

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



Faculté de Technologies
Département D'hydraulique et de Génie Civil

Mémoire fin d'études

Présenté En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème



**Valorisation des sables duno-démolis dans
la formulation des mortiers**

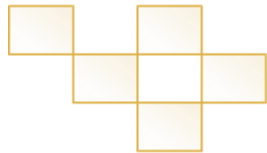


- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">● Encadreur :■ Dr Tarek Djedid● Co-encadreur :■ Tahar Zerig | <ul style="list-style-type: none">● Présenté Par :■ Meneceur Mohammed Bachir■ Ouellabi Saidi■ Meissa Ali■ Haga kais■ Labrag Abdelali |
|--|--|

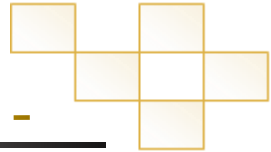
Membres du Jury

- | | | |
|-------------|---------------------|----------------|
| ■ Président | Dr. Mohamed Mani | Univ. EL- oued |
| ■ Examineur | Dr. Abdelaziz Logbi | Univ. EL- oued |

Promotion : juin 2022



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements



Après avoir rendu grâce à dieu le tout puissant et le miséricordieux.

Nous tenons à remercions vivement notre directeur de thèse, Dr. Tarek Djedid et Mr, Tahar Zerig pour l'aide précieuse qu'il nous offert dans l'élaboration de ce travail.

Nous remercions tous le membre du jury d'avoir accepté d'être le rapporteurs de note mémoire.

Nous tenons à remercier sincèrement tout ce que de près ou de loin ont participe a la rédaction de ce document il s'agit plus particlairement :

Dr. Mohamed Mani, Dr. Abdelaziz Logbi , Dr. Med Zouhir Kaab , Dr. Ali Farik ,
Dr. Ilyes Soulimane.

Et a tout le responsable de laboratoire de travaux publics et bâtiment < **Nizolab** >.

Anis qua tout le membres de laboratoires qu'ont participé indirectement ou directement à ce flux de recherche et à son objectif.

Enfin on n'oserait oublier de remercierions chers parent et mos amies.





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 souf offrant des propriétés mécaniques optimales. Ces mortiers peuvent donc être utilisés pour les travaux de pavages, d'étanchéité ...etc.

Cent trente-deux (132) échantillons de mortier à base de mélange de sable de dune et sable recycle à des dosages variant de 0% à 100% du pas de 20% ($M_{SR\%}$, $M_{80/20\%}$, $M_{60/40\%}$, $M_{40/20\%}$, $M_{20/40\%}$ et $M_{SD\%}$) ont été préparés et soumis aux essais physiques et mécaniques après conservation et/ou sans conservation. Nous avons stipulé que le remplacement de 40% de sable recycle par sable de dune a offert une résistance optimale en compression de 5.69% et 3.80% par rapport une formulation de $M_{SD\%}$ et $M_{SR\%}$ respectivement de plus une amélioration en résistance à la flexion a estimé de 79.17% et 72% par rapport une formulation de $M_{SD\%}$ et $M_{SR\%}$ respectivement.

Une performance physique (retrait, la densité et l'absorption capillaire) a été observé dans cette composition par rapport aux mortiers de référence

Mots-clés : mortier, sable recycle, sable de dune, propriétés physico-mécaniques, déchets environnementaux.



Abstract

The present study is intended to valorize the waste of the demolished concrete by the research of an optimal formula of mortar based on sand dune of Oued souf offering optimal mechanical properties. These mortars can therefore be used for paving, waterproofing, etc.

One hundred and thirty-two (132) samples of mortar based on a mixture of dune sand and recycled sand at dosages varying from 0% to 100% of the 20% step ($M_{SR\%}$, $M_{80/20\%}$, $M_{60/40\%}$, $M_{40/20\%}$, $M_{20/40\%}$ et $M_{SD\%}$) were prepared and subjected to physical and mechanical tests after preservation and/or without preservation. We have stipulated that the replacement of 40% recycled sand by dune sand offered an optimal resistance in compression of 5.69% and 3.80% compared to a formulation of $M_{SD\%}$ and $M_{SR\%}$ respectively in addition to an improvement in resistance to bending a estimated 79.17% and 72% compared to a formulation of $M_{SD\%}$ and $M_{SR\%}$ respectively.

A physical performance (shrinkage, density and capillary absorption) was observed in this composition compared to the reference mortars

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

ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تمييز نفايات الخرسانة المهدامة من خلال البحث عن الصيغة المثلى للملاط المحتوي على رمل من الكثبان الرملية لواد سوف تقدم خصائص ميكانيكية مثالية. لذلك يمكن استخدام الملاط هذه في أعمال الرصف والعزل المائي وما إلى ذلك.

مائة واثنان وثلاثون (132) عينة من الملاط بناءً على مزيج من رمل الكثبان الرملية والرمل المعاد تدويره بجرعات تتراوح من 0% إلى 100% من درجة 20% (M_{SD} , $M_{20/40}$, $M_{40/20}$, $M_{60/40}$, $M_{80/20}$, M_{SR}) وإخضاعهم للاختبارات الفيزيائية والميكانيكية بعد الحفظ في الماء أو بدون حفظ في الماء. لقد اشترطنا أن استبدال 40% من الرمل المعاد تدويره برمل الكثبان يوفر مقاومة مثلى للضغط تبلغ 5.69% و 3.80% مقارنة بتركيبية M_{SD} و M_{SR} على التوالي بالإضافة إلى تحسن في مقاومة الانحناء بنسبة تقدر بـ 79.17% و 72% مقارنة بصيغة M_{SD} و M_{SR} على التوالي.

لوحظ أداء فيزيائي (انكماش، كثافة وامتصاص شعيري) في هذه التركيبية مقارنة بملاط المرجعية.

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



Sommaire

Liste des Figures.	XI
Liste des Tableaux.	XIV
Abréviations.....	XVI
Introduction Générale.	1

Partie I: Synthèse Bibliographique

Chapitre I: Étude Bibliographique

I .1. Introduction.	3
I. 2. Classification et types des mortiers.	4
I. 2.1. La nature.	4
I. 2.2. En fonction de leur masse volumique.	5
I. 2.3. Suivant leur employ.	5
I. 3. Propriétés de mortiers.	6
I. 3. 1.La fluidité.	6
I. 3.2. La maniabilité.	6
I. 3. 3. Le pouvoir de rétention d'eau.	7
I. 3. 4. La résistance mécanique d'un mortier.	7
I. 4. Composition d'un mortier.	7
I. 4. 1.Ciment.	8
I. 4. 1.1. Constituants principaux.....	8
I. 4. 1.2. Constituants secondaires.....	12
I. 4. 1.3. Principe de fabrication des ciments courants.....	13
I. 4.2. Différents types de ciment courants.....	16
I. 4.3. Les caractéristiques physiques du ciment Portland.....	18
I. 4.3. 1. Le comportement physico-chimique de la pâte.....	18
I. 4.3. 2. Caractéristiques chimiques du ciment.....	22
I. 4.3. 3. Caractéristiques mécaniques des ciments courants.....	23
I. 4.4. Sable.....	24
I-4-5 L'eau.....	24
I. 4.5. Les adjuvants.....	24
a. Adjuvant fonction réductrice d'eau.....	25



b. Adjuvant fonction accélératrice de prise.....	25
c. Adjuvant fonction retardatrice de prise.....	26
d. Adjuvant fonction entraîneur d'air.....	26
e. Adjuvant fonction hydrofuge de masse.....	27
I.5. Conclusion	27

Chapitre II : Caractéristiques des Granulats

II.1. Introduction.	28
II.2. Granulats.	28
II.2.1. Définition.	28
II.2.2. Différents types de granulats.	28
II.2.3. Les sables.	31
II.2.3.1 Classification des sables.	31
II.2.3.1.1. Granulométrie.	31
II.2.3.1.2. Propreté.	31
II.2.3.1.3. Nature minéralogique.	31
II.2.3.2. Les types des sables selon leur provenances.	31
II .3. Les sables de dunes.	32
II.3.1. Définition.	32
II.3.2. Nature de sable de dune.	32
II.3.2.1. Mécanismes de formation.	32
II.3.2.2. Types de dunes.	32
II.3.3. Physique des dunes.	33
II.3.4. Diverses utilisations.	34
II.3.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction.....	35
II .4 Granulats de recyclage.	36
II.4.1 Béton de démolition.	36
II.4.2 Caractéristiques des granulats recyclés de béton.	36
II.4.3 Les différents types de concasseurs.	37
II.4.4 Les méthodes de séparation des impuretés.	38
II.3.5 Caractéristiques morphologiques et physiques.	40
II.3.6 Domaines d'utilisation des granulats recyclés de béton.....	41

II.4.7 Incorporation de granulats de béton de démolition dans les bétons.....	41
II.4.8 Classification de granulats recyclés selon RILEM [11, 12].....	42
II.5. Conclusion.	45

Partie II : Volet Expérimental

Chapitre III : Techniques Expérimentales

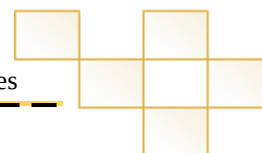
III.1. Introduction	46
III.2. Matériaux utilisés	46
III.2.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N)	46
III.2.2. Le Sable	47
III.2.2.1. Analyse granulométrique par tamisage	48
III.2.2.2. Caractéristiques Physiques	50
III.2.2.2.1. Module de finesse	50
III.2.2.2.2. Masse volumique absolue	50
III.2.2.2.3. Masse volumique apparente	51
III.2.2.2.4. Equivalent de sable	52
III.2.3 Matériaux utilisés pour confections des éprouvettes des mortiers à base .des granulats recyclés	53
III.2.3.1 Granulats de Béton de démolition	53
III.2.3.2. Masse volumique absolue	55
III.2.3.3. Masse volumique apparente	55
III.2.3.4. Analyse granulométrique par tamisage	55
III.2.3.5. Essais d'analyse chimique	58
III.2.3.6. Teneur en carbonate la norme	58
III.2.4. L'eau de gâchage	60
III.2.5. Adjuvant (Super plastifiant)	60
III.3. Formulation Des Mortiers	61
III.3.1 Compositions des mortiers	62
III.4 Modes opératoires des essais	63
III.4.1. Essais sur mortier frais	63
III.4.1.1. Essai d'étalement à la table à choc	63
III.4.1.2. Mesure de la densité réelle du mortier frais.....	65
III.4.2. Essais sur mortier durci	66
III.4.2.1. Essai de compression	66



III.4.2.2. Essai de flexion	66
III.4.2.3 Essai ultrasonique	67
III.4.2.4. Essai d'absorption par capillarité	68
III.4.2.5. Essais de mesure de la Porosité, Absorption d'eau et la Perméabilité....	70
III.4.2.5.1 la Porosité	70
III.4.2.5.2 Essai de retrait	71
III.5 Conclusion	73

Chapitre IV : Résultats et analyses

IV.1. Introduction	74
IV.2. Mortier à base de sable de dune et substitution par sable recyclé	74
IV.2.1. Ouvrabilité.	74
IV.2.2. Densité	74
IV.2.3. Masse Volumique Absolue à l'état mortier durci	75
IV.2.4. Résistance à la compression	75
IV.2.5. Résistance à la flexion	77
IV.2.6 Vitesse ultrasonique	78
IV.2.7. Cinétique d'absorption capillaire	79
IV.2.8. Porosité	80
IV.2.9. Le retrait des éprouvettes	81
IV.3. Conclusion	83
Conclusion Générale	84
Référence bibliographie	86
Annexes	89



Liste des Figures

Chapitre I: Étude Bibliographique

Figure I-1 : Mortier.	3
Figure I-2 : Mortier de ciment.	4
Figure I-3 : Mortier de chaux.	4
Figure I-4 : Mortier de plâtre.	5
Figure I-5 : Mortier mixte.	5
Figure I-6 : mortier acoustique.	6
Figure I-7 : mortier de finissage.	6
Figure I-8 : mortier de maçonnerie.	6
Figure I-9 : Composition d'un mortier.	7
Figure I-10 : Poudre de ciment courant.	8
Figure I-11 : Constituant du ciment.	9
Figure I-12 : Microphotographie d'un clinker.	9
Figure I-13 : Représentation schématique du procédé de fabrication du ciment par voie sèche.	16
FigureI-14 : Détermination du temps de début de prise.	18
FigureI-15 : Détermination du temps de fin de prise La norme spécifie, suivant	19
Figure I-16 : Evaluation du temps de prise en fonction de la température.	19
Figure I-17 : Influence de la température sur la prise des ciments.	19
Figure I-18 : Le développement des résistances dans le temps des constituants purs du CP.	20
Figure I-19 : Résistance à la compression du mortier à base du ciment Portland.	21
Figure I-20 : Influence du E/C sur le retrait plastique des mortiers	22
Figure I-21 : Suspension d'eau et de grains de ciment sans et avec ajout d'adjuvant.	25
Figure I-22 : Résistance à la compression avec et sans accélérateur.	26
Figure I-23 : Résistance à la compression avec et sans retardateur.	26
Figure I-24 : l'effet de l'hydrofuge de masse.	27

Chapitre II : Caractéristiques Granulats

Figure II.1 : Exemple des granulats alluvionnaires naturels.	29
Figure II.2: Exemple des granulats de carrière	30
Figure II.3: La barkhane.	33
Figure II.4: Morphologie de la barkhane.	34
Figure II.5 Formes des granulats recyclés.	35
Figure II.6 Schéma de fonctionnement d'une centrale de recyclage/concassage	39
Figure II.7 Interface granulat naturel / pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton.	41
Figure II.8 : Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992.	42

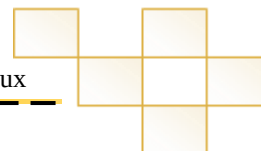


Chapitre III : Techniques expérimentales

Figure.III.1 : Ciment utilisé.	46
Figure III.2 : Sables utilisés.	48
Figure III.3 : Tamiseuse.	48
Figure III.4: Courbe d'analyse granulométrique par tamisage d'un sable de dune.	49
Figure III.5 : Essai de la détermination de la masse volumique absolue du sable.	50
Figure III.6: Principe de l'essai d'équivalent de sable.	52
Figure III .7 : Étapes de préparation des granulats de béton de démolition.	54
Figure III.8: Calcimètre de Dietrich- Frühling.	59
Figure III.9 : Adjuvant utilisés.	61
Figure III.10. Moule de confection des éprouvettes 4×4×16 cm	61
Figure III.11. Étapes de formation éprouvettes 4×4×16 cm.	62
Figure III.12 : Table à choc, cône, seau et balayette	64
Figure III.13 : Table à choc	64
Figure III.14 : Mesure de la densité	65
Figure III.15: Deux (02) Appareillages de la compression.	66
Figure III.16 : Principe de l'essai de la flexion.	67
Figure III.17: Appareillage de la flexion.	67
Figure III.18: Appareil à ultrasons (Proceq Pundit Lab).	68
Figure III.19: L'essai d'absorption par capillarité	69
Figure III.20: Principe de l'essai d'absorption par capillaire.	69
Figure III.21: Types d'appareillages de pesée hydrostatique.	71
Figure III.22: Essai de Retrait	72

Chapitre IV : Résultats et analyses

Figure IV.1: Influence du taux de substitution de sable recycle sur l'ouvrabilité.	74
Figure IV.2 : Variation de la densité.	74
Figure IV.3 : Volumique Absolue conservation à l'eau.	75
Figure IV.4 : Volumique Absolue conservation à l'air.	75
Figure IV.5 : Résistances à la compression conservation à l'eau (MPa).	76
Figure IV.6 : Résistances à la compression conservation à l'air (MPa)	76
Figure IV.7 : Résistances à la Flexion Conservation à l'eau (MPa).	77
Figure IV.8 : Résistances à la Flexion Conservation à l'air (MPa).	77
Figure IV.9 : Résistances à la compression Conservation à l'eau (m/s).	78
Figure IV.10 : Résistances à la compression Conservation à l'air (m/s).	78
Figure IV.11: L'absorption par capillarité à 28 jours d'âge de chaque type du mortier.	79
Figure IV.12. L'absorption par capillarité à 60 jours d'âge de chaque type du mortier.	80
Figure IV.13. : Porosité de chaque composition	81
Figure IV.14 : Le retrait des différents types des mortiers (a) conservation à l'air (b) conservation à l'eau.	82



Liste des Tableaux

Chapiter I: Étude bibliographique

Tableau.I.1 : Compositions des différents types de ciments en %.	17
Tableau.I.2 : Classification des ciments en fonction de leur résistance normale.	17
Tableau.I.3 : Le comportement et le dégagement de chaleur des constituants du clinker.	20
Tableau.I.4 : Caractéristique chimique de ciment courant.	23
Tableau.I.5 : Caractéristique mécanique des ciments courants.	23
Tableau.I.6 : Les différents types d'adjuvant et leurs fonctions.	27

Chapitre II : Caractéristiques granulates

Tableau.II.1 : Composition des différents types d'agréats recyclés proposé par.	43
Tableau.II.3 : Les différentes limites proposées par le RILEM sur les trois classes de béton recyclés	43
Tableau.II.4: Classe du béton recyclé .	44
Tableau.II.5 : Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons ordinaire.	44

Chapitre III : Techniques expérimentales

Tableau.III.1. Résistance à la compression.	46
Tableau.III.2. Analyses chimiques.	47
Tableau.III.3. Composition minéralogique du ciment.	47
Tableau.III.4. Caractéristiques physiques du ciment MATINE	47
Tableau.III.5 : Courbe d'analyse granulométrique par tamisage d'un sable de dune.	49
Tableau.III.6 : Masse volumique apparente.	52
Figures.III.7 : Equivalent de sable (sable dune).	52
Tableau.III.8 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.	53
Tableau.III.9 : Masse volumique apparente.	55
Tableau.III.10 : Equivalent de sable (sable dune)	55
Tableau.III.11 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g 80% SR + 20%SD	55
Tableau.III.12 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g	56



60% SR + 40%SD

Tableau.III.14 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g 57

40% SR + 60%SD.

Tableau.III.15 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 57

2000g (20% SR + 80%SD)

Tableau.III.16 : Tamisat Pourcentage Cumule (%) 58

Tableau.III.17 : Formulation d'un mortier normalisé 62



Abréviations

R_c : 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

M_{SR} : (100 % SR)

M_{SD} : (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 préformulés, 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 sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de control 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.

Les études sur l'utilisation des granulats recyclés durent depuis 50 ans. Et parallèlement, on a constaté selon différentes sources bibliographiques le manque d'études sur la composition d'un béton à base de granulats recyclés. Ceci constitue un problème, voire une insuffisance majeure.

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit, il a pour objectif principal de contribuer à la valorisation de la fraction inerte des matériaux de démolition.

Objectif de l'étude :

En partant de ces bases, le but principal de ce travail est de mettre en évidence la possibilité d'utiliser le sable de dune et le sable recycle qui disponible en quantité grand et déterminer son Influence sur les propriétés mécaniques à l'état frais et durcies des mortiers normalisés.

Ainsi, ce manuscrit présente :

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

Un deuxième chapitre : recherché concentre sur le granulat recycle et le béton et leur origine.

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 béton- Nizolab et écrasés au niveau du laboratoire Nizolab - Wilaya d'El Oued.

Un quatrième chapitre : consacré aux résultats expérimentaux avec la discussion des résultats.

Enfin, ce mémoire se clôture par une conclusion générale.



Partie I:

Synthèse bibliographique





Chapitre I:

Étude bibliographique





Chapitre I : Étude bibliographique

I.1 Introduction:

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau — et éventuellement un adjuvant — pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Les mortiers sont des mélanges à l'état durci ou frais constitués de sable, de liant et d'eau, avec ou sans adjuvant et additifs. On trouve différents types de mortiers selon leurs nature et pourcentage de constituants, malaxage, mise en œuvre et cure. [1]

En général, on distingue trois types de mortiers :

- Les mortiers pour utilisation générale.
- Les mortiers pour fines couches.
- Les mortiers allégés.

Les mortiers sont utilisés par les professionnels du bâtiment qui sont le maçon, le couvreur, le carreleur ... Dans la plupart des travaux de scellement ou de coffrage, leur but est de lier les briques les unes aux autres et de répartir les charges. La fabrication des mortiers est facile sauf qu'il faut un certain savoir-faire et demande le bon dosage qui peut varier en fonction des besoins.

Un mortier n'est autre chose qu'un béton à grain fin, il est donc soumis aux mêmes lois que les bétons. [1].



Figure I-1 : Mortier.



I.2 Classification et types des mortiers :

I. 2.1. La nature : D'après la nature du liant, on distingue :

- a. Mortiers de ciments :** Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus, un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable [02].
- b. Mortiers de chaux :** Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique [02].
- c. Mortiers bâtards :** Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée [02].



Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée : plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges. L'incorporation de fibres de métalliques ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables [02].

- d. Mortiers de plâtre** préparé à base de liants gypseux, à savoir les plâtres et les liants d'anhydrite.
- e. Mortiers mixtes :** obtenus en utilisant les liants de ciment à la chaux et ciment à l'argile. Le choix du type de liant est fait suivant la destination du mortier, les exigences requises, les conditions de températures et d'humidité pendant le durcissement et les conditions d'exploitation du bâtiment.



Figure I-2 : Mortier de ciment.



Figure I-3 : Mortier de chaux.



Figure I-4 : Mortier de plâtre.



Figure I-5 : Mortier mixte.

I.2.2. En fonction de leur masse volumique : à l'état sec les mortiers sont divisés en : [3]

f. Mortiers lourds : à masse volumique de 1500 kg/m^3 et plus ; pour la préparation de ces mortiers, on utilise des sables lourds quartzeux et autres ;

g. Mortiers légers : à masse volumique inférieure à 1500 kg/m^3 dont les agrégats sont dessablés poreux et légers de pierre ponce, de tuf, laitiers, céramiques et autres fins agrégats légers.

h. Le mortier (léger) isolant : Maçonnerie dont le poids volumique sec après durcissement est inférieur à 1300 kg/m^3 . Certains adjuvants rendent ces mortiers de maçonnerie plus légers et donc plus isolants son rôle est l'amélioration de la résistance thermique de la maçonnerie.

À titre d'exemple de comparaison en termes de masses volumique :

- Le mortier de ciment : 1900 kg/m^3
- Le mortier bâtard : 1600 kg/m^3 .

I. 2.3. Suivant leur emploi : les mortiers se subdivisent en :

a. Mortiers de maçonnerie : pour la pose des murs en pierres ou de gros éléments.

Mortiers de finissage : pour les enduits, pour la confection des éléments d'architecture, pour porter les couches décoratives sur les blocs et panneaux de murs.

b. Mortiers spéciaux : possédant quelques propriétés particulières (acoustique, de tamponnage, de protection contre les rayons X, etc.) ; ils ne sont que rarement employés.

c. Le mortier de maçonnerie industriel ou mortier préparé en usine : On utilise les mortiers préparés en usine car ils offrent l'avantage d'une qualité certifiée, qui maintient la stabilité du rapport entre les composants du mortier, ce qui est un peu délicat à avoir avec une bétonnière classique.

d. Les mortiers de maçonnerie normalisés : En ce qui concerne les mortiers de maçonnerie normalisés, la norme NBN-EN 998-2 précise les types suivants :

- Le type de mortier selon le projet (art. 3.2 de la NBN-EN 998-2) : mortier livré pour des prestations et des exigences d'utilisation spécifique
- Le type de mortier selon l'usage (art. 3.3 de la NBN-EN 998-2) : mortier pour usage ordinaire(G), mortier-colle (T) et mortier de ciment léger (L).
- Le type de mortier selon la méthode de fabrication (art. 3.4 de la NBN-EN 998-2) : mortier humide industriel, mortier sec industriel et mortier partiellement préparé en usine.

L'ancienne norme belge NBN B 14-001 (retirée) distinguait les mortiers de maçonnerie normalisés en mortiers de ciment et mortiers bâtards, selon leur résistance moyenne à la compression après 28 jours.



Figure I-6 : mortier acoustique.



Figure I-7 : mortier de finissage.



Figure I-8 : mortier de maçonnerie.

I.3 Propriétés de mortiers : Les propriétés principales d'une pâte d'un mortier sont : [3]

I.3.1 La fluidité :

Une pâte de mortier peut avoir, suivant les composants des consistances différents, depuis sèche jusqu'à fluide. Les mortiers de maçonnerie, de travaux de finissage des bâtiments et autres se font suffisamment fluides. On exprime la fluidité d'une pâte d'un mortier par la profondeur d'enfoncement dans la pâte d'un cône métallique pesant 300 g et ayant un angle au sommet de 30°.

I.3.2 La maniabilité :

Elle est déterminée par la fluidité c'est-à-dire : le pouvoir de se poser sur une surface, avec une dépense minimale d'énergie, sous forme d'une couche de densité uniforme fortement adhérent



à la surface de base. Une composition préparée par exemple avec peu de pâte de Ciment est sèche et peu maniable. Dans ce cas, on se sert des adjuvants plastifiants minéraux ou organiques superficiellement actifs.

I.3.3 Le pouvoir de rétention d'eau

Cette caractéristique est caractérisée par la propriété de la pâte de ne pas se stratifier pendant le transport et de conserver assez d'eau. Une pâte de mortier à hydrophilie basse se stratifie au court de transport et lorsqu'on la pose sur une surface poreuse (brique d'argile, béton, bois), elle lui restitue rapidement l'eau. La dessiccation du mortier peut être si importante qu'il n'y aura plus suffisamment d'eau pour le durcissement du mortier qui ne pourra pas atteindre la résistance requise. Le pouvoir de retenir de l'eau peut être augmenté par l'introduction des plastifiants minéraux et organiques.

I.3.4 La résistance mécanique d'un mortier

Après durcissement, la résistance mécanique du mortier dépend de l'activité du liant et du rapport eau- ciment.. La formule empirique suivante proposée par le professeur N. Popov [4] exprime la résistance des mortiers à ciments Portland :

$$R_m = 0,25 R_c (E/C - 0.5)$$

Avec :

R_c : l'activité du ciment en Pa. E/C : le rapport eau- ciment.

Cette formule est valable pour les mortiers posés sur une base compacte ; si la base est poreuse, elle aspire l'eau du mortier en le rendant compact. La résistance mécanique des mortiers dépend aussi de la consommation du ciment et de la qualité de sable.

I.4 Composition d'un mortier

Les mortiers sont en fait des micros bétons et leurs principes de compositions sont les Mêmes. Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. On peut l'illustrer par la figure ci-contre :



Figure I-9 : Composition d'un mortier.



I.4.1 Ciment:

Le ciment est un **liant** hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps.

Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment. [05]



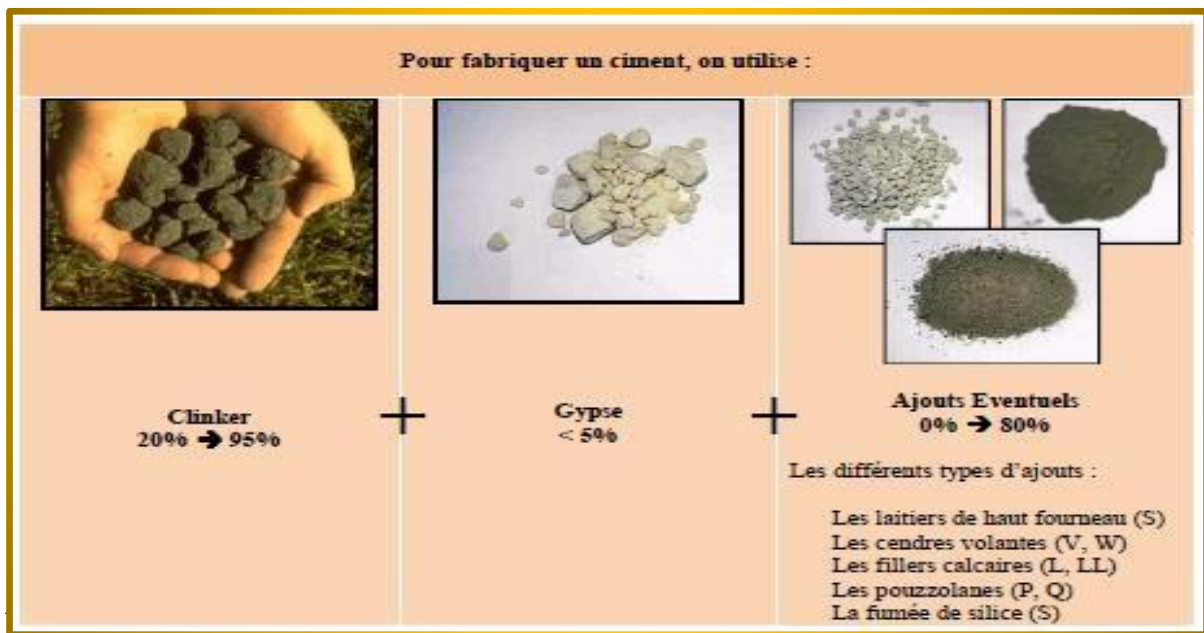
Figure I-10 : Poudre de ciment courant.

I-4-1-1 Constituants principaux :

Les ciments courants ont pour constituant le clinker et le gypse, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- du calcaire.
- du laitier de haut fourneau.
- des cendres volantes.
- des fins calcaires,
- de la pouzzolane naturelle.
- des schistes calcinés.
- des fumées de silice.

Ils ont pour but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques particulières qu'il est nécessaire d'obtenir. [05]



Le clinker, obtenu à la sortie des fours 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 présentent sous la forme de petits nodules très durs composés essentiellement des quatre phases cristallines suivantes :

- Alite : silicate tricalcique également dénommé $[C_3S]$, dont la formule est $3CaO, SiO_2$.
- Bélite : silicate bicalcique $[C_2S]$, de formule $2CaO, SiO_2$
- Céliste : aluminat tricalcique $[C_3A]$, de formule $3CaO, Al_2O_3$
- Alumino-ferrite tétracalcique $[C_4AF]$, de formule $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$.

Les proportions respectives moyennes de ces différentes phases sont en moyennes de :

50 à 70% pour le C_3S 5 à 25% pour le C_2S .

2 à 12% pour le C_3A 0 à 15 % pour le C_4AF .

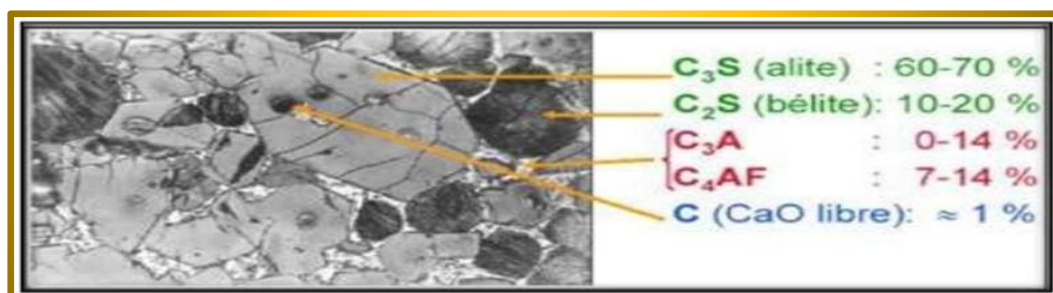


Figure I-12 : Microphotographie d'un clinker.



Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases, c'est ainsi que :

Le C3S qui libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine du double de celle libérée par le C2S, donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances jeune âge.

Le C2S permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée, et le phénomène de prise est plus faible.

L'aluminate tricalcique C3A est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait, elle contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'elle contribue assez peu à la résistance finale. Elle est par ailleurs facilement attaquée par les sulfates.

L'alumino-ferrite tétracalcique C4AF, qui forme une solution solide de C2A et C2F, réagit moins vite que C3A ; son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment.

En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comporte également :

De la chaux libre dont le pourcentage ne doit pas excéder 2 % dans le clinker pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau.

De l'oxyde de magnésium MgO, encore appelé périclase, qui, non combiné, peut être à l'origine d'une expansion par réaction avec l'eau.

De ce qui précède, il ressort qu'un ciment contenant par exemple 60 % de C3S ainsi qu'un pourcentage en C3A supérieur à 10 %, présentera de fortes résistances initiales et pourra être avantageusement utilisé par temps froid, alors qu'un ciment dont le pourcentage en C3S est supérieur à 40 % et celui en C3A n'excède pas 5 %, présentera une chaleur d'hydratation réduite et sera avantageusement utilisé par temps chaud. [05]

B. Laitier granulé de haut-fourneau (S):

Le laitier, sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 et 35 %, de l'alumine entre 12 et 30 % ainsi que de la magnésite et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker. [05]

Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le portland et craint donc davantage la dessiccation. Par contre, il résiste normalement mieux à l'action destructrice des sulfates, à la



dissolution de la chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique.

C. Cendres volantes (V et W):

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- Siliceuse (V), auquel cas elles présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante, faisant prise et durcissant par hydratation ;
- Ou calciques (W), auquel cas, outre leurs propriétés pouzzolaniques, elles peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (v) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55 %, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25 %, et d'alumine entre 20 et 30 % environ, la proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5 %. Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elles, une proportion de chaux réactive supérieure à 5 %. [05].

D. Pouzzolanes naturelles (Z):

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques.

Elles sont essentiellement composées de silice réactive « dans des proportions supérieures à 25 % », d'alumine et d'oxyde de fer. [05]

E. Schistes calcinés (T):

Ces produits, obtenus à des températures de l'ordre de 800 °C, présentent, outre leurs propriétés pouzzolaniques, des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés. Actuellement, les ciments fabriqués en France ne comportent pas de schistes calcinés. [01]

F. Calcaires (L):

Les calcaires utilisés comme constituant du ciment et non comme constituant secondaire, c'est-à-dire lorsqu'ils représentent plus de 5 % de la masse totale du ciment, doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75 % en masse, une teneur en argile telle que l'absorption au bleu de méthylène soit au plus de 1,20 g pour 100 g et une teneur en matières organiques (TOC) aux plus égales à 0,5 %. [05].

G. Fumées de silice (D) :

Les fumées de silice, constituées de particules environ 100 fois plus petites que les grains de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/10 de micron, présentent des propriétés



pouzzolaniques en raison de leur forte teneur en silice amorphe.

En outre, en raison de leur finesse, elles complètent la granulométrie des ciments. Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice.

Elles doivent contenir au moins 85 % de silice réactive, la réaction pouzzolanique s'avérant plus élevée que celles des pouzzolanes naturelles ou des cendres volantes. [05]

I-4-1-2. Constituants secondaires :

Les constituants secondaires peuvent être :

Soit l'un des constituants définis précédemment s'ils sont en proportion ≤ 5 %, exception faite du clinker ; Soit des fillers (F), leur nature exacte et leur proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3 %.

Lorsque le constituant secondaire est un filler, il s'agit de poudres minérales très fines généralement inertes, mais pouvant parfois présenter des propriétés légèrement hydrauliques ou pouzzolaniques. Ces poudres peuvent améliorer la maniabilité du ciment, ce qui conduit à une augmentation de la maniabilité du béton. [05]

A. Sulfate de calcium :

Le sulfate de calcium a pour effet de réguler la prise du ciment. Le sulfate de calcium qui peut être du gypse, de l'anhydrite ou de l'hémihydrate, doit être ajouté en faible quantité, c'est-à-dire de l'ordre de 3 à 5 % maximum. [05].

B. Additifs:

Les additifs ne doivent présenter aucune action nocive sur les propriétés des ciments, mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques.

Il peut s'agir d'agents de mouture, fréquemment employés, qui sont des sels organiques solubles utilisés à des doses extrêmement faibles. Ils agissent comme défloculant, empêchant ainsi les phénomènes de réagglomération des grains en cours de broyage.

Il peut s'agir également de sels solubles, tels certains adjuvants pour mortiers, bétons ou coulis qui, dans ce cas, agissent sur une caractéristique précise, mais dont la présence dans le ciment doit être obligatoirement indiquée en vue d'éviter d'éventuelles incompatibilités avec d'autres produits.

La proportion d'additifs doit toujours rester très faible, le pourcentage admis ne devant pas



dépasser 0,5 % de la masse totale, valeur dans laquelle se trouve comprise la proportion d'agents de mouture, et ceci pour tous les ciments à l'exception des CHF-CEM III/A ou B et des CLK-CEM III/C, pour lesquels la proportion de sels chlorés (NaCl) est autorisée jusqu'à 1 %. [05].

I-4-1-3 Principe de fabrication des ciments courants:

Sans entrer dans le détail de la fabrication des ciments, il est nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases.

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions respectivement proches de 80 et 20 %.

Le calcaire apporte le calcium ; l'argile apporte la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde ferrique Fe_2O_3 , nécessaires au processus de formation du clinker.

Ces matières premières contiennent par ailleurs d'autres éléments que ces oxydes fondamentaux, tels de la magnésite MgO , des sulfates, des sulfures, des alcalins K_2O et Na_2O ..., dont les pourcentages doivent être contenus en deçà de limites précises. [05]

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes :

I-4-1-3-1 Extraction :

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières généralement à ciel ouvert, de façon à la fragmenter en blocs chargés ensuite dans des dumpers pour alimenter les concasseurs, alors que l'argile, beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roues pelles avant d'être transportées par camions. [05]

I-4-1-3-2 Concassage :

Les matériaux extraits des carrières présentant des granulométries grossières allant jusqu'au m^3 , le concassage effectué le plus souvent sur les lieux mêmes de l'extraction a pour but d'en limiter la granulométrie à 50, voire 100 mm au maximum. Les matériels utilisés à cette fin peuvent être mobiles, ou fixes. [05]

I-4-1-3-3 Préparation du cru :

La préparation du cru au cours de laquelle on réalise le mélange homogène du calcaire et de l'argile dans des proportions définies en fonction de leurs compositions chimiques particulières, mais toujours proches du rapport 80 de calcaire pour 20 d'argile, peut se faire suivant différents procédés. Le résultat final devant permettre l'obtention d'un clinker dont la teneur moyenne des différents oxydes constitutifs est de l'ordre de :



- 65 % de CaO fourchette de 60 à 69 %,
- 21 % de SiO₂ fourchette de 18 à 24 %,
- 6 % de Al₂O₃ fourchette de 4 à 8 %,
- 3 % de Fe₂O₃ fourchette de 1 à 8 %,
- 2% de MgO fourchette de 0 à 5 % maximum,
- 1 % d'alcalis fourchette de 0 à 2 % maximum,
- 1 % de SO₃ fourchette de 0 à 3 % maximum

Ces proportions permettant de prévoir certaines des qualités ultérieures du ciment. La préparation du cru peut être réalisée suivant quatre procédés différents :

- La voie sèche, la plus généralement utilisée dont nous résumons les phases aux paragraphes 2.3.1 à 2.3.4
- La voie humide, pratiquement abandonnée parce que grande consommatrice d'énergie et qui consiste à préparer une pâte dans des délayeurs, pâte qui est ensuite homogénéisée et stockée. Cette voie s'impose lorsque les matériaux extraits présentent un taux d'humidité élevé.
- La voie semi-sèche qui consiste à humidifier la poudre obtenue après broyage et séchage pour l'agglomérer sous forme de granules qui sont ensuite cuits sur une grille mobile
- La voie semi-humide qui consiste à filtrer la pâte réalisée de façon analogue à la voie humide, mais après filtration, à en faire des boudins qui sont ensuite cuits sur une grille.

La fabrication par voie sèche, comporte les phases suivantes :

I-4-1-3-4 Pré homogénéisation :

Cette phase qui a pour but de réaliser un mélange préliminaire consiste à déposer les matériaux constitutifs du cru en couches successives, de faible épaisseur, formant le « tas de pré homogénéisation ». [05]

I-4-1-3-5 Broyage-séchage :

Repris à l'aide de roues pelles ou de gratteurs, le mélange précédent est envoyé à la station de broyage afin d'être réduit en une poudre de grain inférieure à 160 microns. [05]

I-4-1-3-6 Séparation :

Cette phase consiste, suivant le type de séparateur utilisé, à renvoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les fines contenues dans les gaz. [05]

**I-4-1-3-7 Homogénéisation :**

C'est au cours de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit. [05].

I-4-1-3-8 Cuisson :

Réalisée dans des fours rotatifs dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre de 5 m de diamètre et de 80 à 100 m de longueur dans le procédé par voie sèche (de 150 m dans le procédé par voie humide) à une température comprise entre 1400 et 1500 °C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker, le cycle du traitement comportant les phases suivantes :

Le préchauffage qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four, Le gaz chaud provenant du four y brassant la farine à contre-courant

La décomposition des argiles s'effectue au-dessus de 500 °C

La décarbonatation des calcaires s'effectue à 950 °C dans la partie médiane du four dont les températures sont comprises entre 550 et 1000 °C

La formation du clinker ou clinkérisation se produit à 1450 °C, et s'effectue en partie aval du four près du brûleur.

I-4-1-3-9 Refroidissement :

Cette opération a pour but d'abaisser la température du clinker qui est de l'ordre de 1200 à 1450 °C à la sortie du four à environ 50/250 °C suivant les types de refroidisseurs. Cette opération a également une incidence sur la qualité du ciment, un refroidissement trop lent pouvant amener la libération de chaux libre et la transformation du C3S en C2S qui entraîne une baisse de résistances. [05]

I-4-1-3-10 Broyage :

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts.

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granules de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (laitier, cendres...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés. [05]

I-4-1-3-11 Stockage, ensachage, et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché, soit expédié en vrac. L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne représente qu'environ

30% de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure. La livraison en vrac est assurée par camions, wagons ou péniches. [05].

Les étapes de fabrication du ciment sont résumées dans le schéma suivant :

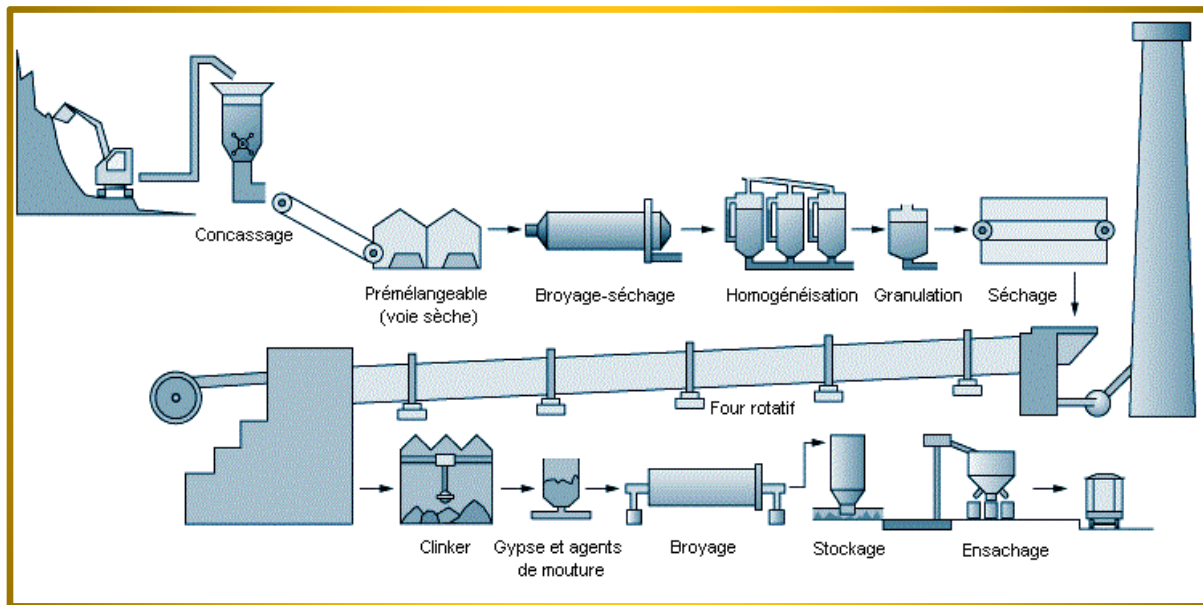


Figure I-13 : Représentation schématique du procédé de fabrication du ciment par voie sèche.

I-4-2 Différents types de ciments courants :

La norme européenne NF EN 197-1 donne 27 ciments courants, qui sont regroupés et classés en fonction de leur composition [08]. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V) dans leur notation européenne : (la notation française est indiquée entre parenthèses) :

- **CEM I : Ciment Portland Ordinaire (CPO) ou CPA en Algérie** : ils sont composés de 95 % de clinker et 5 % de constituants secondaires. Ils sont utilisés pour la confection de béton armé ou précontraint.
- **CEM II : Ciment Portland composé (CPJ)** : ils sont composés de 65 % de clinker et de 35% de constituants secondaires ; Ils sont utilisés pour les travaux courants en béton armé.
- **CEM III : Ciment de Haut fourneau (CHF)** : ils sont composés de 5 à 64 % de clinker et de 36 à 80 % de laitier. Ils sont utilisés pour les fondations ; les travaux souterrains ou milieux agressifs.
- **CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ)** : ils sont composés de 45 à 89 % de clinker et de 10 à 55 % de pouzzolane, cendres volantes et fumée de silice. Ils sont utilisés pour le béton



armé dans les travaux maritimes.

- **CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC) :** ils sont composés de 20 à 64 % de clinker, 18 à 50 % de laitier et 18 à 50 % de cendres volantes. Ils sont utilisés pour le béton en milieu agressif.

Tableau.I.1 : Compositions des différents types de ciments en % [06]

	clinker	laitier	pouzzolanes ou cendres	calcaire ou silice ou schiste	constituants secondaires (*)
CEM I	> 95				< 5
CEM II	> 65	6 à 35			< 5
CEM III	5 à 64	36 à 95			< 5
CEM IV	45 à 89		11 à 55		< 5
CEM V	20 à 64	18 à 50	18 à 50		< 5

- **Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :** Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours ; des sous-classes « R » sont associées à ces 3 classes principales pour désignent des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées ; Classe 32.5, Classe 42.5, Classe 52.5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du tableau I.3. Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées.

Tableau.I.2 : Classification des ciments en fonction de leur résistance normale.

Désignation de la classe	Sous classe éventuelle	Résistance à la compression		
		à 2 jours minimaux	à 28 jours minimales	à 28 jours maximales
350	-	-	250	450
450	-	-	350	550
	R (rapide)	150	350	550
550	-	-	450	650
	R (rapide)	225	450	650
THR Très hautes performances	-	300	550	-



I-4-3 Les caractéristiques physiques du ciment Portland :

I-4-3-1 Comportement physico:

–chimique de la pâte:

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique : C3A
- Alumino-ferrite-tétracalcique : 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 s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

1.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.



FigureI-14 : Détermination du temps de début de prise.

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité ; ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique ; se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplis de pâte pure de ciment.

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau.

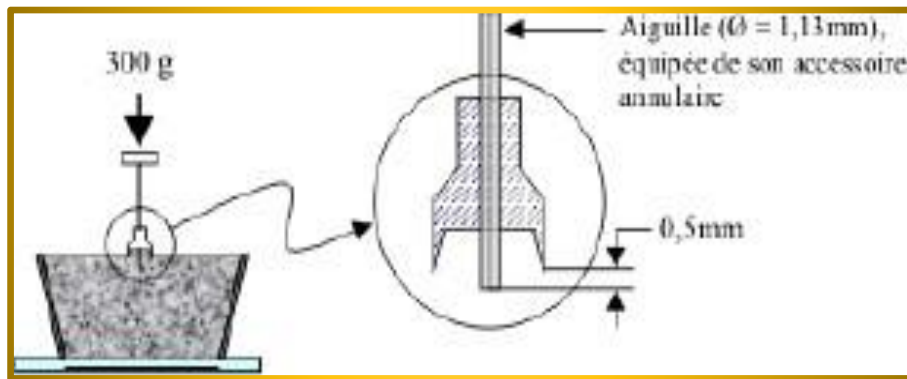


Figure I-15 : Détermination du temps de fin de prise La norme spécifie, suivant

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 et 52,5-52,5R.
- D'une façon générale, les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h 30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs .
- s'entendent pour une température ambiante de 20 °C

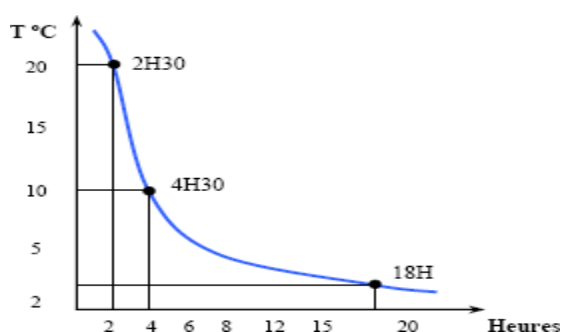


Figure I-16 : Evaluation du temps de prise en fonction de la température.

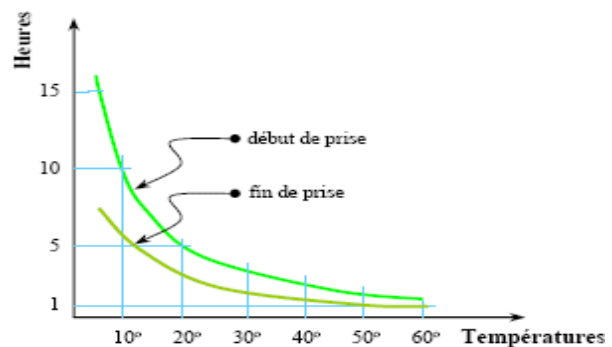


Figure I-17 : Influence de la température sur la prise des ciments.

2.Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'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. [02]



Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit Notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

3.Prise et durcissement des constituants du clinker :

Pour mieux comprendre les propriétés des ciments Portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément

Tableau. I.3: Le comportement et le dégagement de chaleur des constituants du clinker.

N°	CONSTITUANTS	COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS PURS	CHALEUR DEGAGEE
1	C_3S	▪ Fait prise et durcit rapidement. ▪ Haute résistance atteinte à <i>court terme</i>	120 cal / gr
2	C_2S	▪ Réagit lentement ▪ Haute résistance atteinte à <i>long terme</i>	62 cal / gr
3	C_3A	▪ Prise de façon très désordonnée et rapide ▪ Faible résistance (Pour régulariser la prise du C_3A, il faut ajouter du gypse)	207 cal / gr
4	C_4AF	▪ Faible résistance	100 cal / gr

Le graphique ci-dessous montre le développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment Portland.

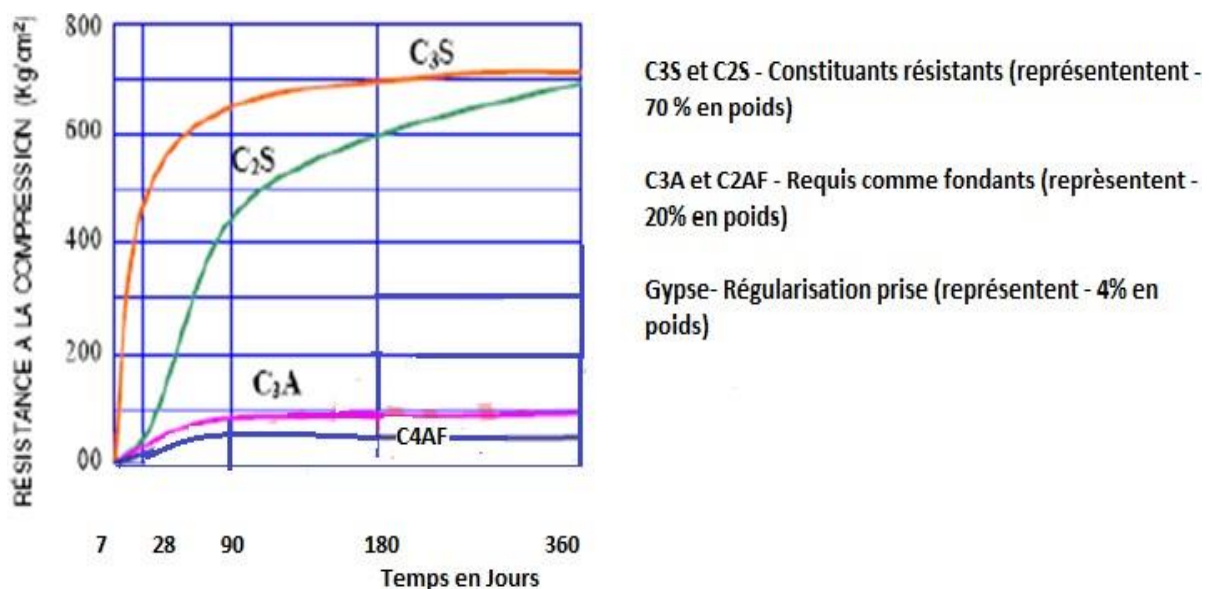


Figure I-18 : Le développement des résistances dans le temps des constituants purs du CP.



- Le C3S agit principalement sur les résistances aux jeunes âges : plus le taux sera élevé, plus les résistances aux jeunes âges seront importantes
- Le C2S agit principalement sur les résistances à long terme.

La figure I-18 présente les courbes de résistance à la compression en fonction du temps de conservation pour les mortiers à base de deux compositions de ciment Portland pur :

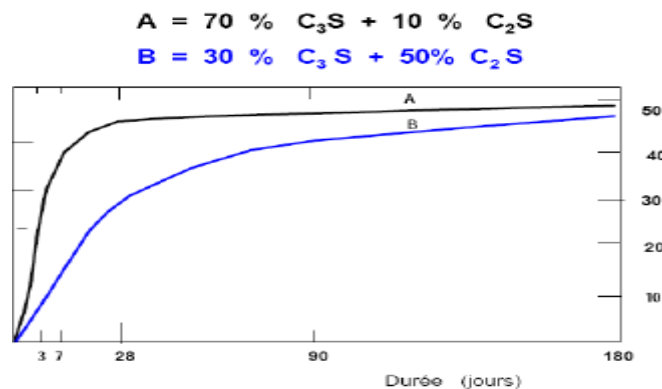


Figure I-19 : Résistance à la compression du mortier à base du ciment Portland.

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. Suivant les ciments, cette chaleur est dégagée en 12 heures,

Approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

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 1 kg de ciment. Elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieur à 4500 cm^2/g . [02]

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'événement du Ciment sont accrus.

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.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4× 4cm, conservées dans l'air à une température de 20 °C et une hygrométrie de 50 %. [02]

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800µm/m pour les ciments Portlands CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5 R.
- 1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5 R -42,5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont : La nature du ciment ;

La finesse de mouture ;

Le dosage en ciment, dans le béton ; Le dosage en eau ;

La propreté et nature des granulats ;

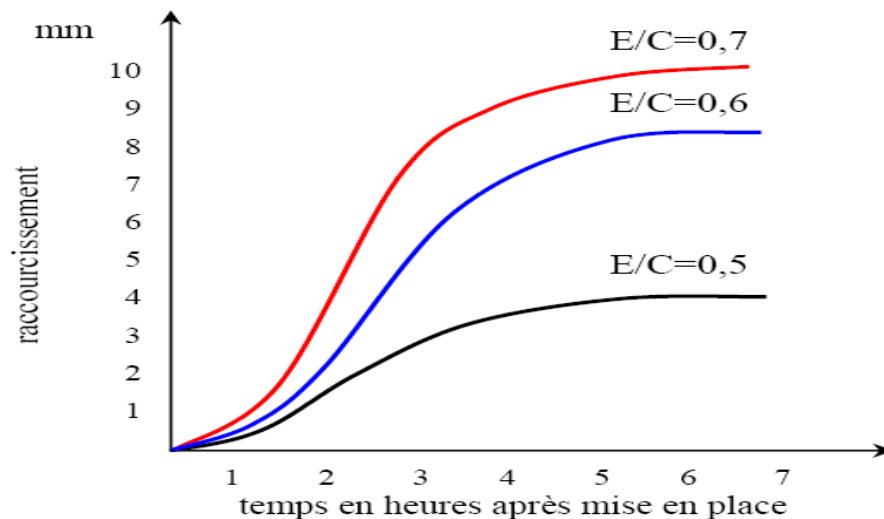


Figure I-20 : Influence du E/C sur le retrait plastique des mortiers

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.

I-4-3-2 Caractéristiques chimiques du ciment :

D'une façon générale, les ciments doivent respecter un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau .ci-après, quant à leur composition chimique.

**Tableau. I.4 : Caractéristique chimique de ciment courant. [02]**

1	2	3	4	5
Propriétés	Norme de l'essai	Type de ciment	Classes de résistance	Exigences
Perte au feu PAF	NA 5042	CEM I CEM III	Toutes les classes	$\leq 5\%$
Résidus insolubles	NA 5042	CEM I CEM III	Toutes les classes	$\leq 5\%$
Teneur en sulfates (SO ₃)	NA 5042	CEM I CEM II CEM IV CEM V	32.5 N 32.5 R 42.5 N	$\leq 3.5\%$
		CEM III	42.5 R 52.5 N 52.5 R	$\leq 4\%$
			Toutes les classes	
Teneur en chlorure	NA 5042	Tous types	Toutes les classes	$\leq 0.10\%$
Pouzzolanité	NA 1952	CEM IV	Toutes les classes	Satisfait à l'essai

I-4-3-3 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 :

Tableau. I.5 : Caractéristique mécanique des ciments courants. [06]

Désignation de la classe	à 2 jours	à 28 jours	
	Limite inférieure	Limite inférieure	Limite supérieure
32,5 32,5 R	- $\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5 42,5 R	$\geq 12,5$ ≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5 52,5 R	≥ 20 ≥ 30	$\geq 52,5$	

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.



I-4-4 Sable :

Le sable, est une roche sédimentaire meuble, constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 5 mm

Ils proviennent de sources :

- ❖ **Naturels et roulés** : Mer, Oued, Sahara de nature siliceuse ou silico-calcaire . Ce cas représente la quasi-totalité des constructions.
- ❖ **Spéciaux** (lourds, réfractaires, légers) : Sable de laitier, Sable d'oxydes de fer.
- ❖ **Industrielle** : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction.

I-4-5 L'eau :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques.

L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribuent au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité.

I-4-6 Les adjuvants [06] :

Les adjuvants sont des produits chimiques, incorporés à très faible dose (< 5 % de la masse de ciment), pendant le malaxage ou avant la mise en œuvre du béton afin d'améliorer certaines de ses propriétés. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leur répartition dans le béton.

Selon l'effet recherché ; on peut distinguer, trois grandes familles d'adjuvant :

- Action sur la plasticité et la compacité :
 - Les plastifiants réducteurs d'eau
 - Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau
- Action sur les délais de prise et de durcissement :
 - Les accélérateurs de prise.



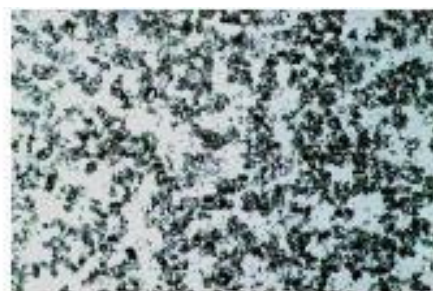
- Les accélérateurs de durcissement
- Les retardateurs
- Action sur la résistance aux agents extérieurs :
- Les entraîneurs d'air
- Les hydrofuges de masse (utilisés pour rendre les bétons et mortiers étanches).

a. Adjuvant fonction « Réducteur d'eau »:

- Réduire la teneur en eau du béton sans modifier la consistance
- Augmenter l'affaissement (Effondrement)/l'étalement sans modifier la teneur en eau
- Produire les deux effets à la fois
- L'effet est plus au moins fort selon le niveau de réduction d'eau recherchée
- Plastifiant réducteur d'eau 5 % à 10 %
- Superplastifiant, Haut réducteur d'eau :10 à 30 %



Suspension d'eau et de grains de ciment



Même suspension après ajout de 1% d'adjuvant

Figure I-21 : Suspension d'eau et de grains de ciment sans et avec ajout d'adjuvant.

b. Adjuvant fonction « Accélérateurs de prise »:

- L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de la prise du ciment dans le béton ou le mortier
- Ils sont à recommander pour les bétonnages par temps froid, les décoffrages rapides, les travaux sous l'eau...
- Effet sur le béton :
- Accélération de la prise
- Augmentation des résistances à court terme.

- Augmentation de la chaleur d'hydratation

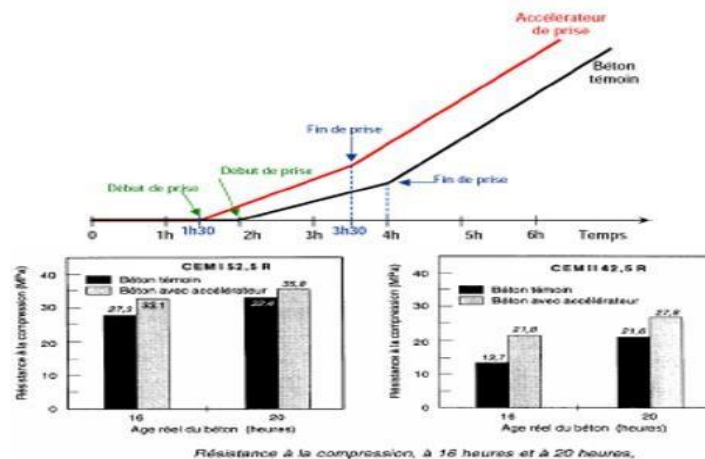


Figure I-22 : Résistance à la compression avec et sans accélérateur.

c. Adjuvant fonction « Retardateur de prise » :

- Introduction dans l'eau de gâchage, ils ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise et le temps de fin de prise du ciment dans le béton ou le mortier
- Ils sont recommandés pour les bétonnages par temps chaud, pour le béton prêt à l'emploi, les bétonnages en grande masse
- Effet sur le béton :
 - « Régule » la chaleur d'hydratation
 - Décale le temps de prise
 - Diminue les résistances initiales
 - Améliore les longues ouvrabilités.

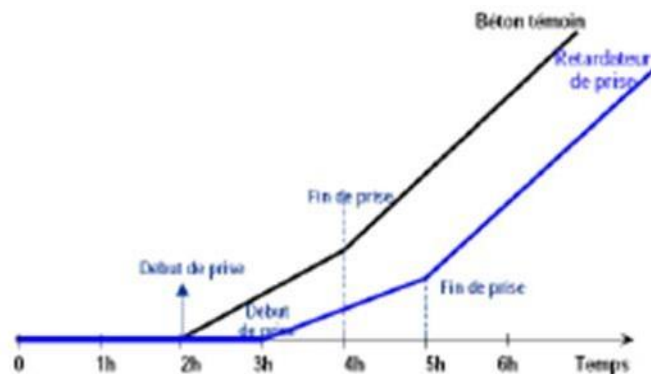


Figure I-23 : Résistance à la compression avec et sans retardateur.

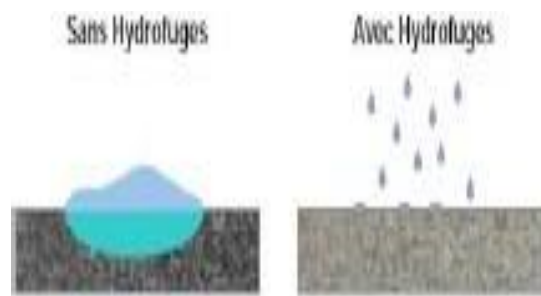
d. Adjuvants fonction « Entraîneurs d'air » :

Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton et le mortier, de microbulles d'air uniformément réparties dans la masse.

- Effet sur le béton frais :
 - Les bulles stabilisent les grains (correcteur granulaire).
 - Amélioration de la cohésion.
 - Amélioration de l'ouvrabilité (effet de réduction d'eau).
 - Amélioration de l'aspect de décoffrage.

**e. Adjuvant : fonction « Hydrofuge de masse » :**

- Bloque la pénétration des liquides dans le béton
- Domaine d'application :
 - Béton de réservoir
 - Béton en contact avec les eaux
 - Béton préfabriqué : pavés ; éléments décoratifs.

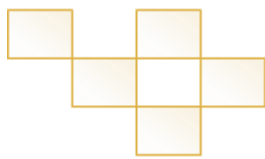
**Figure I-24 :** l'effet de l'hydrofuge de masse.**Tableau. I.6:** Les différents types d'adjuvant et leurs fonctions.

Adjuvant	Plastifiants	Réducteurs d'eau-plastifiants	Superplastifiants
Rôle	Ils déflocculent les grains de ciment et diminuent le frottement interne. La pâte est lubrifiée, la plasticité s'améliore, la mise en œuvre est facilitée	Ils permettent de réduire la teneur en eau et d'obtenir en conséquence une meilleure résistance mécanique	Réduction d'eau Augmente l'ouvrabilité des ouvrages
Dosage	< 0.5%	< 0.5%	0.5 % à 3 %
Introduction	Dans l'eau de gâchage	Dans l'eau de gâchage	Dans le béton avant de sa mise en œuvre
Effets sur la mise en œuvre du béton	A rapport eau/ciment constant, amélioration de la maniabilité	A maniabilité constante, réduction d'eau > 6.5 %	A rapport eau/ciment constant, grande fluidification du béton
Effets secondaires favorables	Possibilité d'accélération du durcissement	Augmentation de compacité, diminution de la perméabilité	On réalise des bétons à hautes performances en utilisant de faibles rapport eau/ciment
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation du retrait		

I.5. Conclusion :

Nous concluons que Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau — et éventuellement un adjuvant — pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Les mortiers sont des mélanges à l'état durci ou frais constitués de sable, de liant et d'eau, avec ou sans adjuvant et additifs.



Chapitre II : Caractéristiques des granulats





Chapitre II : Caractéristiques des granulats

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu des différentes propriétés types de sable utilisés en génie civil.

En particulier leurs mécanismes formation, classifications et critères de sélection pour leurs métiers de la construction.

Nous nous donnerons également un aperçu des sables de dunes et caractéristiques du granulat de béton recyclé.

II.2 Granulats :

II.2.1. Définition :

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme [10].

Un granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, issus des matériaux pierreux, ils sont de petites dimensions et produits par l'érosion ou broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier.

Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts à utiliser des granulats dans le béton :

Le 1er économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ;

Le 2eme technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment) [11].

II.2.2. Différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle :

- **Naturels :** lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions) ;
- **Artificiels :** lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais.

II.2.2.1. Granulats naturels courants :

Ils n'ont subi que des opérations de transformation de type mécanique : concassage, criblage, lavage...

On les distingue selon leur origine :



A.1. Origine minéralogique :

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzs et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

A.2. Origine « d'extraction » :

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories : Les granulats alluvionnaires, dits roulés : dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silicocalcaires [11].

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.

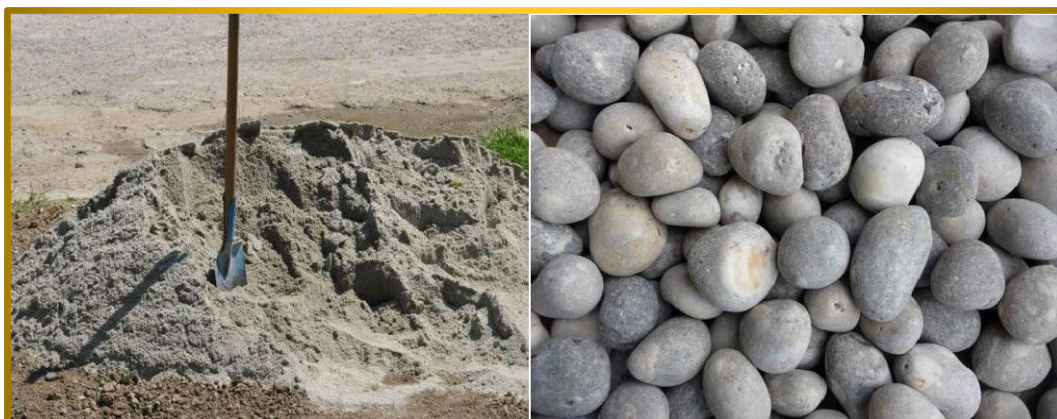


Figure II.1 : Exemple des granulats alluvionnaires naturels [11].

A.1. 3 Les granulats concassés (de carrière) : sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donnent des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage [12].



Figure II .2 : Exemple des granulats de carrière

Ce type de granulats présente une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [13].

II.2.2.2. Les granulats artificiels :

On distingue :

A.1. Sous-produits industriels, concassés ou non :

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1250 kg/m^3 pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m^3 pour le granulé [14].

A.2. Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels, ou granulats réfractaires [14].

A.3. Granulats allégés par expansion ou frittage :

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les Etats- Unis, n'ont pas eu en Europe le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, D'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé et le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m^3 selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m^3 [14].

A.4. Les granulats très légers :

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé).



Très légers (20 à 100 kg/m³), ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants [15].

II.2.3. Les sables :

On entend par sable la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 0,080 mm et 5 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [16].

2.3.1 Classification des sables :

On peut classer les sables selon trois paramètres dont :

2.3.1.1 Granulométrie :

Elle permet de séparer les sables en trois catégories :

- **Sables fins** : plus de 75% des éléments supérieurs à 80µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
- **Sables moyens** : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.
- **Sables grossiers** : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves [17].

2.3.1.2 Propreté :

La propreté d'un sable est une caractéristique déterminante par l'essai d'équivalent de sable. Afin de donner des limites pour chaque type de sable.

2.3.1.3. Nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit [18] :

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

2.3.2. Les types des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :



- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [19].

II .3. Les sables de dunes :

II .3.1. Définition :

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolienne. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz.

Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée [20].

Le sable de dune s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente. Il constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [21].

II .3.2. Nature de sable de dune :

II .3.2.1. Mécanismes de formation :

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé [21].

II .3.2. 2. Types des dunes :

a. **Les avant-dunes** : (fore dune en Anglais), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est



à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre Avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de Fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles [21].

b. Les falaises dunaires (dune Cliff en Anglais) ne sont pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux [21].

c. Les dunes perchées (Cliff-top dune en Anglais), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [21].

d. Les cordons dunaires artificiels :

Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France) [21].

II .3.3. Physique des sable dunes :

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues Majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris [21]



Figure. II.3. La barkhane.

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune [21].

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir figure. II.3). Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable Limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent (voir figure. II.4) [21].

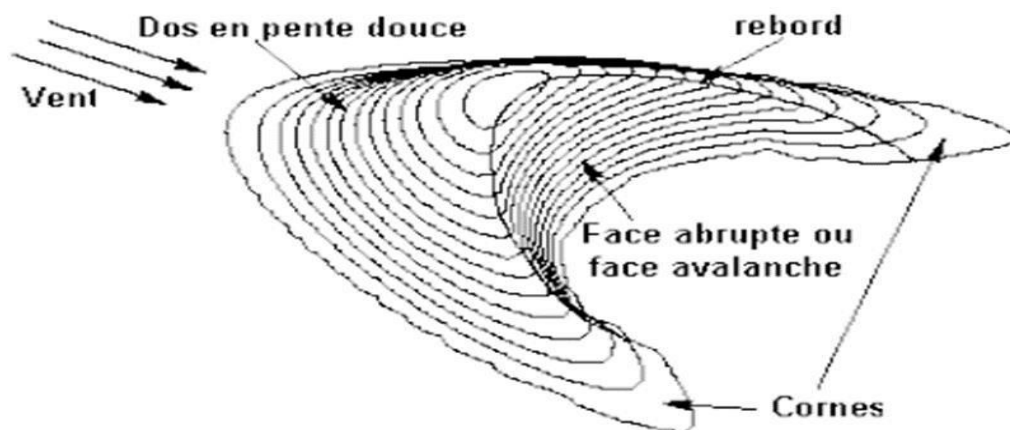


Figure II.4: Morphologie de la barkhane [21].

II .3.4. Diverses utilisations :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau



(aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc.[22]

II .3.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction :

L'Algérie est un gros consommateur de granulat. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, est notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différents natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturelles et artificielles. La réflexion sur l'élaboration de nouveaux bétons tels que les bétons de sable ou de mortier est donc devenue nécessaire.

Ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers [23].

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique par exemple, en génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental [23].

a. Intérêt de sable de dune : L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

b. Les aspects économiques : Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité quasi- inépuisable.

Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [23].

II.4 Granulats de recyclage :

II.4.1 Béton de démolition :

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

- ✓ des granulats naturels concassés partiellement.
- ✓ de la pâte de ciment hydratée concassée, enrobant les granulats naturels. Photo I.B.1

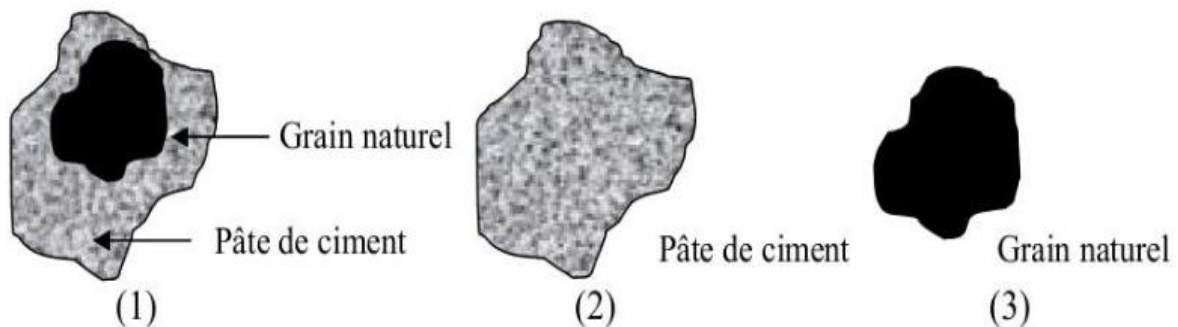


Figure II.5 Formes des granulats recyclés [24].

Les éléments constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente.

En effet, Le taux de pâte de ciment présent dans les granulats recyclés de béton varie en fonction de leur origine c'est-à-dire en fonction de la formulation de base du béton initial appelé béton parent dans la littérature.

II.4.2 Caractéristiques des granulats recyclés de béton :

La principale particularité des granulats issus du recyclage du béton est l'existence d'une gangue de ciment ancien attachée aux granulats naturels primaires.

Elle a une influence importante sur le comportement des bétons à base de granulats recyclés, car elle détermine, en grande partie, les caractéristiques géométriques (forme, état de surface), physiques (porosité et absorption d'eau). Mécaniques (friabilité, résistance aux chocs et à l'usure) et physico-chimiques de ces granulats (ils ne peuvent pas être considérés comme inertes). [24]

Lorsque les granulats recyclés sont issus de produits de démolition, il apparaît une autre particularité : la présence de différents types d'impuretés indésirables : minérales : comme le gypse, le verre, les chlorures, les briques ou bien organiques : comme le papier, le bois, les plastiques, etc.

Cette présence d'impuretés introduit une hétérogénéité importante des granulats recyclés et



pose des problèmes liés à l'échantillonnage et à la représentativité des résultats lors de leur caractérisation, mais aussi des problèmes liés à la durabilité des bétons incluant ces granulats .

II.4.3 Les différents types de concasseurs :

Pour la fragmentation des matériaux secs (bloc de roche, béton démoli...), différents types de concasseurs peuvent être envisagés.

✓ Concasseurs à mâchoire :

Avec ce type de concasseurs, le matériau est cassé par pression entre les deux machines, l'une fixe et l'autre en mouvement. Ces concasseurs ont tendance à produire des agrégats de forme plate (surtout pour la maçonnerie). Ils sont, de ce fait peu indiqués comme concasseur secondaire par contre c'est ce type de concasseur qui produit le moins de particules fines (de l'ordre de 10% max).

✓ Concasseurs à marteaux :

Il réalise la fragmentation des matériaux par percussion sur des matériaux articulés sur un ou deux rotors tournants à grande vitesse. Lorsqu'il est utilisé comme concasseur primaire, la hauteur entre la courroie d'alimentation et l'axe de rotor est réglable. Cela permet, en réglant la vitesse du rotor d'assurer une très importante réduction de la dimension des matériaux concassés. La forme des matériaux a une influence sur la dimension et la forme des granulats obtenus. Le niveau de fragmentation est difficilement maîtrisable, la consommation énergétique de l'équipement est plus élevée en comparaison avec le concasseur à mâchoires. Par contre, la séparation de l'acier du béton est meilleure.

✓ Concasseurs à percussion:

Un rotor équipé d'un certain nombre de barres d'impact, projette les matériaux à grande vitesse contre les parois de la chambre de broyage garnie latéralement des plaques d'usure et de deux encolures en acier de haute résistance. Les agrégats sont produits par choc et éclatement, ils sont de ce fait très durs et de faible calibre avec une importante quantité de fines (jusqu'au 40% de particules < 6mm).

✓ Concasseur giratoire :

Le concasseur opère par écrasement du matériau entre un cône giratoire. Le mouvement à l'intérieur de la chambre de broyage est commandé par un arbre excentrique, ce qui rapproche par le dessous de la machine. La dimension maximale du matériau est limitée à 200mm environ. Sans métal ni bois, cet équipement peut être utilisé comme concasseur primaire et produit des agrégats de forme cubique et une quantité moyenne de fines (< 20 %).



✓ Concasseur à cône :

Ce concasseur fonctionne selon le même principe que le concasseur giratoire. Ici un cône tronqué se met autour d'un axe excentrique dans un matériau qui a la forme d'un cône tronqué inversé, de telle sorte que l'espace n'agrandit à nouveau, les petits morceaux tombent par la fente. Ici également, le matériau à concasser doit être exempt d'acier.

II.4.4 Les méthodes de séparation des impuretés :

a. Séparation manuelle :

Elle a l'avantage majeur de pouvoir éliminer les éléments indésirables qui ne sont pas facilement séparable par d'autres moyens, il s'agit notamment du verre, des morceaux d'isolants plats, les fils électriques gainés, etc. Par contre elle nécessite du personnel en permanence et le rythme de production doit être adapté à leur vitesse de travail (Par exemple, arrêt momentané de la bande transporteuse si trop d'éléments indésirables passent en même temps).

b. Séparateur magnétique :

Un très puissant aimant permanent enjambe la courroie transporteuse. Il est équipé d'une courroie à lattes contre lesquelles se plaquent les métaux ferreux qui sont ainsi écartés de la voie du concasseur pour tomber à côté de l'installation lorsqu'ils quittent le champ magnétique de l'aimant. Ce système ne fonctionne que pour les métaux ferreux.

c. Séparation par aspiration :

Tous les matériaux légers (tels que bois, textile, plastique de faible densité etc....) sont aspirés dans un système placé à l'extrémité du premier crible, tandis que les matériaux pierreux plus lourds, passent en travers. Son efficacité est notamment améliorée lorsqu'on peut l'utiliser que pour une fraction granulométrique bien définie. Dans ce cas, il permet jusqu'à 95% des éléments indispensables.

d. Séparation par gravité :

La méthode est basée sur la différence de masse volumique des différents composants. Pour pouvoir exploiter la différence de masse volumique, il faut s'intéresser à des volumes comparables et donc de sélectionner une granulométrie limitée. En général, la séparation s'opère en deux niveaux : un étage supérieur pour la fraction 50-150 mm et un étage inférieur pour 20-50 mm.

e. Séparation par décantation :

Les granulats traversent une distance avec renfile d'eau. Les matériaux légers flottent tandis



que les matériaux pierreux plus tard, tombent au fond. Les éléments indésirables flottant sont raclés en surface tandis que les agrégats propres continuent le circuit. Ce procédé a l'avantage d'éliminer la grande majorité des éléments indésirables ou de fournir un granulat très propre.

Par contre il produit une grande quantité de boue qui doit être traitée.

La figure II.1 résume le fonctionnement d'une centrale de concassage de génération moderne de production de granulats recyclés. Contient des dispositifs qui procèdent au retrait de certaines de ses impuretés.

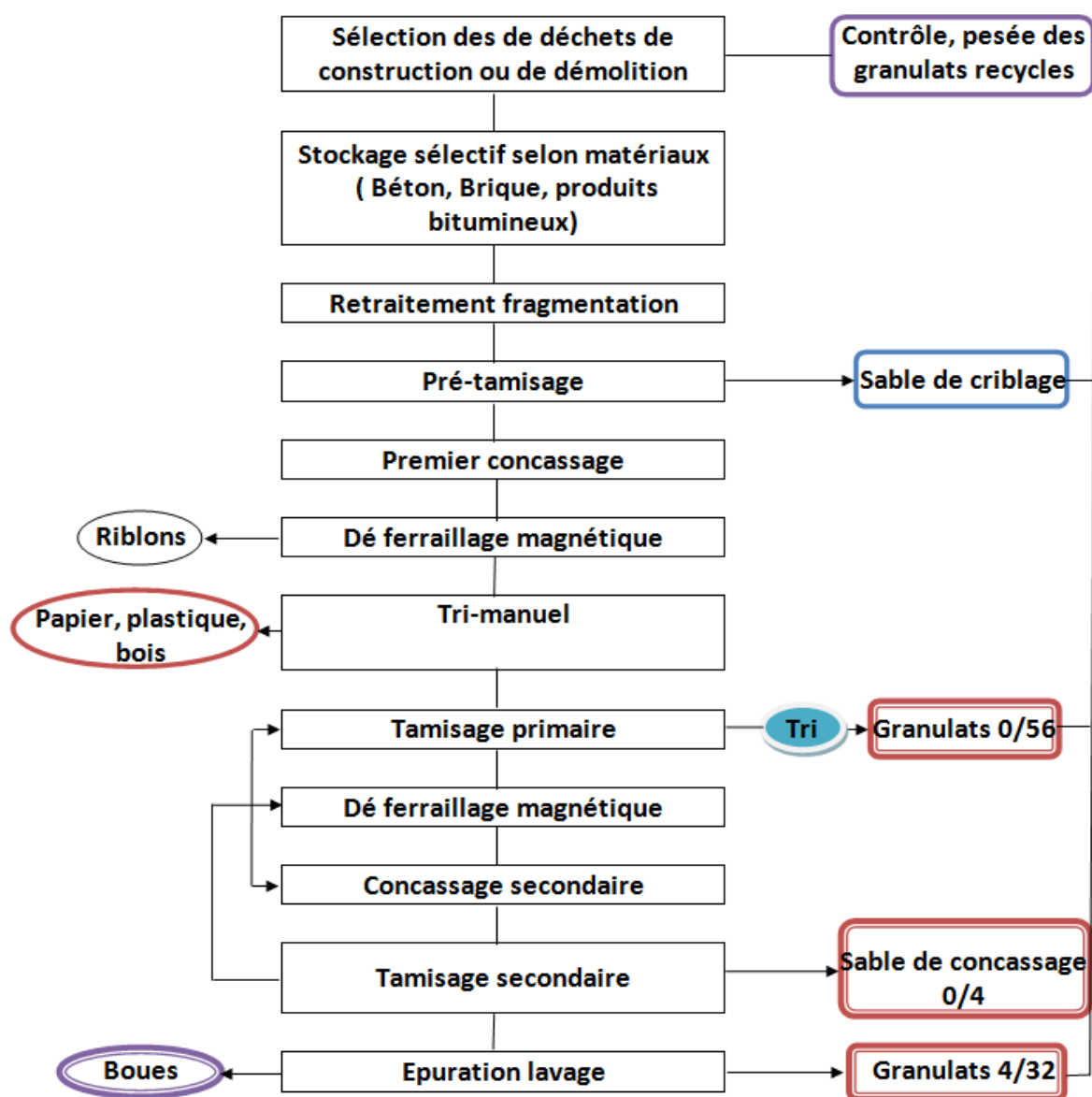


Figure I.6 Schéma de fonctionnement d'une centrale de recyclage/concassage [24].



II.3.5 Caractéristiques morphologiques et physiques :

a. La Granulométrie et le module de finesse :

En général, les granulats recyclés se caractérisent par un fuseau granulaire homogène et continu, mais les sables recyclés sont sensiblement plus grossiers que les sables naturels utilisés dans les bétons ordinaires.

Un autre aspect important de la granulométrie est la teneur en fines. Les fines présentes dans les granulats recyclés sont essentiellement constituées de ciment ancien et peuvent influencer aussi bien les caractéristiques des bétons frais (demande en eau, maniabilité, délais de la prise), que celles des bétons durcis (adhérence nouvelle pâte de ciment - granulat) .

b. Forme et état de surface :

La forme des grains et leur état de surface ont une influence considérable sur l'ouvrabilité des bétons et leurs propriétés mécaniques.

c. Masses volumiques et porosité :

Du fait de la faible densité de la gangue de ciment, de la porosité plus élevée et des impuretés légères présentes dans les granulats recyclés, leur masse volumique est plus faible que celle des granulats naturels silico -calcaires d'utilisation courante dans les bétons.

La masse volumique d'agrégats de béton recyclé est inférieure de l'ordre de 5 à 10% de celle d'agrégats naturels [24]. Cette baisse est relativement à la masse volumique faible d'anciens mortiers attacher aux particules d'agrégats du béton recyclé.

La porosité des granulats recyclés est beaucoup plus élevée que celle des granulats naturels courants. La porosité globale du sable recyclé a été évaluée à 13% [24] .

d. L'absorption d'eau par les granulats recyclés :

Deux effets principaux de l'absorption d'eau par les granulats recyclés peuvent être considérés

- sur la plasticité et l'ouvrabilité du béton frais ;
- sur la formation du réseau poreux du béton et, par conséquent, les Caractéristiques mécaniques et la durabilité du béton durci.

Lors de la fabrication des granulats recyclés le concassage a deux effets :

- En créant des fissures, le concassage contribue à une augmentation de l'absorption d'eau.
- Les fissures dans la partie hydratée du ciment primaire est responsable de la forte absorption d'eau [24]. Photo II.2.

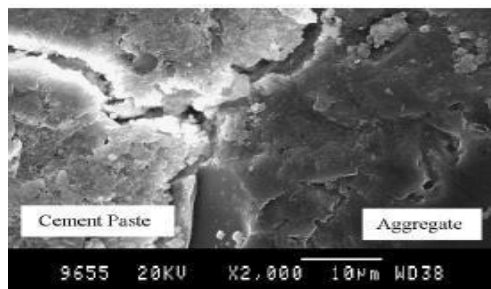


Figure II.7 Interface granulat naturel / pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton [24].

II.3.6 Domaines d'utilisation des granulats recyclés de béton :

a. Les routes et le VRD (Voiries Réseaux Divers) :

Les chaussées sont constituées en partie d'une couche d'assise (couche de fondation et couche de base). Elles sont surmontées éventuellement d'une couche de liaison pour l'amélioration des performances, puis d'une couche de roulement adaptée aux trafics (Classe du trafic définie par la moyenne journalière des poids lourds par voie de circulation).

Quel que soit le niveau, les granulats sont utilisés dans l'ensemble de ces couches. Ils doivent répondre à des critères de qualité liés à la solidité des ouvrages et à la sécurité. Ces exigences sont spécifiées dans des normes françaises (NF) et européennes (EN).

Les granulats de recyclage peuvent être utilisés dans les couches de forme et les couches d'assises, ainsi que sur les accotements des chaussées.

b. La production de béton :

Actuellement, les emplois des bétons à base de granulats recyclés de béton ne sont pas encore normalisés dans la plupart des pays.

c. Les réseaux ferrés :

Les voies ferrées requièrent de très grandes quantités de ces granulats pour la réalisation de structures des plates-formes, des chaussées, et de ballast des chemins de fer.

II.4.7 Incorporation de granulats de béton de démolition dans les bétons :

Les granulats recyclés de béton sont incorporés dans la formulation de béton en remplacement des granulats naturels dans des proportions variant de 0 à 100 %. Des bétons témoins sont toujours fabriqués pour établir un point de comparaison.

Ainsi, les approches pour formuler un béton sont nombreuses, chacun fixant les paramètres utiles pour comparer et observer l'effet des granulats recyclés sur le comportement physique des bétons. Certains choisissent de travailler à ouvrabilité constante [Debieb et al, 2010] [Levy, 2004] tandis que d'autres auteurs s'intéressent aux temps de malaxage, au degré d'humidité des



Granulats recyclés et à la quantité d'eau globale et effective à mettre en œuvre [Evangelista, 2010] [Gomez, 2002]. Pour certaines études le remplacement est massique ou volumique sans modifier les autres paramètres de composition (quantité de ciment) [Olorunsogo, 2002]. Enfin, certains chercheurs travaillent avec une méthode de mortier équivalent. Dans cette méthode, on considère que la matrice cimentaire présente dans les granulats recyclés rentre en ligne de compte dans la matrice cimentaire du nouveau béton [Abbas et al, 2009].

En général, il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires. Cependant, une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton qui respecte le cahier des charges.

II.4.8 Classification de granulats recyclés selon RILEM [24] :

Généralement, les granulats recyclés produits dans les installations de concassage sont de différents types. A titre d'exemple, au Pays-Bas la production jusqu'à 1992 été comme le montre la figure suivante :

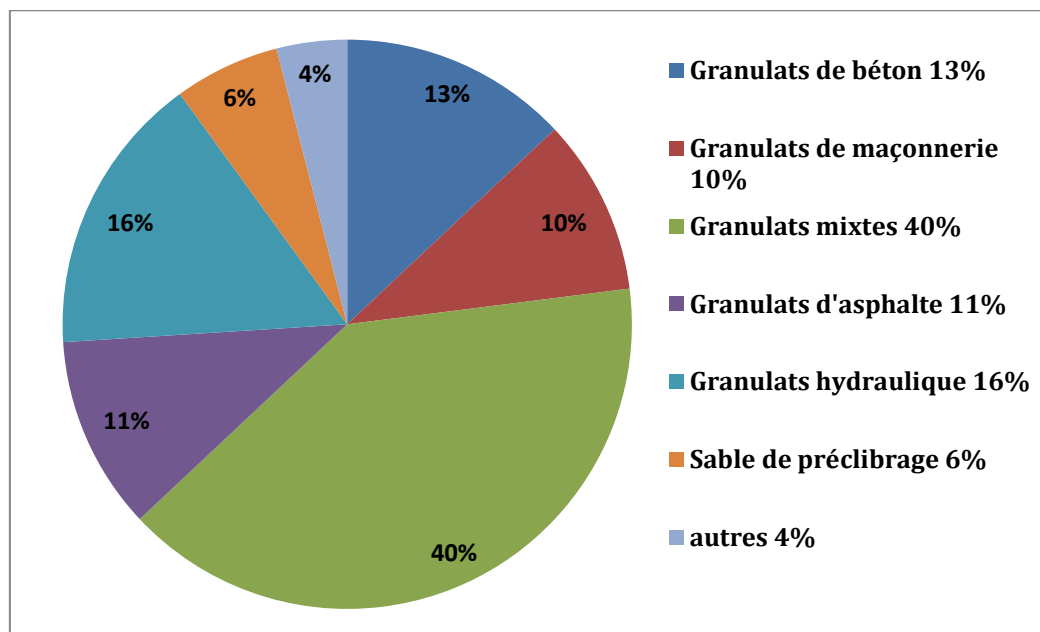


Figure I-3 : Répartition de la production en granulats recyclés au Pays-Bas en 1992.

Parmi les différentes définitions et classifications d'agréats recyclés, la classification du comité technique (TC121) de la RILEM lors du 3ème congrès sur la démolition et réutilisation du béton et de la maçonnerie au DANEMARK (Odense) 1993, paraît être un des plus



convenables pour une application pratique. La RILEM recommandait de classifie les gros granulats recyclés en trois type (Tableau I.1) dans chacun serait sujet de limites spéciales en impuretés en plus des limites imposées par les normes européennes accordées comme le montre le tableau suivant :

Tableau I.1 : Composition des différents types d'agrégats recyclés proposé par .

Types d'agrégats	Composition
Type I	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de maçonnerie (brique).
Type II	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de béton.
Type III	Un mélange d'au moins 80% d'agrégats naturels et pas plus de 10% d'agrégats recyclés de type I (jusqu'à 20% d'agrégats recyclés de Type II).

Les limites proposées sur ces granulats sont résumées au tableau I.2 suivants :

Tableau I.2 : Les différentes limites proposées par le RILEM sur les trois classes de béton recyclés [24].

Exigences mandataires	Type I	Type II	Type III
Densité sèche minimum (kg/m ³)	1800	2200	2400
Absorption d'eau max. (%)	15	5	3
Teneur maximale de matériaux à densité sèche < 2200 kg/m ³ (%)	-	10	10
Teneur maximale de matériaux à densité sèche < 1000 kg/m ³ (%)	10	1	1
Teneur maximale on matériaux à densité sèche < 1200 kg/m ³ (%)	2	0.5	0.5
Teneur maximale on matériaux non minéraux (%)	1	1	1
Teneur maximale on matériaux organique (%)	0.5	0.5	0.5
Teneur maximale en élément fins (< 0.8mm) (%)	3	3	2
Teneur maximale en sable (< 1mm) (%)	3	3	3
Teneur maximale en chlorure (%)	0.06	0.06	0.06
Teneur maximale en sulfate (%)	1	1	1
Teneur maximale en matières Étrangères (verre, métal, etc) (%)	5	1	1



Les classes de résistance du béton à base des granulats recyclés recommandés par la RILEM Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials), sont résumées dans le tableau I.3 suivants

Tableau I.3: Classe du béton recyclé [24]

Classe de béton	Type I	Type II	Type III
C16/20	x	-	-
C50/60	-	x	-

Aucune limite n'est donnée pour le type III.

Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons d'agréats naturels proposés par la RILEM, sont comme suite :

Tableau I.4 : Les coefficients multiplicateurs des propriétés des bétons recyclés par rapport aux bétons ordinaire [24]

Classe de béton Caractéristique	Type I	Type II	Type III
Retrait	1.5	1.3	1
Module d'élasticité	0.7	0.8	1
Fluage	1.2	1.2	1
Résistance de traction	0.8	0.9	1



II.5. Conclusion :

Cette synthèse bibliographique a été réalisée pour évaluer et connaître le cas concernant la possibilité de recyclage du béton démolé avec sable de dune de l'Oued Souf. Mais pour bien comprendre ce comportement, il a fallu agréger les propriétés de ces agrégats, la structure microscopique, les différentes réactions chimiques, ainsi que les mécanismes d'adhésion de l'agrégat de pâte de ciment. La plupart des formules de béton de sable sont conçues actuellement de manière empirique. La formulation se fait donc sur la base de l'expérience acquise ces dernières années. L'aspect économique n'est pas encore le critère prédominant de la formulation ; les dosages en superplastifiants et en fines ne sont donc pas bornés. Il est vrai, paradoxalement, que l'utilisation des agents de viscosité n'est pas très diffusée, justement à cause de leur coût.

Tous les programmes expérimentaux demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables pour une formulation scientifique des mortiers ou les autres. Les données bibliographiques spécifiques concernant l'influence des granulats recyclés sur les propriétés physico-mécaniques et ainsi sur les paramètres de durabilité, sont présentées et analysées.

D'après notre étude bibliographique, il n'est pas aisé de dégager des règles générales d'emplois de granulats recyclés dans les bétons ou mortiers ; cela vient de la disparité des objectifs des scientifiques, de ce que leur travail vise à caractériser, ou rechercher des propriétés particulières, de l'abondance des paramètres de composition, de matériaux locaux, de la mise en place, du mode de cure et d'essais.



Partie II:

Volet Expérimental





Chapitre III:

Techniques expérimentales



Chapitre III : Techniques expérimentales

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés au cours du travail pratique effectué au niveau de laboratoire Nizolab – Wilaya d'El Oued.

Pour la confection d'un mortier.

Il sera aussi présenté le travail de sélection des constituants ainsi que leur utilisation, dans le but d'obtenir les meilleurs résultats en matière de résistance.

III.2. Matériaux utilisés :

Dans notre étude, nous avons utilisé des matériaux naturels locaux, ciment, sable (sable de dune et sable recycle), super plastifiant et l'eau.

III 2.1. Le ciment (CEM II /B –L 42 ,5N) :

Le ciment utilisé dans l'ensemble des essais expérimentales est un ciment portland composé CEM II / B-L 42.5N selon la norme NA 442, le ciment a été fourni par le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (LAFARGE), Bab Ezzouar, Algérie (Figure II.4.).



Figure.III.1 : Ciment utilisé.

Les caractéristiques physico-chimiques du ciment inscrit sur la fiche technique sont données dans les Tableaux II.7., 8., 9., et 10.

Tableau III.1. Résistance à la compression (NA 234).

Age	2 jours	28 jours
Résistance à la compression (MPa)	Différent ≥ 10	≥ 42.5

**Tableau III.2.** Analyses chimiques (NA 5042).

Paramètre	Valeur
Pert au feu (%)	10.0 ± 2
Résidus insoluble (%)	1.35 ± 0.65
Teneur en sulfates SO_3 (%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7 ± 0.5
Teneur en chlorures (%)	$0.02 - 0.05$
Teneur équivalent en alcalis (%)	$0.3 - 0.75$

Tableau III.3. Composition minéralogique du ciment (CLINKER).

Minéraux	Pourcentage
C_3S	60 ± 3.0
C_2S	15 ± 3.0
C_3A	7.5 ± 1.0
C_4AF	11 ± 1.0

Tableau. III.4. Caractéristiques physiques du ciment MATINE

Caractéristique	Valeurs	Unité
S.S. Blaine (NA 231)	3700 – 5200	Cm^2/g
Consistance normale	26.5 ± 2.0	%
Début de prise (NA 230)	150 ± 30	Min
Fin de prise (NA 230)	230 ± 50	Min
Retrait à 28 jours	< 1000	$\mu\text{m}/\text{m}$
Expansion	≤ 0.3	Mm
Masse volumique apparente	975	kg/m^3
Densité spécifique	3080	kg/m^3

III.2.2 Le Sable:

Le sable utilisé dans cette étude, est un sable dunaire (SD) provenant de la région Sud de la ville d'El Oued qui présente un diamètre de grain maximum d'environ 0.63 mm.(Figure II.1. a). Le



deuxième sable est un sable recycle (SR) provenant de la concassage de béton de démolition de grain maximum d'environ 5 mm (Figure III.2).



Figure III.2 : Sables utilisés.

III.2.2.1. Analyse granulométrique par tamisage NF EN933-1

La granulométrie s'exprime par un graphique dans lequel la courbe granulométrique indique les pourcentages en masse passant par les tamis successifs dont les mailles sont de plus en plus petites (voir la figure III.7).



Figure III.3 : Tamiseuse.



L'analyse granulométrique du sable de dune est présentée dans la figure suivante :

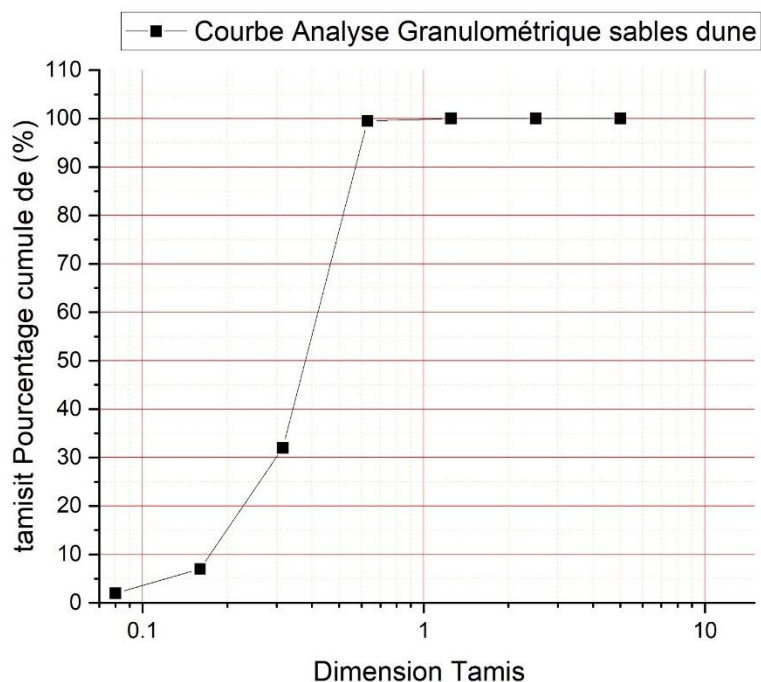


Figure III.4: Courbe d'analyse granulométrique par tamisage d'un sable de dune.

Tableau III.5 : Courbe d'analyse granulométrique par tamisage d'un sable de dune.

Dimension Tamis (mm)	Poids de refus partiel (g)	Poids de refus cumule (g)	Pourcentage de refus cumule(%)	tamisit Pourcentage cumule de (%)
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.630	10	10	0.5	99.5
0.315	1350	1360	68	32
0.160	500	1860	93	7
0.08	100	1960	98	2
Fond				



III.2.2.2. Caractéristiques Physiques:

Les caractéristiques physiques sont comme suit :

III.2.2.2.1. Module de finesse:

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 et 5. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus (en \%)} \text{ sur les tamis } 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 \text{ et } 5}{100}$$

- ✚ 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins ;
- ✚ 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel ;
- ✚ 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 4}{100}$$
$$MF = \frac{93 + 68 + 0.5 + 0 + 0 + 0}{100} = 1.615$$

$$Mf = 1.615$$

III.2.2.2.2. Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301]

Cet essai est défini comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.



Figure III.5 : Essai de la détermination de la masse volumique absolue du sable.

La masse volumique absolue se détermine par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

ρ : Masse volumique absolue

M: Masse des grains solides

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains solides + eau).

$V_1=800 \text{ cm}^3$. $V_2=995 \text{ cm}^3$ $M=500\text{g}$

$$\rho = \frac{500}{995 - 800} = 2.56 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

III.2.2.2.3. Masse volumique apparente : Selon la Norme [NFP 18-554].

La masse volumique apparente est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

Avec :

V : Volume du récipient

M_0 : Masse du récipient propre et vide

M1 : Masse du récipient rempli.

Tableau III.6 : Masse volumique apparente.

Masse récipient (g)	4320
Masse du sable (g)	6665
Masse volumique(g/cm ³)	(6665-4320) /1320.292 =1.77

III.2.2.2.4. Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598]:

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur du l'équivalent de sable (ES) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée sur la hauteur totale du floculat.



Figures III.6: Principe de l'essai d'équivalent de sable.

La formule qui permet la détermination de l'équivalent de sable est :

$$ES = \frac{h1}{h2} 100\%$$

Avec :

Hauteur h1 : sable propre +éléments fins,

Hauteur h2 : sable propre seulement.

Figures III.7 : Equivalent de sable (sable dune).

Essai	h2(cm)	h1(cm)	M(g)	Es %
01	8.9	10.8	120	82.40

**Interprétation :**

D'après les analyses de équivalent des sables les résultats montrent que le sable est très propre avec l'absence de plasticité du béton de sable.

Tableau III.8 : Valeurs préconisées pour l'équivalent du sable [36].

N°	Equivalent de sable (%)	Observations
1	ESV < 65 ESP < 60	Sable argileux ; risque de retrait ou de gonflement de béton.
2	65 < ESV < 75 60 < ESP < 70	Sable légèrement argileux ; de propreté admissible.
3	75 < ESV < 85 70 < ESP < 80	Sable propre, convenant au béton à haute qualité.
4	ESV > 85 ESP > 80	Sable très propre ; absence de plasticité de béton.

III.2.3 Matériaux utilisés pour confections des éprouvettes des mortiers à base des granulats recyclés :

III.2.3 .1 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.9.

La préparation et l'obtention des classes granulaires se fait par concassage, criblage et tamisage.



Figure III .7 : Étapes de préparation des granulats du béton de démolition.

**III.2.3.2. Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301]:****V1=800 cm³ , V2=1010 cm³ et M=500g**

$$\rho = \frac{500}{1010 - 800} = 2.38 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

III.2.3 .3. Masse volumique apparente : Selon la Norme [NFP 18-554]

La masse volumique apparente est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

Tableau III.9 : Masse volumique apparente :

Masse récipient (g)	4320
Masse du sable (g)	6280
Masse volumique(g/cm ³)	1320.292/ (4320-6280) =1.485

1. Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598]**Tableau III.10 : Equivalent du sable (sable dune)**

Essai	h2(cm)	h1(cm)	M(g)	Es %
01	10.4	11.7	120	92.22
02	10.5	12	120	87.5

III.2.3.4. Analyse granulométrique par tamisage NF EN933-1 :**Tableau III.11: Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g 80% SR + 20%SD**

Dimension d'ouverture du Tamis (mm)	Poids de refus partiel (g)	Poids de refus cumule (g)	Pourcentage de refus cumule(%)	tamisit Pourcentage cumule de (%)
5	0	0	0	100
4	475	475	475/20 =23.75	76.25
2.5	1080	1555	77.75	22.5
1.25	11.23	1566	78.3	21.7
0.630	6.87	1573	78.65	21.35
0.315	7.75	1580.6	79.03	20.97
0.160	311	1891.6	94.58	5.42
0.08	93	1984.6	99.23	0.77
Fond				



Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 4}{100}$$

$$= 4.08$$

Tableau III.12 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g 60% SR + 40%SD

Dimension d'ouverture du Tamis (mm)	Poids de refus partiel (g)	Poids de refus cumule (g)	Pourcentage de refus cumule (%)	tamisé Pourcentage cumulé de (%)
5	0	0	0	100
4	430	430	21.5	78.5
2.5	760	1190	59.5	40.5
1.25	1	1191	59.55	40.45
0.630	0.88	1191.88	59.594	40.406
0.315	2.38	1194.26	59.713	40.287
0.160	730.80	1925.06	96.253	3.747
0.08	60.22	1985.28	99.264	0.736
Fond				

Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 4}{100}$$

$$= 3.35$$

Tableau III.14 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g 40% SR + 60%SD.

Dimension D'ouverture Du Tamis (Mm)	Poids De Refus Partiel (G)	Poids De Refus Cumule (G)	Pourcentage De Refus Cumule (%)	Tamisé Pourcentage Cumulé De (%)
5	0	0	0	100
4	290	290	14.5	85.5
2.5	500	790	39.5	60.5
1.25	1.29	791.29	39.564	60.436
0.630	0.30	791.59	39.58	60.42
0.315	144.80	936.39	46.8195	53.18
0.160	1005	1941.39	97.07	2.93
0.08	33.42	1974.81	98.74	1.26
Fond				



Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 4}{100}$$

$$Mf = 2.62$$

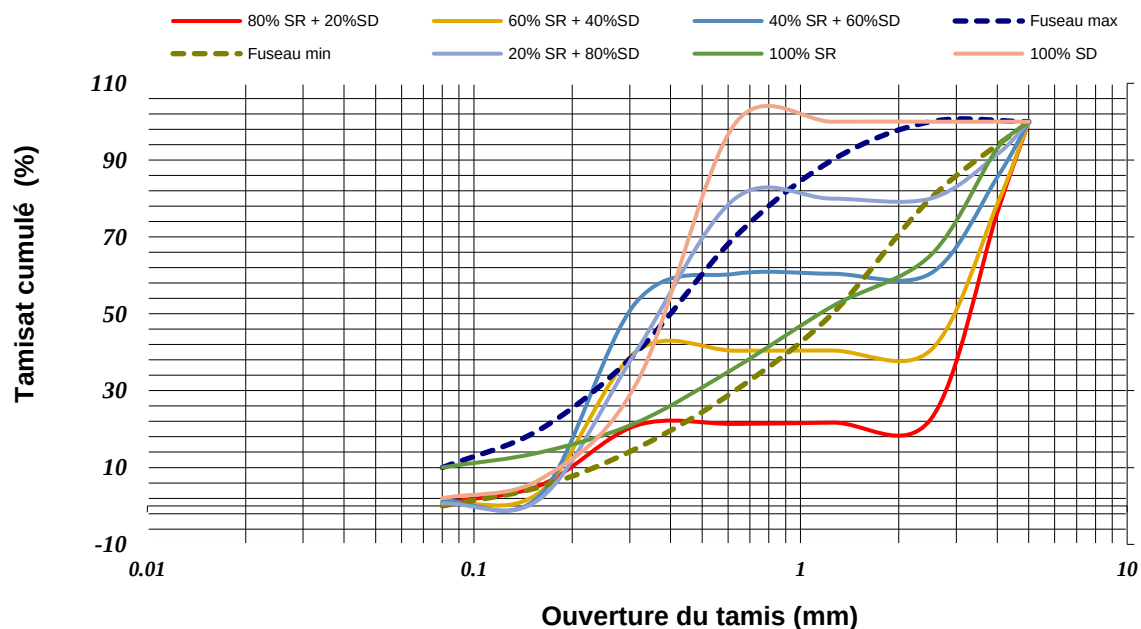
Tableau III.15 : Analyse Granulométrique Béton Recyclage 2000g (20% SR + 80%SD)

Dimension D'ouverture Du Tamis (mm)	Poids De Refus Partiel (g)	Poids De Refus Cumule (g)	Pourcentage De Refus Cumule (%)	Tamisé Pourcentage Cumule (%)
5	0	0	0	100
4	170	170	8.5	91.5
2.5	230	400	20	80
1.25	0.39	400.39	20.02	79.98
0.630	0.10	400.49	20.024	79.98
0.315	790	1190.49	59.52	40.48
0.160	770	1960.49	98.0245	1.9755
0.08	26.40	1986.89	99.34	0.66
Fond				

Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 4}{100}$$

$$= 2.176$$



**Tableau III.16 : Tamisat Pourcentage Cumule (%)**

Diamètre Tamis en (mm)	80% SR + 20%SD	60% SR + 40%SD	40% SR + 60%SD	20% SR + 80%SD
5	100	100	100	100
4	76.25	78.5	85.50	91.50
2.5	22.50	40.5	60.50	80.00
1.25	21.70	40.45	60.44	79.98
0.63	21.35	40.406	60.42	79.98
0.315	20.97	40.287	53.18	40.48
0.16	5.42	3.747	2.93	1.98
0.08	0.77	0.736	1.26	0.66

III.2.3.5. Essais d'analyse chimique :

La composition chimique détaillée d'un sol est de peu d'intérêt pour les projets BTP elle comprend les métaux organiques, PH, les sulfates, les carbonates et les chlorures et sel dissous dans l'eau.

III.2.3.6. Teneur en carbonate la norme NF P 94-048:

La détermination du taux de carbonate se fait à l'aide du Calcimètre de Dietrich-Frühling, Le but pour détermine le pourcentage de la fraction carbonatée contenue dans un sol, une roche ou un matériau, suivante la norme **NF P 94-048** (Octobre 1996), et utile pour les raisons suivantes Utilise comme indice pour évaluer la quantité de la craie, une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux, et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

- Dans les sols cimentés et les roches sédimentaires meubles, la teneur en carbonate indique le degrés de cimentations.
- C'est un indicateur du pourcentage de pierre concassée et déjà mélangée à du sable recyclé pour voir le taux de carbonate (% de carbonate dans roches élève).



Figure III.8: Calcimètre de Dietrich- Fröhling.

➤ **Mode d'essai :**

- Le flacon et la burette sont remplis d'eau distillée colorée par quelque goutte de bleu de méthylène de telle sorte que ce liquide atteint au préalable le niveau zéro dans la burette et dans le flacon.
- On recueille à partir de l'échantillon initial le tamisât passant par le tamis 0.2mm ensuite on prend une masse de 0,5g de substance, on la verse entièrement au fond d'un flacon et à l'aide d'une pince brucelles, on fait descendre prudemment un petit tube contenant 10 ml d'acide chloridrique à 10%.
- On branche bien le flacon à réaction à l'aide d'un bouchon à tubulure, l'air existant dans le flacon va entraîner le déplacement de la solution de la burette.
- On note le 1^{er} lecture soit V_1 , puis à ce moment on fait basculer l'acide sur la substance en inclinant le flacon, le gaz carbonique se dégage et exerce une autre pression sur le liquide on note la 2^{ème} lecture soit V_2

Calculer par la formule :

$$\% \text{Caco3} = \frac{V_2 - V_1}{115} \times 100$$



Où :

- $V_{\text{caco}} = 115$,

La réaction chimique de formation du carbonate peut être représentée comme suite :



Résultat : % Caco3 = **22.26 %**

III.2.4. L'eau de gâchage :

L'eau permet d'activer la réaction d'hydratation du ciment anhydre et donner une pâte cimentaire durcie. La quantité d'eau initiale est un paramètre de formulation qui conditionne les propriétés mécaniques (résistance, raideur...) et de transfert (porosité, perméabilité...). Ce paramètre est donné par le rapport massique de la quantité d'eau à celle du ciment, noté E/C. Ce rapport affecte également la saturation initiale du matériau, c'est-à-dire l'eau disponible dans le réseau poreux après hydratation.

L'eau utilisée pour la confection des mélanges de bétons est celle provenant du robinet en principe exempte d'impuretés. Il s'agit d'une eau potable. Sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées, quoi que le béton obtenu à une température environ 20 ± 2 °C . Sa qualité conforme aux prescriptions de la norme **NF P 18-303**.

III.2. 5. Adjuvant (Super plastifiant) NF EN 934-2:

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 2% du poids de ciment permet d'améliorer certaines de ses propriétés.

L'adjuvant utilisés dans ce contexte, est un super plastifiant haut réducteur d'eau de forme liquide ; couleur brai clair permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité il est fourni par l'entreprise GRANITEX et commercialisé sous le nom : MEDAFLOW 145, de densité 1.065 ± 0.015 , de PH entre 5-6 et de teneur en chlorure $< 1\text{g/l}$ et extrait sec $30 \pm 1,5$ % conforme à la norme **NF EN 934-2** et **NA 774**. Le pourcentage autorisé par le fabricant est de 0,3 – 2,0% de poids de ciment soit 0,33 à 1,8 litre pour 100Kg de ciment (voir annexe).

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

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 145 permet :

- Sur béton frais : Obtention d'un E/C très bas, béton plastique à fluides, une très bonne maniabilité, un long maintien de l'ouvrabilité et de faciliter la mise en œuvre du béton.
- Sur béton durci : Bonne résistance initial et finales, diminue la porosité, diminue le retrait et bel aspect de parement au décoffrage.



Figure III.9 : Adjuvant utilisés.

III.3 . Formulation Des Mortiers :

Après avoir définis les proportions du mortier, nous avons déterminé les compositions des (100% SR, 80% SR+20% SD, 60% SR+40% SD, 40% SR +60% SD, 20% SR+80% SD et 100% SD) 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 II.5).



Figure III.10. Moule de confection des éprouvettes 4×4×16 cm.

III.3.1 Compositions des mortiers :

La Compositions des mortiers normalisées pour 54 éprouvettes confectionnés est représenté dans les tableaux suivants :

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

Tableau III.17: Formulation d'un mortier normalisé

	Ciment (g)	L'eau (ml)	Sable (SD) (g)	Sable (SR) (g)	Adjuvant (Super plastifiant)
(100 % SR)	2640	1188	0	8000	39.6 (1.5%)
(100 % SD)	2640	1188	8000	0	39.6 (1.5%)
(80 % SR + 20 % SD)	2640	1188	1600	6400	39.6 (1.5%)
(60 % SR + 40 % SD)	2640	1188	3200	4800	39.6 (1.5%)
(40 % SR + 60 % SD)	2640	1188	4800	3200	39.6 (1.5%)
(20 % SR + 80 % SD)	2640	1188	6400	1600	39.6 (1.5%)



Figure III.11. Étapes de formation éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ cm.



Figure III.12. Étapes de formation éprouvettes 4×4×16 cm.

III.4 Modes opératoires des essais :

III.4.1. Essais sur mortier frais [25]:

III.4.1.1. Essai d'étalement à la table à choc La norme NF EN 12350-52 :

L'essai d'étalement à la table à choc est un essai réalisé sur le mortier de ciment frais fluide mais ayant vocation d'être mis en œuvre par vibration¹.

Le but de l'essai est de déterminer la consistance de ce mortier frais. L'étalement est aussi connu sous le nom de flow provenant de l'anglais. La table à choc est aussi appelée table DIN provenant de l'allemand.

- Mode opératoire:

Pour réaliser cet essai une table à choc et un cône sont utilisés. Le cône a un diamètre intérieur de base de 200 mm, un diamètre intérieur de sommet de 130 mm et une hauteur de 200 mm.

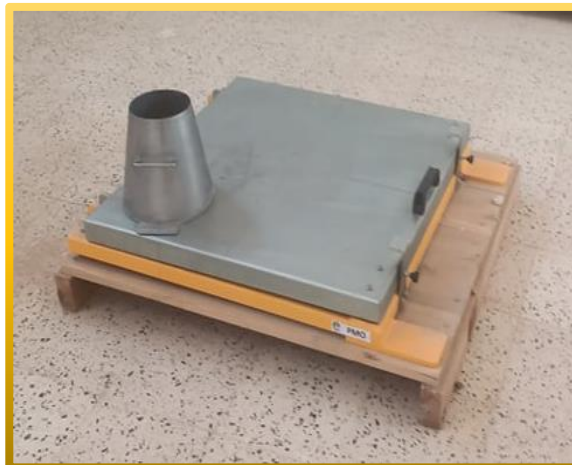


Figure III.12 : Table à choc, cône, seau et balayette

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- La table est mouillée avec de l'eau de gâchage ;
- Le cône est placé au centre de la table et rempli avec du béton frais en deux fois. À chaque fois, chaque couche est tapotée dix fois.
- Le cône est retiré après trente secondes d'attente, le béton s'étale sur la table ;
- La table est levée jusqu'à une hauteur de 40 mm puis laissée tombée quinze fois, le béton s'étale encore plus ;
- On mesure le diamètre le plus grand ainsi que le diamètre qui lui est perpendiculaire.

L'étalement est la moyenne de ces deux diamètres.



Figure III.13 : Table à choc.



Interprétation des résultats :

Plus l'étalement est important, plus le béton se mettra en place facilement.

La norme NF EN 206 classe l'étalement du béton en six groupes.

Classe	Étalement en mm	Propriété du béton
F1	≤ 340	Ferme
F2	350 - 410	Plastique
F3	420 - 480	Mou
F4	490 - 550	Très mou
F5	560 - 620	Fluide
F6	630 - 700	Très fluide

Au-dessus de 700 mm, on parle de béton autoplaçant et l'essai d'affaissement au cône d'Abrams est remplacé par l'essai d'étalement au cône d'Abrams.

III.4.1.2. Mesure de la densité réelle du mortier frais [24] :

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 : $\rho = (P - P_0) / V$

Avec :

P est la masse du récipient plein de béton (arase à l'aide d'une règle)

P₀ est la masse du récipient vide

ρ est la densité du béton frais et **V** le volume du récipient (8 litres).



Figure III.14 : Mesure de la densité.

III.4.2. Essais sur mortier durci :

III.4.2.1. Essai de compression [24] :

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 surfacage 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 $0,6 \text{ kN.s}^{-1}$ 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 :

$$\sigma_c = P_r / S$$

Avec :

P_r : l'effort enregistré au moment de la rupture de l'éprouvette

S : la section de l'éprouvette.



Photo III.15: Deux (02) Appareillages de la compression.

III.4.2.2. Essai de flexion [24] :

La résistance à la flexion a été effectuée sur des éprouvettes prismatiques du béton 7x7x28 Cm conformément à la norme **NF EN 12390-5** (NF EN 12390-5, 1999). Cet essai est réalisé avec une presse de marque UTEST de capacité 2000 kN la procédure de flexion aux trois points. La structure globale est représentée sur la Photo II.15.

L'essai est déroulé comme suit :

- Placer l'éprouvette 4x4x16 cm entre les appuis du support de flexion. La face latérale de l'éprouvette doit être en contact avec les appuis.

- après la mise en marche de la presse jusqu'à la rupture.
- Lire la valeur de force de rupture " F ".
- Refaire la même démarche pour les autres éprouvettes.

Application de la formule ci-après pour calculer la résistance à la flexion :

$$R_f = 3FL / 2b^3$$

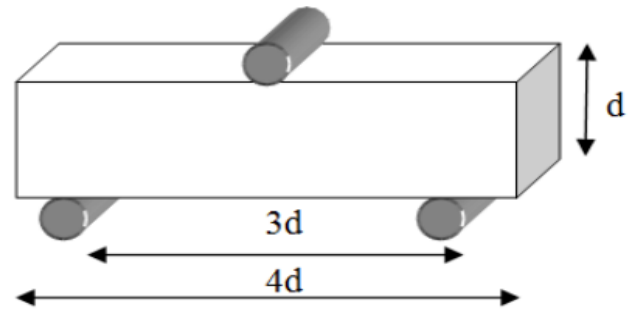
Où :

R_f: Résistance à la flexion en (MPa).

F : Force de rupture en Newton.

b : dimension de la section (b=40 mm)

L : longueur entre les deux appuis (L=100 mm). **Figure III.16 : Principe de l'essai de la flexion.**



On a fait l'essai aux échéances cités précédemment, comme nous l'avons vu au section précédant.



Figure III.17: Appareillage de la flexion.

III.4.2.3 Essai ultrasonique [24] :

Le matériel utilisé est l'appareil à ultrasons « Proceq Pundit Lab » (Photo II.16). 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 45°C, trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de béton. Ces mesures sont faites aux échéances 7, 28 et 60 jours.

Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran (Photo II.16). 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.18: Appareil à ultrasons (Proceq Pundit Lab).

III.4.2.4. Essai d'absorption par capillarité [26]

Parmi les essais de durabilité, Des échantillons de mortier de formes cubiques de 7x7x7 cm ont été sciés à partir de l'extrémité des éprouvettes prismatique 7x7 cm (Photo II.17). L'essai d'absorption capillaire a été inspiré des recommandations de l'Association Française de Génie Civil [Association Française Génie Civil, 2007]. Le mode opératoire se déroule comme suit :

- Sécher les échantillons dans une étuve à 70°C jusqu'à une masse constante telle que

$\Delta m/\text{jour} \leq 0.1\%$ pour assurer une dessiccation complète des échantillons.

- Imperméabiliser à l'aide de paraffine (ciré) toutes les faces extérieures des échantillons sauf la face qui sera étudiée et laisser jusqu'à séchage.
- Mesurer la masse sèche et placer les faces à étudier dans un bassin d'eau de 5 mm d'épaisseur.
- Mesurer la masse pondérale de l'conservation à le temps (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) min, 24h, 48h, 72h.
- Déterminer la quantité d'eau absorbée et la sorptivité .



Figure III.19: L'essai d'absorption par capillarité.

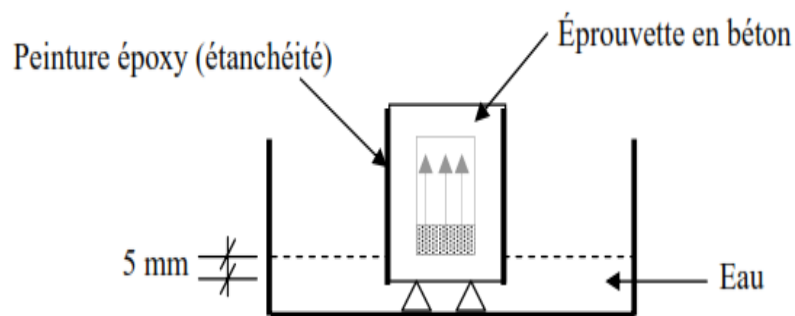


Figure III.20: Principe de l'essai d'absorption par capillaire.

Pour chaque échéance de mesure (t), le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante :

$$C_t = \frac{M_t - M_0}{A}$$



Où :

- C_t est le coefficient d'absorption à l'échéance t (g/cm^2),
- A est la section de l'éprouvette (cm^2),
- M_t est la masse à une échéance t (g),
- M_0 est la masse initiale de l'éprouvette (g).

Notons que cette opération a été mesurée à chaque échéance citée précédemment.

III.4.2.5. Essais de mesure de la Porosité, Absorption d'eau et la Perméabilité [26] :

La perméabilité et la porosité accessible à l'eau sont des indicateurs majeurs de la durabilité des bétons. En effet, ces deux paramètres caractérisent l'aptitude du matériau à laisser pénétrer et circuler des agents agressifs, que ce soit en phase liquide ou bien en phase gazeuse.

III.4.2.5.1 la Porosité : ASTM - C642 [26]

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton parmi cette méthode, la norme **ASTM** désignation **C642** et la norme **NF P18-459** (mars 2010).

Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.



Figure III.21: Types d'appareillages de pesée hydrostatique.

**■ Mode d'essai:**

➤ Séchage la étuve a 105⁰C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note **Msec**.

➤ Émersion de l'conservation à l'eau pendant 24

➤ Chauffage jusqu' a évolution pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillonnage l'air (soit **Mair** ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit **Meau** ce point).

■ Calcul de la porosité accessible à l'eau:

Calculer par la formule :

Où :

$$V_p = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

- **Vp** volume des vides (%),

- **Msec** poids de l'échantillon après étuvage (g),

- **Mair** poids à l'air immersion et ébullition (g),

- **Meau** poids à l'eau immersion et ébullition (g).

Notons que cette opération a été mesurée à chaque types de mélange citée précédemment.

III.4.2.5.2 Essai de retrait :

En l'absence de toute charge, le béton se déforme spontanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte de l'eau libre, par évaporation, qui se traduit par diminution du volume.

L'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du béton due aux vides d'air. Ces vides d'air sont beaucoup plus importants en présence des granulats poreux qui absorbent une quantité importante d'eau provoquant ainsi des retraits importants lors du durcissement ; d'où l'intérêt de l'étude du retrait.

Le retrait est, par définition, la différence entre la longueur de l'éprouvette aussitôt après démoulage et sa longueur, après séchage consécutif, dans des conditions parfaitement spécifiées.

L'essai de retrait a été réalisé conformément à la norme française NF P 18 - 427 [50]. Il consiste à mesurer en fonction du temps la variation de longueur d'une éprouvette prismatique (4x4x16 cm), par rapport à sa longueur initiale, placée dans un rétractomètre (Photo V-1) muni d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment. La longueur initiale (longueur de référence) est celle de prisme un jour après sa fabrication.



Figure III.22: Essai de Retrait.

Pour chaque éprouvette, la variation de longueur relative « dL » est calculée par différence entre la mesure initiale au démoulage et la mesure finale aux échéances spécifiées (1, 7, 28 et 60 jours).

La variation dimensionnelle de l'éprouvette « Vd », est définie par la formule suivante :

$$Vd = \frac{dL}{L} \quad (\text{en } \mu m/m)$$

Avec :

- dL : variation de longueur, exprimée en micromètres,
- L : longueur initiale entre les plots de mesure, exprimée en mètres.

Le retrait, à l'âge déterminé, est égal à la moyenne arithmétique, arrondie à la dizaine la plus proche, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvettes.



III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails tous les éléments de l'analyse expérimentale, en commençant par les caractérisations de différents constituants ; la formulation des bétons, la confection des éprouvettes, le mode opératoire et les différents essais mécaniques considérés dans ce travail. Les différents résultats obtenus à l'issue des tests effectués sont présentés et illustrés dans le chapitre suivant.



Chapitre IV:

Résultats et analyses





Chapitre IV : Analyse et Discussions des Résultats

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, en identifiant les propriétés des granulats recyclés et ayant un impact sur le comportement des mortiers ($M_{SR\%}$, $M_{80/20\%}$, $M_{60/40\%}$, $M_{40/60\%}$, $M_{20/80\%}$ et $M_{SD\%}$).

IV.2. Mortier à base de sable de dune et substitution par sable recyclé :

IV.2.1. Ouvrabilité :

La substitution de sable de dune avec le sable recyclé illustrée par la figure IV.1

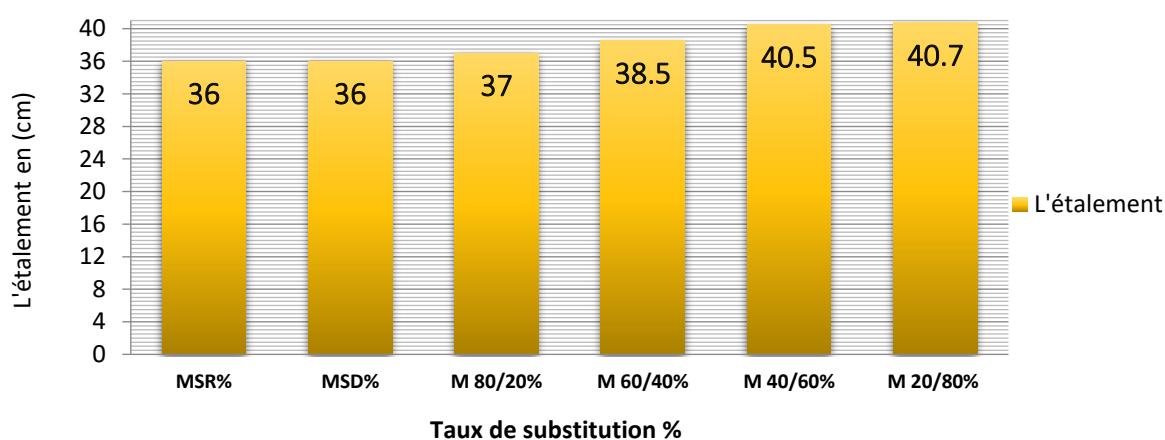


Figure IV.1: Influence du taux de substitution de sable recyclé sur l'ouvrabilité.

On remarque que les différentes formulations appartiennent au même palier de plasticité.

IV.2.2. Densité :

La variation de la densité des bétons en fonction du taux d'incorporation de fines de marbre sur les granulats recyclés de béton est présentée dans la figure IV.2.

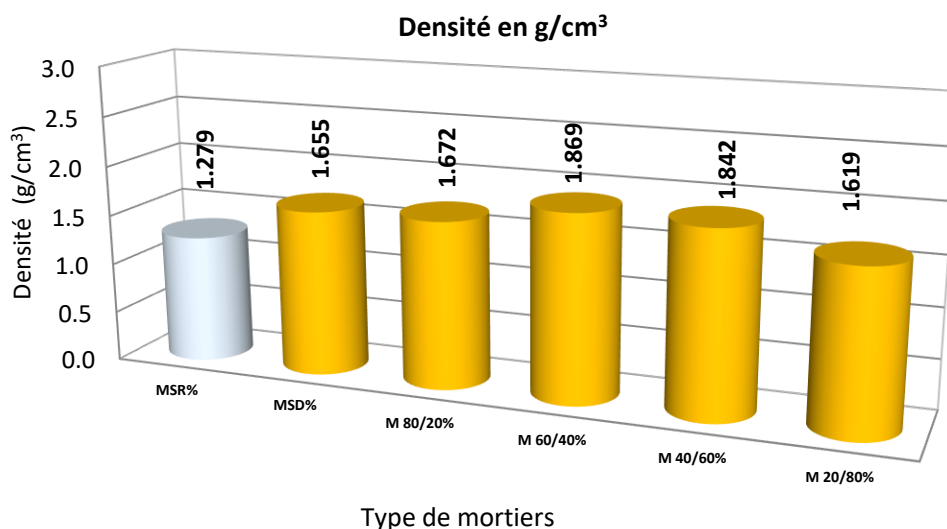


Figure IV.2 : Variation de la densité.

D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la densité avec l'augmentation de pourcentage de sable de dune pour réduire le volume des pores (la densité absolue de sable de dune 2,56% est plus élevée que la densité de sable recyclés 2,38%),

IV.2.3. Masse Volumique Absolue à l'état mortier durci :

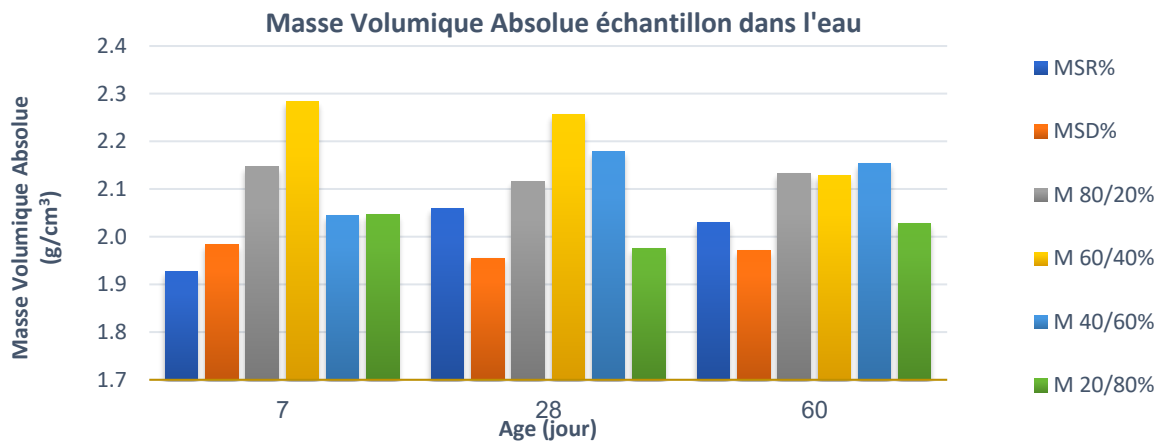


Figure IV.3 : Volumique Absolue conservation à l'eau.

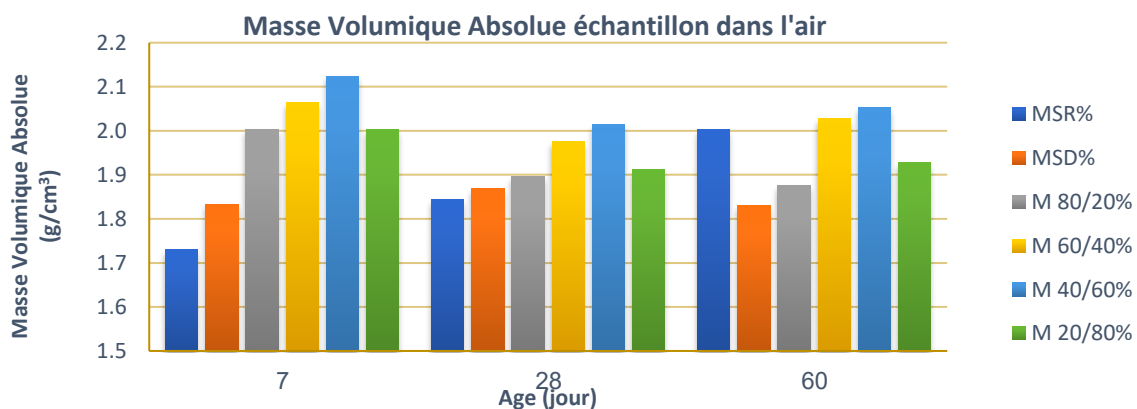


Figure IV.4 : Volumique Absolue conservation à l'air.

On remarque d'après le Figure IV.3 et .4 de la Masse Volumique Absolue à l'état mortier durci soit conservation dans l'eau ou dans l'air le mortier M40/60% enregistre la meilleure densité à 60 jours, par rapport les autres mélange cette aberration remarque simultanément avec les résistances mécaniques.

IV.2.4. Résistance à la compression :

La résistance à la compression est déduite par moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubiques de $(40 \times 40) \text{ cm}^2$ en béton à base de granulats recyclés (béton démolé) pour chaque mélange, soit à 07j, 28j et à 60 jour de cure sont présentés dans la Figure IV.5.

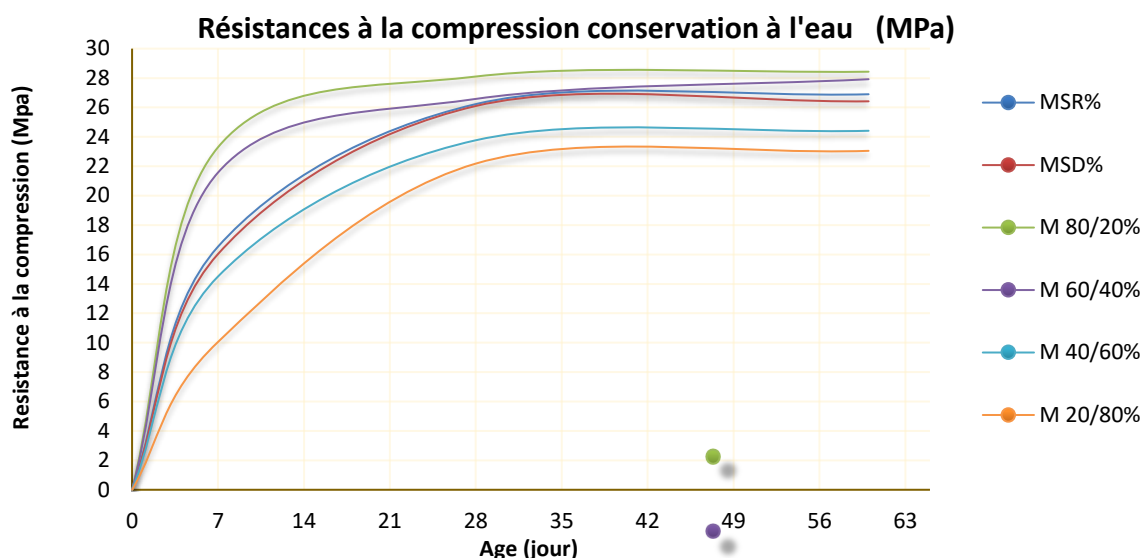


Figure IV.5 : Résistances à la compression conservation à l'eau (MPa).

La résistance à la compression des mortiers augmente avec l'augmentation du taux de substitution de sable de dune jusqu'à une certaine proportion entre 40 et 60 % de sable de dune au-delà de cette valeur la résistance chute jusqu'à la substitution à 80% SD respectivement à l'échéancier 7, 28 et 60 jours.

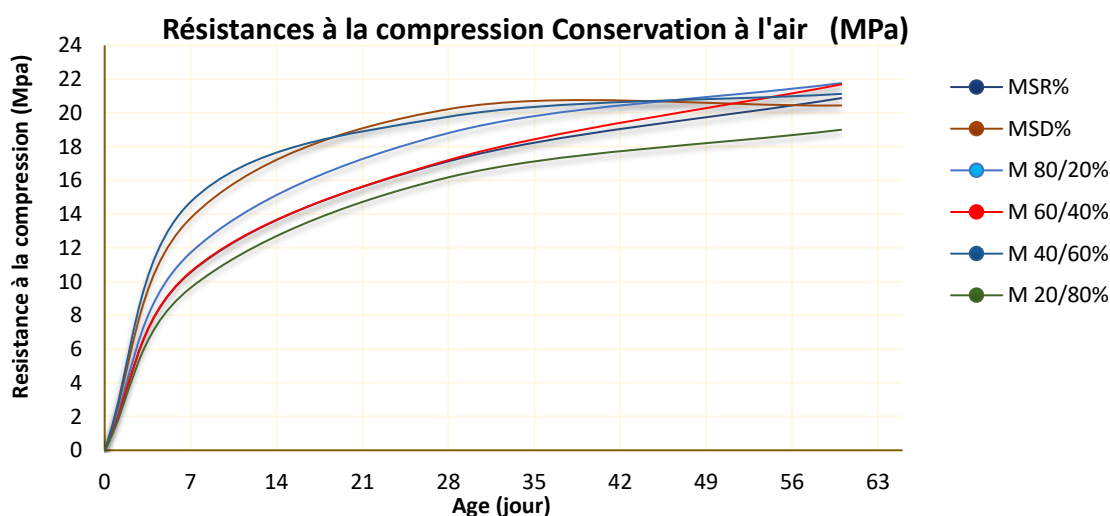


Figure IV.6 : Résistances à la compression conservation à l'air (MPa)

On remarque que la résistance à la compression des mortiers augmente avec l'augmentation du taux de substitution de sable de dune jusqu'à une certaine proportion entre 40 et 60 % de sable de dune au-delà de cette valeur la résistance chute jusqu'à la substitution à 80% SD respectivement à l'échéancier 7, 28 et 60 jours. On a constaté que mortier de type 60%SR+40%SD a donné la meilleure résistance à la compression (sous l'eau et à l'air libre) à 7, 28 et 60 jours respectivement.



IV .2.5. Résistance à la flexion :

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, 28j et à 60 jours de cure.

Les courbes de la figure IV.7 et IV.8 présentent 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 :

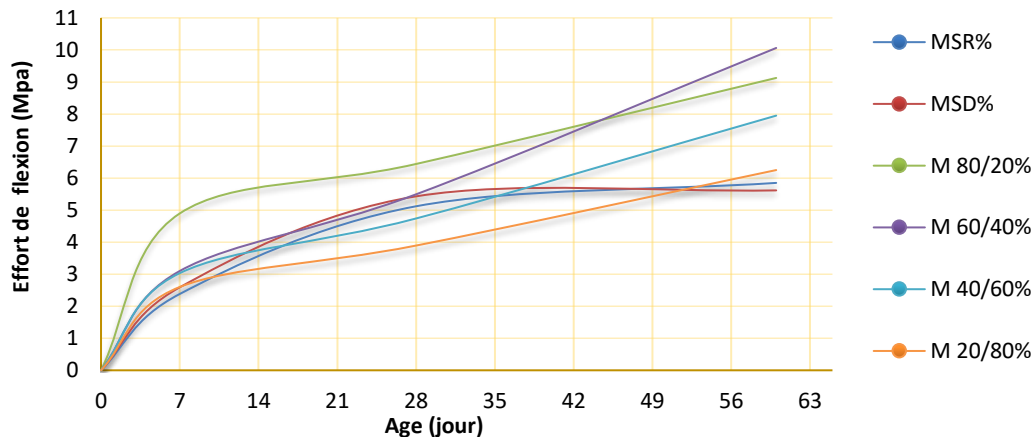


Figure IV.7 : Résistances à la Flexion Conservation à l'eau (MPa).

On remarque il y a une évolution dans la résistance à la flexion jusqu'à la dernière échéancier (60 jours) ce que prouve l'efficacité de l'existence de sable de dune dans ces types de mortiers sauf les mortiers 80%SR+ 20%SD qui ont présenté une perte de 9.30 % par rapport à la résistance à 60j, La résistance à la flexion augmente avec l'échéancier des essais dans tous les types de mortiers étudiés.

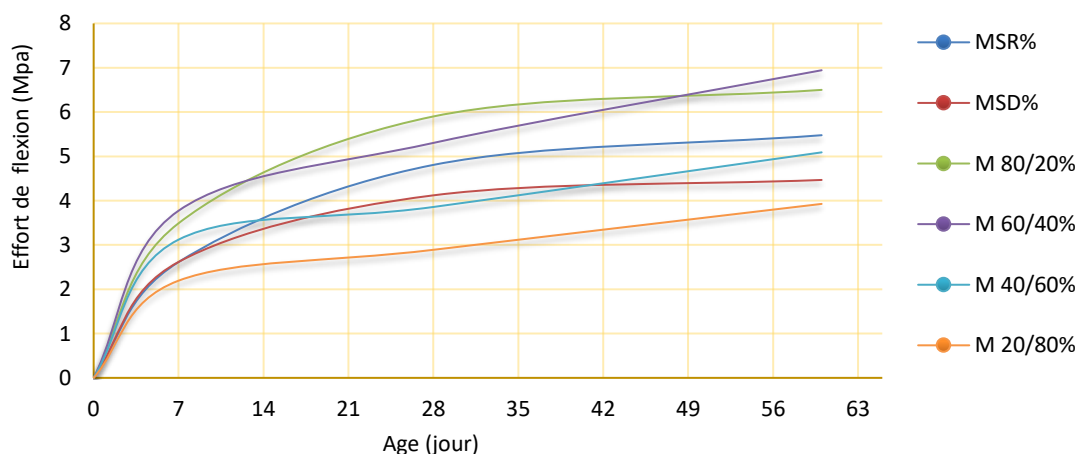


Figure IV.8 : Résistances à la Flexion Conservation à l'air (MPa).

On remarqué il y a une évolution dans la résistance à la flexion jusqu'à la dernière échéancier (60 jours) ce que prouve l'efficacité de l'existence de sable de dune dans ces types de mortiers,



et on constate que le mortiers types 60%SR+40%SD qui donne la meilleure résistance à la flexion dans les deux cas de conservation à l'eau et à l'air à 60 jours.

IV.2.6 Vitesse ultrasonique :

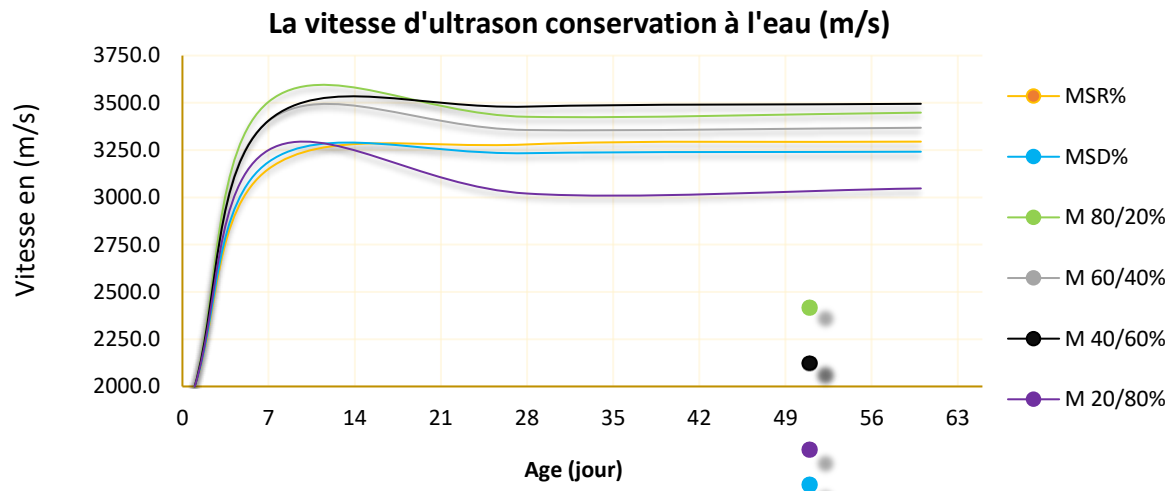


Figure IV.9 : Résistances à la compression Conservation à l'eau (m/s).

La figure IV.9 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 analogue 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.

Ces résultats sont en coordination avec ceux qui obtenue à partir des essais d'écrasement (figure IV.9), d'où les mortiers qui ont des vitesses élevées ont logiquement des résistances élevées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec 60%SR + 40%SD et 80%SR + 20%SD.

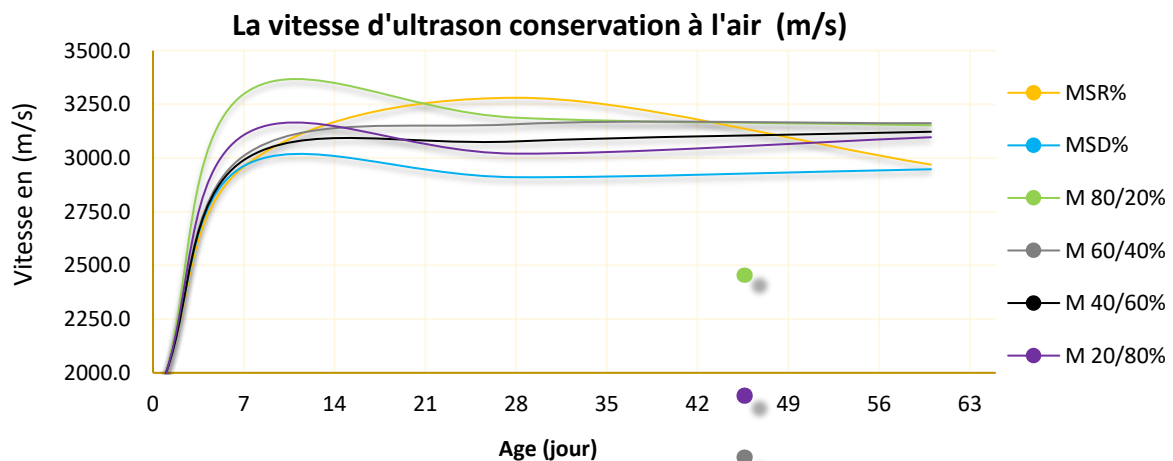


Figure IV.10 : Résistances à la compression Conservation à l'air (m/s).

On remarque que tous les mortiers ont une cinétique analogique en ce qui concerne l'évolution de la vitesse d'ultrason dans le temps, mais avec des valeurs différentes, Ces résultats sont en coordination avec ceux obtenu à partir des essais d'écrasement (figure IV.10), d'où les mortiers qui ont des vitesses élevées ont logiquement des résistances élevées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec M80/20% et M60/40% à 60 jours de conservation, et on constate une diminution de la vitesse ultrasonique pour le mortier MSR% de 9,48% de 60j de conservation par rapport à 28j de conservation, cependant on constate que la conservation à l'eau qui donne la meilleure vitesse par rapport à la conservation à l'air et cette constatation observée simultanément avec les essais mécaniques, compression et flexion et les essais physiques.

IV.2.7. 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 (28 et 60 jours) de mesure (t). L'influence du taux de substitution des sables recyclés sur l'absorption d'eau par capillarité des différents types de mortiers. Les résultats obtenus sont résumés dans Figure IV.11.

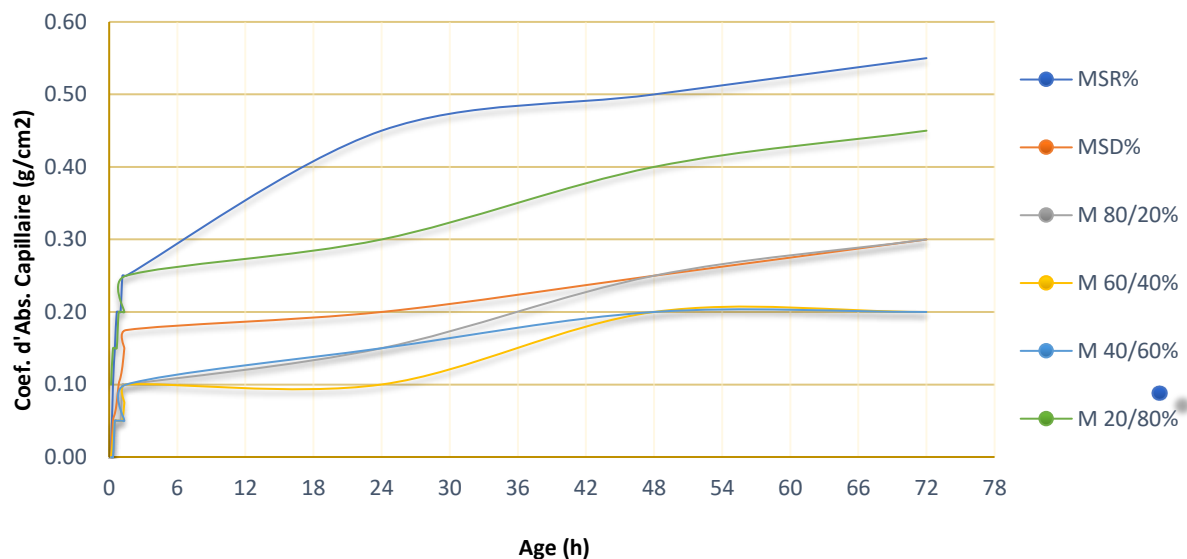


Figure IV.11: L'absorption par capillarité à 28 jours d'âge de chaque type de mortier.

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption dans le temps, et ce pour tous les mélanges. On remarque que les mortiers de référence MSR% et MSD% est celui qui a le coefficient d'absorption le plus grand par rapport aux autres compositions, alors que le coefficient d'absorption des autres mélanges est plus petit, mais cette diminution traduite par les bonnes substitutions de pourcentage de sable recyclé qui colmaté les pores et augmente la résistance à la compression R_c .

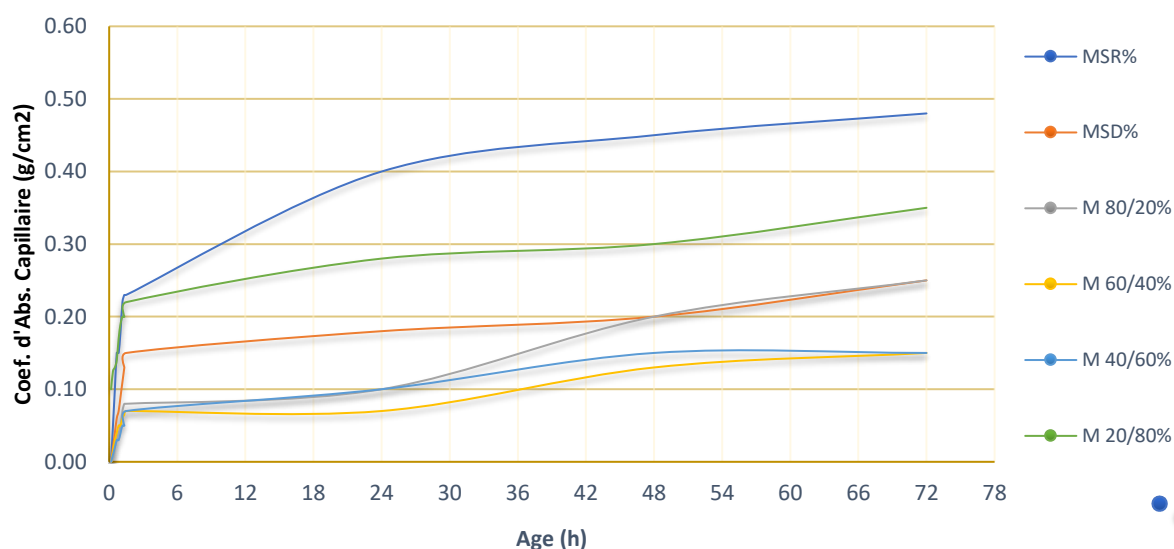


Figure IV.12. L'absorption par capillarité à 60 jours d'âge de chaque type de mortier.

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorption dans le temps, et ce pour tous les mélanges. On remarque que le MSR% est celui qui a le coefficient d'absorption le plus grand par rapport aux autres mélanges.

Le mortier M60/40% et M40/60% a enregistré une diminution de    40%, 40%, 57.14% et 68.75% par rapport à M80/20%, MSD%, M20/80% et MSR% respectivement.

Généralement on conclut que l'absorption capillaire l'âge 28 et 60 jours, les mortiers M60/40% et M40/60% 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 laissent 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 M60/40% et M40/60%, les mélanges les plus favorises.

IV.2.8. Porosité :

las porosité d'eau sont des paramètres indicateurs de la durabilité des mortiers, car ils traduisent la capacité des substances agressives qui pénétré et endommagé les mortiers. Le tableau III.7 regroupe l'ensemble des résultats obtenus de la porosité accessible à l'eau des mortiers testés.

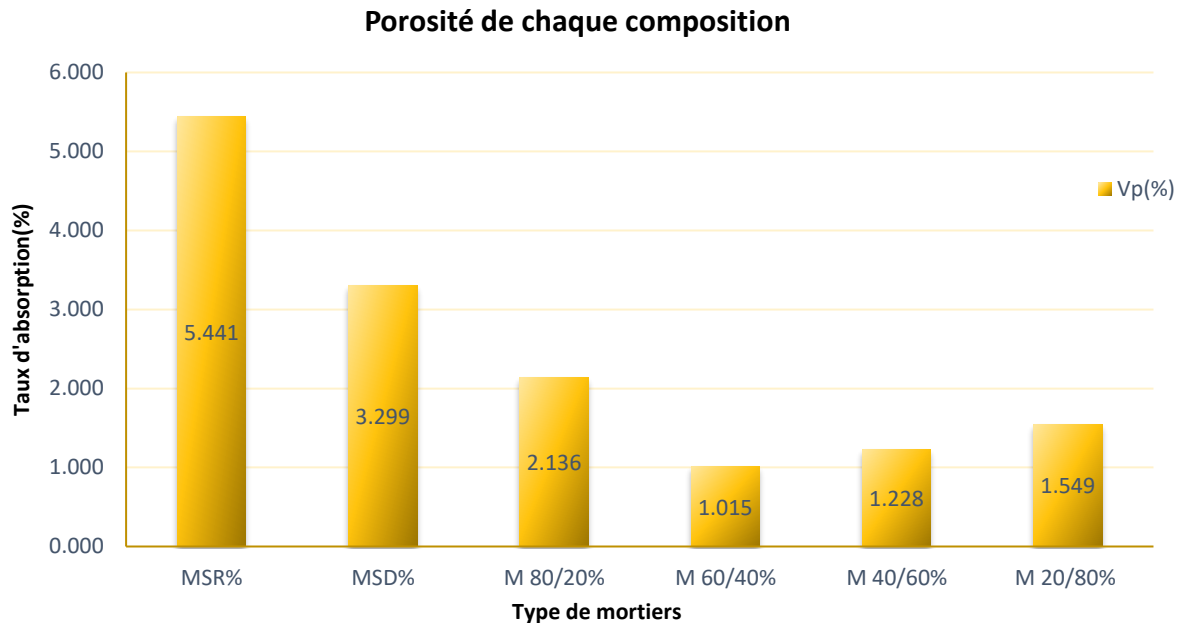


Figure IV.13. : Porosité de chaque composition.

On remarque d'après le paramètre de durabilité (porosité) que les résultats sont en coordination avec l'absorption capillaire de mortier MSR% (mortier témoin). Les mortiers les plus poreux sont les mortiers qui absorbent plus d'eau.

Les mortiers MSR% et MSD% ont une porosité élevée comparativement aux autres compositions des mortiers, les meilleurs résultats pour la porosité sont obtenus avec le mortier M60/40%, d'où on constate un écart d'ordre 81,30% par rapport MSR%.

On peut expliquer cette porosité des mortiers une fois par l'augmentation du pourcentage du sable recycle et par fois sur l'augmentation de pourcentage de sable de dune de type de mortiers M80/20 et M20/80 respectivement. Quantité d'eau de gâchage pour assurer une maniabilité, lors de la prise du durcissement du mortier, l'eau qui ne réagit pas avec le ciment, va progressivement s'évaporer et laisser la place à la porosité ce qui explique le taux élevé de l'absorption d'eau, et spécifiquement dans les mortiers M40/60% et M60/40%.

IV.2.9. Le retrait des éprouvettes :

Le retrait du béton ou mortier correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise du béton ou mortier. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par un ferrailage approprié et par des joints, ces variations dimensionnelles



engendrent l'apparition de fissures. Les fissures dues au retrait ne doivent pas être confondues avec les fissures liées à la fonctionnalité des ouvrages (dus à l'application d'efforts trop importants par exemple). Celles-ci étant maîtrisées par les règles de calcul du béton armé. Il existe 4 types de retrait dans le béton, Le retrait de séchage (encore appelé retrait de dessiccation), Le retrait plastique, Le retrait endogène (encore appelé retrait d'autodessiccation, ou retrait chimique d'hydratation du ciment) et Le retrait thermique. Ces 4 types de retrait peuvent se cumuler à l'échelle d'un même béton (on parle ainsi du retrait total comme la somme des différents retraits). Le retrait d'auto dessiccation et le retrait thermique intéressent la masse du béton, alors que les deux autres types de retrait concernent la surface libre de l'ouvrage en béton.

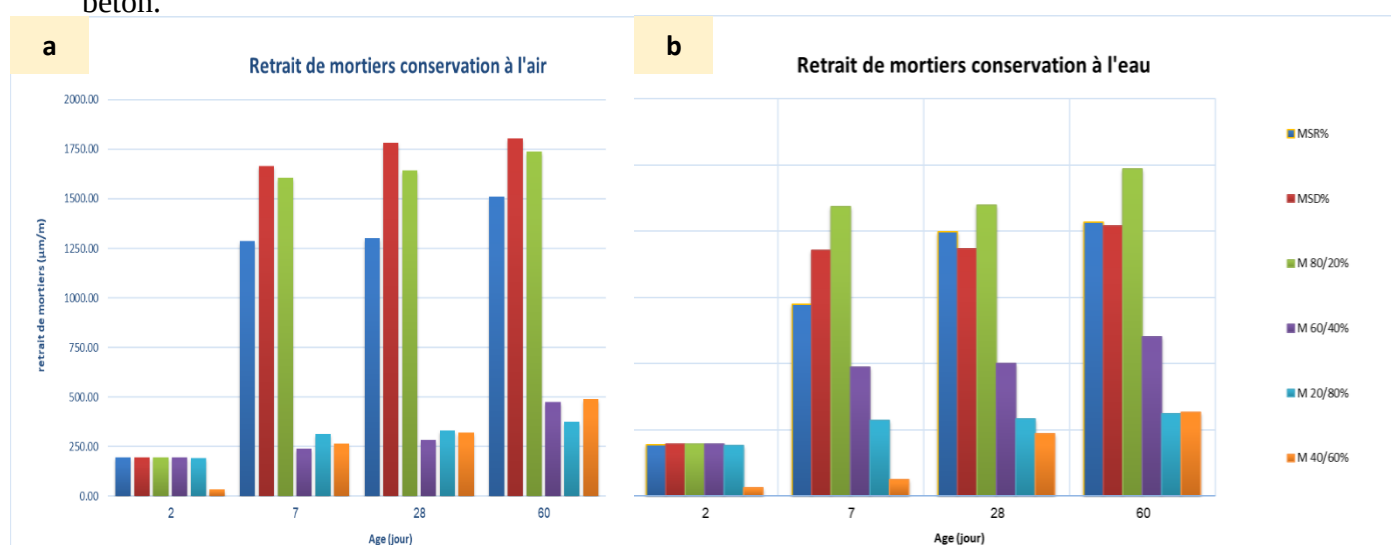


Figure IV.14 : Le retrait des différents types des mortiers

(a) conservation à l'air (b) conservation à l'eau.

L'amélioration observée dans le retrait des échantillons de mortier M40/60% et M20/80% par rapport au retrait du mortier des différentes compositions étudiées, que nous considérons comme des échantillons de référence pour les deux types de conservation comme nous les avons exposés dans la figure IV.14 (a et b)

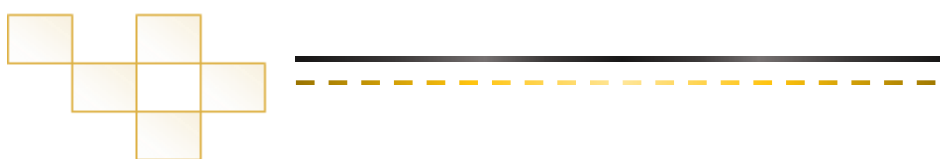
A l'âge de 28 et 60 jours, cette amélioration est due à la composition granulaire du sable de dune et recyclé avec des taux de remplacement (40SR+60SD et 20% SR+80% SD), qui présente un large gradient granulaire, car plus le gradient granulaire a tendance à s'étendre et à s'étendre, plus la surface sur laquelle la pâte de ciment sera petite occupent, et puisque le retrait se situe dans la pâte de ciment intergranulaire, ce qui explique le taux d'amélioration du dégonflement. Selon la norme NFP15-433 [34], pour un mortier ordinaire la valeur de retrait ne doit pas dépasser 1000 µm/m à 28 jours d'âge. En outre, les conditions de conservation soient dans une humidité relative estimée à (50± 5%) et une température de (20 ±2°C). La température de



Conservation des éprouvettes au laboratoire est (30 ± 5 °C). Les résultats obtenus sont de l'ordre de 1782 $\mu\text{m}/\text{m}$ et 1098 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les échantillons conservés à l'air et l'eau à 28j respectivement, et qui est légèrement supérieur à 1000 et qui peuvent être considéré comme relativement acceptable pour la conservation à l'eau.

IV.3. Conclusion :

Après cette campagne d'évaluation (les résistances mécaniques, l'ultrason, l'absorption capillaire, la porosité et le retrait) nous avons constaté que la formulation M40/60% et M60/40% ont donné des résultats performants par rapport aux autres formulations. Cependant, et concernant le retrait. On peut dire que la composition M20/80% a obtenu la minimale valeur.



Conclusion générale





Conclusion générale

Ce travail de recherche rentre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux de démolition et le sable de dune en tant que source de granulats pour confectionner des éprouvettes des mortiers. Dans ce contexte, l'intérêt économique et écologique sont extrêmement présents.

✓ Les résistances mécaniques, à la compression et à la flexion à tout âge à 60 jours, des mortiers avec adjuvants à base du sable de dune substitution par granulats recyclés avec différentes fractions, sont acceptables par rapport à celles des mortiers à base SD% et SR%. Ces performances mécaniques mettent en évidence, que les granulats recyclés peuvent fournir des mortiers de résistance caractéristique à 60 jours en compression et en flexion dans les limites de 25 à 28 MPa et 9 à 10 MPa respectivement.

✓ 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 et 60 jours le mortier M60/40% et M40/60% 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.

✓ La porosité importante de composition à granulats recyclés MSR% a conduit à un fort taux d'absorption, qui a atteint 05 fois celui des mélanges M60/40% et M40/60% et granulats de sable de dune MSD% ce qui a conduit à un fort taux d'absorption, qui a atteint 03 fois celui des mélanges M60/40% et M40/60%, celui-ci a affecté le comportement rhéologique et physico-mécanique du mortier frais et durci qui compromettrait la durabilité de ces mortiers surtout s'ils seront utilisés dans des milieux agressifs.

✓ L'incorporation d'un superplastifiant MEDAFLOW 145, n'a pas donné d'amélioration significative escomptée que ce soit en gain sur le dosage en eau ou l'amélioration des performances mécaniques des bétons recyclés, contrairement aux bétons naturels. Economiquement l'utilisation des adjuvants dans les bétons recyclés est dispensable.

✓ Les mortiers M40/60% et M20/80% permettent d'avoir une bonne compacité et un meilleur taux de diminution de retrait, cela passe notamment par l'augmentation du diamètre du granulat utilisé et un large gradient granulaire.



✓ On a pu mettre en évidence la faisabilité des granulats recyclés et sable de dune comme substituts aux granulats naturels, tant que sur le plan de l'exploitation des ressources naturels que sur celui de l'environnement et de l'économie.

✓ Enfin l'ajout de sable de dune ou la substitution du sable recycle par le sable de dune présente le double avantage d'une part augmenter les performances mécaniques des mortiers, d'autres part remplacer un matériau tarissable et surexploité (sable alluvionnaire) par un matériau abondant et sous-exploité.

Les perspectives et recommandations:

- Confronter les résultats obtenus en laboratoire avec ceux de chantier à grand échelle.
- Etude de la microstructure des bétons recyclés.
- Etude de la durabilité de ces mortiers.



Références bibliographiques





Références bibliographiques

[1]- KEDDAM LYDIA " Caractérisation expérimentale des mortiers à base de poudre de marbre" mémoire master, Tizi-ouzou, université Mouloud Mammeri, 2016/2017.

[2]- CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Am principe Paris, Édition 2005.

[3]- A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, Editions MIR. MOSCU.

[4]- MICHEL VENUAT, " La pratique des ciments mortiers et bétons ", Tome 1, Caractéristiques des liants et des bétons, Mise en oeuvre des coulis et mortiers, Editions du Moniteur.

[05] - GEORGES DREUX, JEAN FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants» huitième édition ,2002.

[06] LARBI Walid cours du conservatoire National des arts et Métiers matériaux de construction Enseignant responsable

[07] cours de matériaux de constructions génie civil ; PDF

[08] AYADI Walid abdelghani, GUENOUNE Abdelmalek," Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire", Mémoire Master en :Génie des Matériaux Option : Sciences des matériaux-pour la construction durable UNIVERSITE M'HAMED BOUGARABOUMERDES.

[09] Nasser Sofien,"Etude expérimentale d'un mortier renforcé par des fibres végétales" Mémoire de Master Académique Option : Structure- Université Mouloud Mammeri –Tizi Ouzou,2019.

[10] -Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.

[11] COURS DE MDC : « LES GRANULAT », Université De Setif, (www.univ-setif.dz).

[12] : BERREDJEM Layachi : « le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et comportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces recyclé ». Mémoire de magister, Annaba, p 7,2009.

[13] : A. M. NEVILLE : « Propriétés des bétons », traduit par le CRIB, Edition



Eyrolles, 2000.

[14] : Rappel sur les granulats : « Cours Géomatériaux », (alonet.yolasite.com).

[15] : EN 13055-1 : Granulats légers — Partie 1 : Granulats légers pour bétons et mortiers, 2002.

[16] CHAUVIN, J.J. Les sables : guide technique d'utilisation routière. ISTED, 76 p. France, 1987.

[17] GUENNOUN. R, « Etude et formulation d'un béton de sable de dune » Alger, juin 2003.

[18] KHETAB. R, « valorisation du sable de dune » thèse de doctorat, Alger, année 2006.

[19] REZIG. SALIMA, « Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux » mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra, année 2012.

[20] MEKHERMECHE. A, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2012.

[21] Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI, " Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses" Mémoire de Fin d'Etudes, Université Ziane Achour de Djelfa, année 2016.

[22] AZZOUZ. Hocine, « Etude des bétons à base des sables de dune » mémoire de magister, université Mohamed kheider Biskra, année 2009.

[23] GUERMITI. LAID, « contribution à l'amélioration certaines caractéristiques du béton de structure a base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2013.

[24] ZERIG T, KIREM M. S., Etude de la possibilité de recyclage du béton de démolition avec l'incorporation de fines de marbre, thème de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2020.

[25] DJEDID T, A. Guetta la, M. Mani. Study of the workability and mechanical strength of concrete in the face of upwelling (Case of the El Oued region of Algeria. J Fundam Appl Sci.11(1), 368-384. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v11i1.24>. ISSN 1112-9867, 2019.

[26] DJEDID T, Durabilité Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khider Biska ,Jan 2020.



Annexe





ماتين MATINE

ALGÉRIE



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

LH A member of
LafargeHolcim

**APPLICATIONS RECOMMANDÉES**

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance

**FORMULATION CONSEILLÉE**

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
		0/5	8/15mm 15/25mm	
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+  X7	+  X5 +  X4	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	8.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



L A member of
LafargeHolcim

Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

