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ à base de granulats recyclés (béton démolé) pour chaque mélange est soumis à un effort de flexion jusqu'à la rupture, soit à 07j, 14j et à 28 jours de cure. Les courbes de la figure IV.8 présente les efforts appliqués à l'essai de flexion sur les éprouvettes de mortiers en fonction du taux de substitution de sable de dune dans cette étude :



Figure(IV.8) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours)

D'après la figure (IV.8) les résistances en traction des mortiers ont subi une certaine augmentation en fonction de temps et en fonction de pourcentage du SR.

L'évolution de la résistance en traction en incorporant la sable recycle et les fillers de fumée de silice présente la même allure, quel que soit l'âge des éprouvettes, à 7, 14, 28 et 90 jours des différents types des mortiers testés ;

Le mortier M75 a une valeur supérieure dans tous les âges ;

Les mortiers recyclés présentent une résistance plus élevé par rapport aux mortiers références ;

La figure IV.6, montre que la présence de la fumée de silice dans les mortiers à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de ces derniers et d'une manière analogue que pour les mortiers conventionnels. Cette action particulière est due au fait que les grains de la fumée de silice ont un diamètre environ 100 fois plus petit que celui des plus petits grains de ciment, et que cette finesse des grains diminue le ressuage.

Conclusion :

Dans cette étude, on a utilisé des sables recyclés de déchet de démolition de béton (SRB) avec des ajouts minéraux actifs Fumée de silice (FS) et 1.6%adjuvant. Les résultats obtenus montrent que :

L'ajout de fumée de silice améliore la résistance à la compression à moyen et à long terme du mortier à base de 75 % sable de démolition de béton ;

La présence de la fumée de silice dans les bétons à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de manière analogue pour les deux sables (SD, SR) ;

La formulation M40 et M75 ont donné des résultats performants par rapport aux autres formulations. Cependant, et concernant le retrait. On peut dire que la composition M15 a obtenu la minimale valeur.

L'utilisation du sable recyclé dans le mortier en remplacement des petits granulats recyclés a présenté des résultats plus grands que ceux observés avec les mortiers à sables naturels. L'absorption d'eau par les sables recyclés semble néfaste pour la caractérisation des mortiers à l'état frais et ceci malgré un apport additif d'eau au préalable pour contenir l'absorption d'eau par les granulats recyclés, une donnée largement constatée dans les différents travaux relatifs à la valorisation de ce genre de granulat

Conclusion Générale

Dans cette étude, on a utilisé des sables recyclés de déchet de démolition de béton (SDB) avec des ajouts minéraux actifs fumée de silice (FS) et adjuvant (1.6%). Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

La présence de la fumée de silice et adjuvant dans les mortiers à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de manière analogue pour les deux sables (SDB, SDBR).

Le sable recyclé est caractérisé par un taux élevé de fines supérieur à 5% ce qui conduit à une absorption d'eau : 11,4 %, cinq fois supérieure à celle du sable naturel.

L'ajout du sable recyclé a donné des résultats acceptables par rapport à la composition témoin, essentiellement la composition contenant 8 % de poudre de fumée de silice et adjuvant amélioré la maniabilité et la résistance mécanique ;

La masse volumique des bétons à l'état durci augmente en fonction de l'augmentation du pourcentage de sable (quel soit l'âge) ;

La meilleure plasticité et la plus grande compacité sont constatées pour le mortier M75, cela est due probablement à l'effet fumée de silice.

L'optimum idéal du taux de remplacement de sable naturel par le sable recyclé brut (avec fillers) est de 40% à 50%, sans que toutefois les comportements rhéologiques et mécaniques soient amoindris.

L'absorption d'eau très élevée pour le mélange MSD% et MSR% par rapport les autres mélanges, par le suspecte d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité, on résume sur l'absorption capillaire à âge 28 jours le mortier M15 et M40 à enregistre la plus petite absorption, ce qui signifie un bon mélange. De même, on observe ce dernier mélange à donne la meilleure résistance mécanique ;

Les performances mécaniques en compression, à la traction et en flexion des mortiers à base de sable recyclé sont toutes meilleures que celles du mortier naturel pour toutes les échéances. A 28 jours, la résistance en compression est améliorée seulement de 7 % pour un taux de sable

Conclusion Générale

recyclé de 50% dans le mortier (M50) et de 25 % pour un taux de 75% dans le mortier (M75). Les résistances de traction par flexion augmentent avec la substitution du sable naturel par le sable recyclé ;

La meilleure plasticité et la plus grande compacité sont constatées pour le mortier M50, cela est due probablement à l'effet filler.

Les résistances mécaniques des mortiers de sable recyclé avec adjuvant, fumée de silice ont plus importantes par rapport aux mortiers référence.

Afin d'améliorer le comportement du mortier frais et durci à base de sable recyclé, un adjuvant super plastifiant du type MEDAFLAW 30 (Granitex) a été incorporé sur les deux meilleures compositions des deux séries de mortiers recyclés, soit M75 et M100.

D'après les figures nous remarquons que l'adjuvant influe favorablement sur les propriétés du mortier recyclé. Une légère amélioration de la résistance à la compression est observée.

Les perspectives et recommandations

Afin de compléter cette étude et de cerner de près les lois qui réagissent le comportement de mortier avec sable recyclé, nous recommandons pour les futurs travaux, d'aborder les points suivants :

- Etude de la microstructure des bétons recyclés.
- Etudier la durabilité des mortiers à base de sable recyclé en milieu acide ;
- Etude de la durabilité de ces mortiers.
- Etudier le comportement à haute température des bétons de granulats recyclés ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Mihoubi Yousra, Mahamdi maroua.** Caractérisation d'un mortier active mécaniquement a base de dechets de brique, Mémoire de master, Université mohammed boudiaf Msila ,2022.
- [2] **MANSEUR Nabil, ZIANI Sifax.** Étude et caractérisation des granulats recyclés de démolition), mémoire de master, UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA - BEJAIA ,2014.
- [3] **LAIFAOUI Hadjer.** Comportement des bétons à base des granulats de déchets de brique concassé sous différent conditions de durcissement, Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy –Bordj Bou Arreridj, 2016.
- [4]**ARDJANI KAMEL, KHACHBAT MOHAMMED ETTAHIR.** Caractérisation D'un Mortier A Base De Sable De Dune Avec Caoutchouc, Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [5]**BEDRANE Lila.** Le recyclage des déchets plastiques, un enjeu du développement durable : Cas de l'entreprise de recyclage BELLOUNIS et de l'entreprise de transformation des plastiques Kaci Plast/ Tizi-Ouzou, Mémoire de master, Universite Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2016.
- [6]**Abba Khedidja, Abbassi Meriem.** Etude des propriétés mécaniques d'un mortier à base de verre recyclé), Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2020.
- [7] **TALEB KARINA.** Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers, Mémoire de master, Universite Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2016.
- [8] **Ghriga Ghania, Oulad Said Nihad.** Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de carrière et déchets industrielles (déchets de brique et déchets de plastique PET), Mémoire de master, Université de Ghardaia, 2022.
- [9] **Benyahia, A., Redjem, A., Rahmouni, Z. E. A., & Merrouche, A.** (2016). Studiul proprietatilor mecanice ale Unui material compozit: Poliester nesaturat/fibre alfa/study of the mechanical properties of a composite material: Alfa fibers/unsaturated polyester. Revista Romana de Materiale, 46(1), 25.
- [10] **Rokbi, M., Baali, B., Rahmouni, Z. E. A., & Latelli, H.** (2019). Mechanical properties of polymer concrete made with jute fabric and waste marble powder at various woven orientations. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(9), 5087-5094.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [11] **TEBBAL, N., RAHMOUNI, Z., et BELAGRAA, L.** Combined effect of granulated slag and silica fume on the characteristics of high performance concrete. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 2016, vol. 7, no 2, p. 41-49.
- [12] **BELOUADAH, MESSAOUDA.** Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures. 2018. Thèse de doctorat. Université de M'sila.
- [13] **TEBBAL, N., RAHMOUNI, Z., et BELOUADAH, M.** Influence d'un ajout sur le comportement mécanique des bétons à haute performance soumis à des températures élevées. 30eme Rencontres AUGC—IBPSA Chambéry, Savoie, France, 6 au 8 juin 2012, 2012.
- [14] **Belouadah, M., Rahmouni, Z. E., Tebbal, N., & Hicham, M. E. H.** (2021, October). Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing. In *Annales de Chimie-Science des Matériaux* (Vol. 45, No. 5, pp. 361-368).
- [15] **Tebbal, N., & Rahmouni, Z.** (2011). Etude paramétrique de l'effet du dosage en super plastifiant sur la performance d'un béton à haute performance. *INVACO2: Séminaire International, Innovation & valorisation en génie civil & matériaux de construction*, (10-275).
- [16] **Rahmouni, Z. E. A.** (1986). Caractérisation d'un matériau minéral expansé pour sa valorisation au sein d'éléments structuraux du génie civil (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- [17] **SOUMIA, S.** (2016). Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées (Doctoral dissertation, université de Mohamed Boudiaf m'sila faculté de technologie).
- [18] **OMRI, I. Y.** Valorisation des résidus minéraux dans la formulation des matériaux cimentaires (Doctoral dissertation, Université de M'Sila-Mohamed Boudiaf).
- [19] **Refice, S., & Zerrouki, I.** (2021). L'influence de sable substitué par du brique sur l'évolution des propriétés physiques et mécaniques des mortiers soumis à de hautes températures (Doctoral dissertation, university of M'sila).
- [20] **ALMALEK, I. A.** (2018). Caractérisation expérimentale des mortiers a base des déchets de briques (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila).
- [21] **RAHMOUNI, Z. E. A.** (2022). Les travaux scientifiques de Zine El Abidine RAHMOUNI (Doctoral dissertation, university of M'sila).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[22] **RAHMOUNI, Z., & DJEBRI, N.** COMPORTEMENT DES BETONS AUTOPLAÇANT (BAP) EXPOSES A HAUTE TEMPERATURE.

[23] **Cimbéton.** Les constituants des bétons et des mortiers. Chapitre 2. Paris. Septembre

2005. disponible sur : <http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.pdf>