

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

Département de : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

C:.....

R:.....

Effet de remplacement partiel de ciment par poudre de verre ou charbon actif à base de noyau de datte sur les performances du mortier.

Présenté par :

- ❖ **BENLARBI Mohammed Hani**
- ❖ **KAMEL Mohammed Cherif**

Soumis au jury composé de :

TALMATKADI Fatiha	M.A.A	UKMO	Présidente
BOUCHERBA Mohamed	Doctorant/Ingénieur expert	UKMO/LTPS	Examineur
SAGGAI Sofiane	M.C.A	UKMO	Encadreur

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Moment mythique de l'étudiant, la rédaction des remerciements, instant clé car symbole de l'aboutissement de ce travail. Nous y voilà, donc à notre tour de remercier avec grand plaisir tous ceux qui nous ont permis de parvenir au bout de ce mémoire.

Nous remercions en priorité DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toute cette période expérimentale et de rédaction.

Nos vifs remerciements et nos respects les plus distingués vont à notre encadreur Dr. SEGGAI Sofiane pour le savoir et l'expérience qu'il nous a apportés aussi bien en génie civil qu'en de nombreux autres domaines. Nous tenons également à saluer sa disponibilité durant cette période difficile. Enfin nous le remercions pour la confiance qu'il nous a accordée, elle était accompagnée d'un soutien sans lequel il nous aurait été difficile d'achever ce travail.

Nous tenons à remercier également le personnel du laboratoire Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah Ouargla, particulièrement Monsieur KCHIRAD Ali qui nous a beaucoup aidés aux cours des essais expérimentaux.

C'est avec un grand plaisir que nous adressons nos remerciements Dr.Salhi enseignant au département de Genie civil et Hydraulique la faculté des sciences et de la technologie de l'université Kasdi Merbah-Ouargla, pour nous avoir l'honneur en acceptant de présider le jury.

Nous remercions les enseignants, Mme TALMATKADI Fatiha et Mr BOUCHERBA Mohamed d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble du personnel du Laboratoire Travaux Publiques du Sud à Ouargla

Nous n'oublierons pas le personnel du laboratoire de recherches.

Nous remercions chaleureusement, également, notre enseignante Dr. BENLARBI Dalila pour ses conseils judicieux, ses orientations et son encouragement tout au long de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département de génie civil et hydraulique de l'université de Ouargla pour la formation qu'ils nous ont assurée tout au long de notre cursus universitaire .

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Hommages et Dédicaces



**Je rends grâce à ALLAH le TOUT PUISSANT pour tous les bienfaits dont
il m'a comblé**

**Au terme de ce travail, il m'est agréable de dédier ce travail qui n'aurait
jamais vu la lumière sans leur contribution efficace, leur appui, leur soutien
moral et leurs encouragements :**

**Many qui s'est éteinte bien avant ce jour mémorable, je lui dois beaucoup
et souhaite lui exprimer mon admiration et ma reconnaissance en lui dédiant
ce travail.**

**Une dédicace spéciale pour ma Tante Dadou, je voudrais lui montrer que
sa contribution n'a pas été vaine. Je lui suis redevable et reconnaissant.**

**Ma mère qui a toujours été à mes côtés depuis ma naissance. La
réalisation de ce mémoire est le fruit de tous ses efforts et encouragements.**

**Je dédie aussi ce travail à mon père qui a accompagné au quotidien mes
doutes et mes enthousiasmes.**

**Bien sûr, je n'oublie pas ma sœur Remykia-Kafia et mon frère Mehdi qui
étaient vraiment pressés de voir ce jour.**

**Parvenir au bout de ce mémoire c'est aussi, quelque part, essayer de faire
honneur à la générosité de leurs mains tendues et de leurs écoutes attentives
et patientes.**

 *Benlarbi Mohamed Hani*

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
I. - RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I.1 Remplacement de matériau de mortier par des déchets solides.....	3
I.1.1 Remplacement par le caoutchouc	3
I.1.2 Remplacement par la poudrette de marbre.....	4
I.1.3 Remplacement par le caoutchouc et la poudrette de marbre.....	4
I.1.4 Remplacement par la pouzzolane naturelle.....	5
I.1.5 Remplacement par le stérile de charbon	5
I.1.6 Remplacement par la poudre de verre	6
I.2 Mortier	7
I.2.1 Définition	7
I.2.2 Utilisation du mortier	7
I.2.3 Composition du mortier	9
I.2.3.1 Liant	9
I.2.3.2 Granulats	9
I.2.3.3 Eau de gâchage	10
I.2.3.4 Adjuvants	10
I.3 Verre.....	11
I.3.1 Origine du verre.....	11
I.3.2 Définition du verre.....	11
I.3.3 Type du verre industriel	12
I.3.3.1 Verre ordinaire.....	12
I.3.3.2 Verre de sécurité.....	14
I.3.4 Propriétés du verre	15
I.3.5 Utilisation de verre en génie civil.....	16
I.3.5.1 Le verre et les routes.....	16
I.3.5.2 Le verre et les bâtiments	17
I.3.6 Verre issu de recyclage	18
I.3.7 Poudre de verre.....	19
I.4 Ciment	20
I.4.1 Introduction	20
I.4.2 Définition	20

I.4.3	Familles de ciment	21
I.4.3.1	Ciments Portland :	21
I.4.3.2	Ciments alumineux :	21
I.4.4	Techniques de fabrication du ciment	22
I.4.4.1	Extraction des matières premières	22
I.4.4.2	Stockage et broyage des matières premières	23
I.4.4.3	Cuisson pour obtention du clinker	24
I.4.4.4	Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment	25
I.4.4.5	Stockage, ensachage et expédition	25
I.5	Noyaux des dattes.....	26
I.5.1	Généralités sur le palmier dattier Phoenixdactylifera L.....	26
I.5.2	Répartition géographique de palmier dattier	27
I.5.2.1	Répartition géographique de palmier dattier dans le monde.....	27
I.5.2.2	Répartition géographique de palmier dattier en Algérie.....	27
I.5.3	Production des dattes	28
I.5.3.1	Production mondiale des dattes	28
I.5.3.2	Production des dattes en Algérie	28
I.5.4	Dattes	29
I.5.4.1	Définition	29
I.5.4.2	Variétés des dattes	29
I.5.4.2.1	Variété Deglet Nour	29
I.5.4.2.2	Variétés Ghars.....	30
I.5.4.2.3	Meche-Degla.....	31
I.5.5	Noyau de datte.....	31
I.5.5.1	Généralités sur le noyau de datte.....	31
I.5.5.2	Valorisation de noyau de datte	32
I.5.5.2.1	Fabrication du charbon actif	32
I.5.5.2.2	Fabrication du pain.....	33
I.5.5.2.3	Extraction de polysaccharides.....	33
I.5.5.2.4	Alimentation animale	33
I.5.5.2.5	Huile de noyaux de datte	34
I.6	Eau de gâchage.....	34
I.7	Sable	34

I.7.1	Définition	34
I.7.2	Origine des sables	34
I.7.3	Différents types de sables :	35
I.7.3.1	Sable d'origine naturelle :	35
I.7.3.2	Sables non alluvionnaires (sable de dune)	36
I.7.3.3	Sables d'origine artificielle	36
I.7.4	Différents constituants du sable.....	37
I.7.4.1	Silicium	37
I.7.4.2	Silice (ou quartz SiO ₂)	37
I.7.4.3	Silicates	37
I.7.4.4	Argiles	38
I.7.4.5	Carbonates	38
I.7.5	Classification des sables.....	38
I.7.5.1	Granularité.....	38
I.7.5.2	Propreté et la teneur en fines.	38
I.7.5.3	Nature minéralogique.....	38
I.7.5.4	Provenances.....	38
I.7.6	Caractéristiques de sable	40
I.7.7	Principales applications de sable	41
I.8	Déchets solides.....	44
I.8.1	Définition des déchets solides :	44
I.8.2	Types des déchets solides.....	45
I.8.2.1	Déchets solides ménagers	45
I.8.2.2	Déchets agricoles et animaux	46
I.8.3	Déchets du bâtiment et des travaux publics (Déchets de la construction)	46
I.8.3.1	Déchets inertes.....	47
I.8.3.2	Déchets dangereux.....	47
I.8.3.3	Déchets non dangereux non inertes (déchets banals)	48
II.	METHODE ET MATERIAUX	50
II.1	Méthodes expérimentales	50
II.1.1	Essai de compression.....	50
II.1.1.1	But de l'essai de compression	50
II.1.1.2	Principe de l'essai	51

II.1.1.3	Procédure de l'essai	51
II.1.2	Essai à la flexion	51
II.1.3	Essai ultras son.....	53
II.1.3.1	Objectif.....	53
II.1.3.2	Principe	53
II.1.3.3	Mode opératoire.....	54
II.1.3.4	Etalonnage de l'appareil.....	54
II.1.3.5	Méthodologie de mesure	54
II.1.3.5.1	Mesure en transparence (directe)	55
II.1.3.5.2	Mesures en surface (indirecte)	55
II.1.3.5.3	Mesures semi directe	56
II.1.3.5.4	Paramètres influant la vitesse des ultrasons.....	56
II.1.3.5.5	Estimation de la résistance du béton selon RILEM	57
II.1.4	Retraits et gonflements:	57
II.1.5	Essai de maniabilité sur mortier	58
II.1.5.1	Les différentes compositions.....	58
II.1.5.2	Conduite de l'essai	59
II.1.6	Analyse granulométrique.....	59
II.1.7	Module de finesse	60
II.1.8	Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598).....	60
II.1.9	Masse volumique apparente.....	61
II.1.10	Masse volumique absolue.....	62
II.2	Matériaux utilisés	63
II.2.1	Charbon actif.....	63
II.2.2	Poudre de verre	65
II.2.3	Eau.....	65
II.2.4	Sable	65
II.2.5	Mortier	65
II.2.5.1	Préparation du mortier	65
II.2.5.2	Préparation des éprouvettes.....	66
II.2.5.3	Mode opératoire.....	69
III.	RESULTATS ET DISCUSSION	72
III.1	Caractéristiques de Sable	72

III.1.1	Analyse granulométrique.....	72
III.1.2	Module de finesse	73
III.1.3	Equivalent de sable.....	73
III.1.4	Masse volumique apparente.....	73
III.1.5	Masse volumique absolue :.....	74
III.2	Propriétés de poudre de verre	74
III.3	Propriétés du Ciment Portland	75
III.4	Maniabilité	75
III.5	Vitesse de propagation d'onde sonore.....	76
III.6	Résistance à la flexion	78
III.7	Résistance à la compression.....	79
III.8	Retrait	80
III.9	Discussion	82
	CONCLUSION GENERALE.....	86
	LIMITES DE LA RECHERCHE.....	88
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	89

LISTE DES FIGURES	Page
Figure I.1 : Poudrette de caoutchouc	3
Figure I.2 : Poudrette de marbre	4
Figure I.3 : Pouzzolanes naturelles	5
Figure I.4 : Stérile de charbon	6
Figure I.5 : la poudre de verre	6
Figure I.6 : Mortier utilisé dans le hourdage de maçonnerie	7
Figure I.7 : Mortier utilisé dans les enduits	8
Figure I.8 : Mortier utilisé dans Les chapes	8
Figure I.9 : Mortier utilisé dans les scellements et les calages	9
Figure I.10 : Le verre	12
Figure I.11 : Verre plat	13
Figure I.12 : Verre creux	13
Figure I.13 : Verre trempé	14
Figure I.14 : Verre feuilleté	15
Figure I.15 :Glasphait	16
FigureI.16 : Terrezzo ou granito	18
Figure I.17 : Brique de verre	16
Figure I.18 : Tuile en verre	18
Figure I.19 : Verre recyclé	18
Figure I.20 : Poudre de verre	19
Figure I.21 : Ciment	20
Figure I.22 : Ciment Portland	21
Figure I.23 : Ciment Alumineux	21
Figure I.24 : Extraction des matières premières	22
Figure I.25 : Stockage et broyage des matières premières	23
Figure I.26 : Préchauffeur à cyclone	24
Figure I.27 : Broyeur de ciment	25
Figure I.28 : Silos de stockage	26
Figure I.29 : Palmier dattier	27

Figure I.30 : Dattes	29
Figure I.31 : Variété Deglet Nour	30
Figure I.32 : Variété Ghars	31
Figure I.33 : Mèche-Degla	31
Figure I.34 : Noyau de dattes du palmier dattier	32
Figure I.35 : Sable naturel	35
Figure I.36 : Sable de dune	36
Figure I.37 : Sable d'origine artificielle	36
Figure I.38 : Sable de rivière	39
Figure I.39 : Sable de mer	39
Figure I.40 : Sable de carrière	40
Figure I.41 : Béton	42
Figure I.42 : Mortier	42
Figure I.43 : Mélanges bitumineux	43
Figure I.44 : Sable siliceux	44
Figure I.45 : Déchets solides ménagers	45
Figure I.46 : Déchets agricoles et animaux	45
Figure I.47 : Déchets du bâtiment	46
Figure I.48 : Déchets inertes	47
Figure II.1 : Essai de compression	50
Figure II.2 : Essai de traction par flexion	52
Figure II.3 : Essai de flexion	52
Figure II.4 : Appareil de mesure électronique	53
Figure II.5 : Appareils de mesure	54
Figure II.6 : Mesure directe	55
Figure II.7 : Mesure indirecte ou de surface	55
Figure II.8 : Mesure semi-directe	56
Figure II.9 : Appareillage pour la mesure du retrait	57
Figure II.10 : Maniabilité de mortier	58
Figure II.11 : Tamis de l'analyse granulométrique.	59
Figure II.12 : Courbe granulométrique dans différents cas	60
Figure II.13 : Essai d'équivalent de sable	61
Figure II.14 : Principe de détermination de la masse volumique absolue	63

Figure II.16 : Lavage des noyaux	64
Figure II.17 : Etuve de séchage	64
Figure II.18 : Poudre des noyaux des dattes	64
Figure II.19 : Four pour brulage	64
Figure II.20 : Broyeur	64
Figure II.21 : Charbon actif	64
Figure II.22 : Déchets de verre	65
Figure II.23 : Poudre de verre	65
Figure II.24 : Malaxage du mortier	66
Figure II.25 : Eprouvette prismatique huilée	67
Figure II.26 : Remplissage de l'éprouvette prismatique	67
Figure II.27 : Eprouvette prismatique	67
Figure II.28 : Eprouvette cubique	67
Figure II.29 : Rasage de la surface	68
Figure II.30 : Eprouvette après rasage	68
Figure II.31 : Eprouvette prismatique après lissage	68
Figure II.32 : Eprouvette 24h après	68
Figure II.33 : Eprouvette cubique	69
Figure II.34 : Eprouvette prismatique	69
Figure II.35 : Extrémité supérieure de l'éprouvette munis de plots	69
Figure II.36 : Eprouvette avant rupture	70
Figure II.37 : Eprouvette après rupture	70
Figure II.38 : Eprouvette à l'essai de retrait	70
Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable utilisé	72
Figure III.2 : Variation de la maniabilité en fonction des différentes compositions	76
Figure III.3 : Vitesse de propagation de son dans le mortier en fonction de l'âge	76
Figure III.4 : la variation de la résistance à la flexion en fonction de l'âge	78
Figure III.5 : La résistance à la compression en fonction de l'âge	79
Figure III.6 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier témoin	81
Figure III.7 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier charbon	81
Figure III.8 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier de verre	82

LISTE DES TABLEAUX	Pages
Tableau II.1 : Type de mortier selon le temps de maniabilité	59
Tableau III.1 : Résultats de l'analyse granulométrique	72
Tableau III.2 : résultats de l'équivalent de sable	73
Tableau III.3 : valeur de la masse volumique apparente	74
Tableau III.4 : valeur de la masse volumique absolue	74
Tableau III.5 : Composition chimique de poudre de verre (en %)	74
Tableau III.6 : Composition chimique du clinker (en %)	75
Tableau III.7 : Composition minéralogique du clinker (en %)	75
Tableau III.8 : vitesses maximales et minimales	77
Tableau III.9 : Résistances à la flexion	79
Tableau III.10 : Résistances à la compression	80

Introduction Générale

L'environnement est endommagé par les déchets solides excédentaires résultant de diverses activités humaines qui polluent le milieu naturel et contribuent à le détériorer. L'accumulation de ces déchets occupant une grande surface pose aussi le problème à trouver un espace pour s'en débarrasser. Parmi ces déchets « le verre et les noyaux de dattes ». Une solution plus écologique serait donc de les réutiliser pour réduire l'accumulation de ces déchets.

En plus de cette pollution s'ajoute celle de la fabrication du ciment. En effet, le ciment nécessite une grande énergie qui conduit à la libération d'une quantité importante de CO₂. Celle-ci contribue à environ 65% du réchauffement climatique et à environ 7% de l'effet de serre dû aux émissions de gaz dans l'atmosphère.

Le verre constitue aussi une menace majeure sur notre environnement car ce produit met beaucoup de temps pour se dégrader s'il n'est pas traité convenablement. A l'heure actuelle beaucoup d'associations tirent la sonnette d'alarme pour avertir les gouvernements et les citoyens du danger que ce déchet peut causer à la nature. D'où la diminution du volume de ce déchet nuisible à l'environnement devient une nécessité.

Le patrimoine phœnicicole toujours en augmentation occupe une grande place en Algérie. Il est réparti sur plusieurs wilayas du pays principalement dans la région Sud-est. En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes. Malgré cette disponibilité, ces ressources naturelles restent inexploitées jusqu'au ce jour dans le domaine de génie civil.

Le mortier est l'un des importants matériaux de construction que l'on utilise pour les enduits. Notamment dans le hourdage, les chapes, les scellements et les calages, la séparation des éléments, le remplissage des fentes et fissures, le renforcement des propriétés structurales des éléments et l'amélioration de l'étanchéité des constructions. En général le mortier est le résultat d'un mélange de granulats (sable), d'un liant (ciment ou chaux), d'eau et d'adjuvant dans des proportions données différentes selon les réalisations.

L'objectif de ce travail est de diminuer la quantité de ciment qui nuit à l'environnement en le remplaçant par des déchets récupérés et recyclés : verre et noyaux de dattes. Dans ce contexte, on substitue ces derniers sous forme de poudre de verre et de charbon actif à base de noyaux de dattes avec le ciment en pourcentage de 15%. A cet effet, 72 éprouvettes de mortiers ont été confectionnées.

- Peut-on recycler la poudre de verre et du charbon actif à base de noyaux de dattes dans la confection des mortiers de ciment ?

- Quel effet pourrait avoir cette nouvelle composante sur les caractéristiques mécaniques du mortier ?
- Quels sont les dosages à recommander pour que cette nouvelle composante puisse contribuer à l'amélioration de la qualité des mortiers ?

Notre travail d'étude sera structuré en trois (03) chapitres.

Le premier chapitre, portera sur la recherche bibliographique dans laquelle on abordera les travaux réalisés dans le cadre de remplacement de matériau de mortier par des déchets solides. On donnera un aperçu sur le mortier et ses composants (sable et ciment), le verre et les dattes et on définira les déchets solides.

Dans le deuxième chapitre on expliquera la méthodologie de travail en présentant les différentes méthodes expérimentales réalisées pour répondre à notre problématique

Dans le troisième chapitre on présentera tous les résultats expérimentaux avec une interprétation.

Nous terminerons par une conclusion générale des travaux réalisés et présenterons des perspectives. Par exemple, la valorisation des ressources naturelle des zones sahariennes dans le domaine de génie civil et l'utilisation d'autres déchets comme substituants partiels de ciment.

I. - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Une grande quantité de déchets provenant des chantiers de construction et de démolition est générée dans le monde entier. L'enlèvement et l'élimination de ces déchets posent des problèmes environnementaux importants car les sites d'élimination font défaut, surtout autour des grandes villes. Le recyclage et la réutilisation des déchets de béton sous forme de granulats revêtent une grande importance pour la protection de l'environnement car ils peuvent réduire la pollution de l'environnement et protéger la nature en réduisant l'utilisation des réserves de granulats naturels.

L'utilisation des résidus industriels et recyclables en remplacement partiel du ciment Portland dans les mortiers ou les bétons permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et se traduit par la fabrication d'un mortier ou d'un béton avec un impact environnemental moindre.

I.1 Remplacement de matériau de mortier par des déchets solides

I.1.1 Remplacement par le caoutchouc

Plusieurs travaux de recherche ont été menés sur l'utilisation et le comportement mécanique des déchets industriels dans le mortier ou le béton. Concernant la poudrette de caoutchouc (figure I.1), les travaux de Eldin et Senouci, 1993[38], Topçu, 1995 [90], Benazzouk et al. 2003 [15] et Benazzouk et al., 2008[14] ont montré une chute remarquable de la résistance mécanique des bétons ou mortiers. D'autres chercheurs observent les mêmes tendances de diminution de la résistance à la compression des bétons (Ghaly et al. 2005[46] ; Valadares, 2012[94] ; Freitas et al., 2009[43]). Ceci a été expliqué par la faible adhérence entre la pâte de ciment et les granulats de caoutchouc.



Figure I.1 : Granulats de caoutchouc

Najim et al, 2012[70] ont utilisé le caoutchouc sous forme de granulats à différentes tailles (2 à 6mm) dans des bétons auto-plaçant, en remplacement massique partiel des granulats fins ou gros de 5 à 15% et un remplacement combiné des deux tailles de granulats. Ils ont conclu, que le remplacement mixte, offre de meilleures résistances à la compression.

I.1.2 Remplacement par la poudrette de marbre

Pour la poudrette de marbre (figure I.2), les travaux de Goven et al, 2003[51] ; Agarwal et al. 2006[3],Kavas et Olgun, 2008[88] etTopçu et al., 2009[91] ont montré que sa présence dans la matrice cimentaire améliore la résistance à la compression au jeune âge. Récemment, Messaoudene et al, 2011[65] ont obtenu des bétons de résistance mécanique en compression à 28 jours supérieure à 50MPa par la substitution du ciment Portland de 10% de filler de marbre.



Figure I. 2 : Poudrette de marbre

I.1.3 Remplacement par le caoutchouc et la poudrette de marbre

Le travail établi par Ghembazaet al 2019 [48] concerne le remplacement partiel du ciment par la poudrette de marbre (10%, 20% et 30%) et du sable par les granulats de caoutchouc (10%, 20% et 30%). L'incorporation de poudrette ou de granulats présente des effets sur le comportement physico-mécanique des différents mélanges de mortiers ayant un rapport E/L constant égal à 0,5. En effet, un taux de remplacement partiel de 20% ou 30% du ciment portland par la poudrette de marbre présente des résistances à la compression légèrement inférieures voir identiques comparativement au mortier de référence (témoin). En revanche, la résistance en traction s'avère être bénéfique pour les âges avancés (28jours) à un taux de remplacement de 30%. Concernant la substitution du sable par les granulats de caoutchouc, on note une diminution marquée de résistance dès les 10% de granulats de caoutchouc. En

revanche, cette présence de caoutchouc, empêche le développement de microfissures et limite leur progression.

I.1.4 Remplacement par la pouzzolane naturelle

La pouzzolane naturelle (figure I.3) a été largement utilisée comme substitut du ciment dans le mortier. Elle présente de nombreuses propriétés avantageuses telles que la réduction des émissions de CO₂ lors de la production du ciment, la réduction des coûts, la réduction du dégagement de chaleur et l'augmentation de la résistance du béton. (Habert G et al (2008) [52], Ghrici M et al (2007) [49], Pourkhorshidi A.R et al (2010) [77]).

L'attaque par les chlorures se distingue par le fait qu'elle entraîne la corrosion des armatures provoquant la dégradation du béton environnant. La corrosion des armatures est l'une des causes principales de la détérioration des structures en béton armé partout à travers le monde. (Bidjocka .C . Tusset. J. Messi. A (1993) [19]). Pour traiter la résistance à la pénétration d'ions chlore des BAP avec et sans pouzzolane naturelle, (Kanish Kapoor et al 2016[58]) ont montré que la fumée de silice (SF) et le métakaolin (MK) sont très efficaces pour réduire la pénétration des ions chlorures dans le béton auto plaçant à base de granulats naturels. Les mélanges à base de 10% de (SF) ou (MK) réduisent plus la pénétration des ions chlore pour les mélanges de BAP à base de granulats recyclés que les mélanges de BAP à base de granulats naturels.



Figure I.3 : Pouzzolanes naturelles

I.1.5 Remplacement par le stérile de charbon

L'impact du stérile de charbon (figureI-4) est sur la masse volumique des mortiers qui baisse, et la porosité accessible à l'eau qui s'accroît avec le traitement thermique. Aussi, la perméabilité apparente aux gaz évolue d'une manière décroissante avec le pourcentage des

ajouts, mais d'une manière croissante avec le traitement thermique. Aussi la propagation des ultrasons diminue avec l'ajout de déchets ainsi qu'avec le traitement thermique, sans pour autant être intéressant comme matériau isolant vu les conductivités thermiques mesurées dans les mortiers composites.



Figure I.4 : Stérile de charbon

I.1.6 Remplacement par la poudre de verre

L'utilisation des déchets de verre dans la construction suscite un vif intérêt dans le monde entier en raison de sa consommation en grande quantité et de la multiplication des sites de construction. Récemment, de nombreuses études se sont concentrées sur l'utilisation du verre de récupération comme remplacement partiel d'agrégats naturels dans le béton.

La préoccupation majeure pour l'utilisation des déchets de verre dans le béton est la réaction alcaline-silice (ASR) qui se produit entre les alcalis du ciment et la silice réactive du verre. Cette réaction peut être très déterminante pour la stabilité du béton [Liu M. (2011), Castro S., de Brito (2013),]. [78].



Figure I.5 : la poudre de verre

Les essais entrepris par Seggai S et al,2019 [83] ont montré qu'en remplaçant partiellement ciment par la poudre de verre (figure I.5) usée, on contribue à réduire la production de ciment et par conséquent réduction des émissions de CO₂. Les expérimentations menées en laboratoire d'exploitation et de valorisation sur Les ressources naturelles des zones arides (EVRNZA) sur six types de mortiers ont montré que pour obtenir les meilleurs mortiers, la portion de WGP qu'on peut utiliser pour remplacer le ciment est d'environ 15%. Ce pourcentage contribue à réduire l'émission de CO₂ de 0,75% à 1,05% et en économie de 7,5 euros / tonne.

I.2 Mortier

I.2.1 Définition

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de granulat (sable), d'un liant (ciment ou chaux), d'eau et d'adjuvant dans des proportions données différentes selon les réalisations. 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. (Bouali Khaled, 2013/2014 [20])

I.2.2 Utilisation du mortier

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Le hourdage de maçonnerie : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier (Figure I.6) qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure I.6 : Mortier utilisé dans le hourdage de maçonnerie

- Les enduits : Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A cote des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants. (Figure I.7)



Figure I.7 : Mortier utilisé dans les enduits

- Les chapes : Les chapes (figure I.8) ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol



Figure I.8 : Mortier utilisé dans Les chapes

- Les scellements et les calages : La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser (figure I.9) : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

- séparation des éléments et remplissage de toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène

- renforcement des propriétés structurales des éléments et en même temps empêchement de la pénétration de la pluie.

- Protection des constructions contre l'humidité due aux remontées des eaux de nappes (Mounir Bellem, 2013[67])



Figure I.9 : Mortier utilisé dans les scellements et les calages

I.2.3 Composition du mortier

Par définition, les mortiers contiennent des liants, des granulats, de l'eau et éventuellement des adjuvants.

I.2.3.1 Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, ce dernier est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson ou le mélange de deux de ces matériaux. (William.d, Callister.JR[96]).

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

I.2.3.2 Granulats

Le sable est le granulat le plus employé fréquemment. Il est inerte et sert tout d'abord à accroître la compacité du mortier Ses limites granulométriques sont entre 0,080 mm et 4 mm. C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande

perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux ; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements : il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. (R.Dupain, et al 2004 [35])

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.(R.Dupain, et al 2004 [35])

I.2.3.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, et facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité.

L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis et acides). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. (R.Dupain, et al 2004 [35])

I.2.3.4 Adjuvants

Ils sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux, ils donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment et chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec en plus des adjuvants.

I.3 Verre

Ce déchet constitue une menace majeure sur notre environnement car ce produit met beaucoup de temps pour se dégrader s'il n'est pas traité convenablement. A l'heure actuelle beaucoup d'associations tirent la sonnette d'alarme pour avertir les gouvernements et les citoyens de danger que ce déchet peut causer à la nature. Alors les dirigeants des gouvernements n'ont pas hésité à prendre des mesures et mettre des lois pour diminuer le volume de ces déchets qui nuisent à notre environnement. Sa diminution soit en recyclant car ce matériau a l'avantage d'être recyclé à l'infini, soit en le réutilisant sous forme de poudre dans le domaine du bâtiment.

I.3.1 Origine du verre

Le verre est l'un des plus anciens matériaux connus par l'homme (E. Lepine, et al, [61]). Il se trouve dans les roches éruptives en proportion plus ou moins élevées. Il est à base de silice SiO_2 et de Na_2O et CaO . Dans le temps préhistorique déjà on utilisait les obsidiennes (type de verre) pour la confection des couteaux, pointes des flèches...etc. Ce verre naturel provenant d'Europe principalement des îles grecques de mélos et de théra. Le plus ancien objet daté de verre produit par l'homme a été découverts en Egypte, ils remontent à environ 300 ans avant J.C, mais vraisemblablement la matière d'obtenir le verre a été découverte auparavant en Mésopotamie environ 4500 avant J.C. (I. Helsoëit, 2000 [54]) L'utilisation de verre en tant que matériau en soi a été précédée par celle des émaux sur poteries, dont certaines datent de 12000 ans avant J.C, les origines de cette découverte restent obscures.

Aujourd'hui, le verre est fabriqué industriellement dans des usines verrières. L'automatisation des verres creux et l'avènement de l'obtention du verre plat par flottage « Float » favorisent l'accroissement considérable des quantités de production permettant ainsi aux verres d'occuper une place essentielle dans l'économie moderne « bâtiments, transport, éclairage, industrie chimique, etc... ». Le verre apporte également des solutions aux nouvelles technologies « laser, téléphone, fibre optique, conservation d'énergie ». (F. Celarie, 2014.[27])

I.3.2 Définition du verre

Le verre est un corps amorphe qui possède une résistance chimique élevée qui permet de conserver différentes solutions pour des périodes pratiquement illimitées Aroua S et Bouherrara FZ, 201[7]).

Plusieurs définitions ont été proposées pour le verre ; Selon l'American Society for Testing Materials (1945), le verre est un matériau inorganique produit par fusion, qui a été refroidi dans des conditions qui ont empêché sa cristallisation. D'après Z.Jerzy (1982) [57]), un verre est un solide non cristallin présentant une transition vitreuse. Et selon Sholze(1991) [85], le verre est un liquide surfondu figé. Tammann (1939) [87] le considère comme un solide non cristallin obtenu par figeage d'un liquide surfondu.

Le verre est caractérisé par l'absence d'un point de fusion fixe, contrairement à ce que se passe avec les corps cristallisés. Lors du refroidissement, il traverse une zone de température durant laquelle toutes les propriétés physiques « indice de réfraction, densité, coefficient de dilatation » subissent des variations importantes ; d'où l'appellation de cet intervalle « zone de transformation ». (Zarzycky et all(2001) [97] et J.L. Barton(2001) [56]).

En générale le verre est un matériau transparent (figure I.10), brillant, solide, homogène et fragile, tel que ceux utilisés dans les fenêtres, flacon, ou des lunettes. Il résiste au feu et au contact de tous les liquides et solides, c'est un solide non cristallin « amorphe » qui ne présente pas l'ordre à longue distance c'est un état particulier de la matière « état vitreux ».

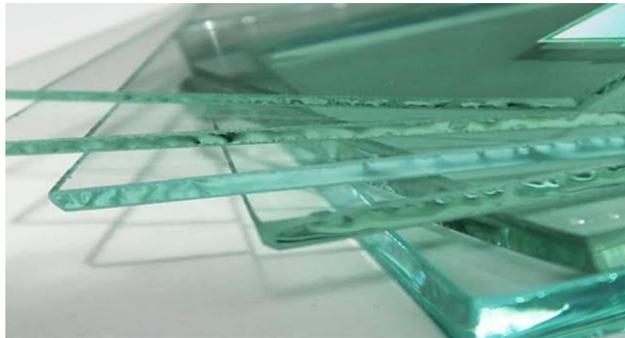


Figure I.10 : Le verre

I.3.3 Type du verre industriel

Il existe plusieurs types de verre, Il peut être ordinaire ou de sécurité :

I.3.3.1 Verre ordinaire

IL est fabriqué dans des fours, par fusion de différents composants. La sortie de ces fours est aménagée de différentes manières suivant que l'on veuille obtenir du verre plat ou du verre creux (verre moulé ou verre étiré) :

-Verre plat et verre flotté : Le verre plat est un verre fabriqué sous forme de feuilles (figure I.11). Il est principalement utilisé pour la fabrication des vitres et des miroirs. Le verre flotté ou verre « float » est un type de verre plat fabriqué par le principal procédé de fabrication de ce type de verre. Dans le procédé XX^e siècle « float » (qui aurait été inventé par Alastair Pilkington en 1952) un mélange de matières premières est chargé en continu dans le four de fusion. À la sortie du four, le verre forme un ruban flottant à la surface de l'étain fondu. La surface de l'étain fondu est extrêmement lisse, donnant au verre une planéité de surface parfaite. Le ruban de verre est ensuite lentement refroidi jusqu'à complet durcissement et recuit. Le ruban ainsi obtenu est d'épaisseur régulière et présente des surfaces parfaitement polies. Le ruban est ensuite découpé en plaques pour livraison.

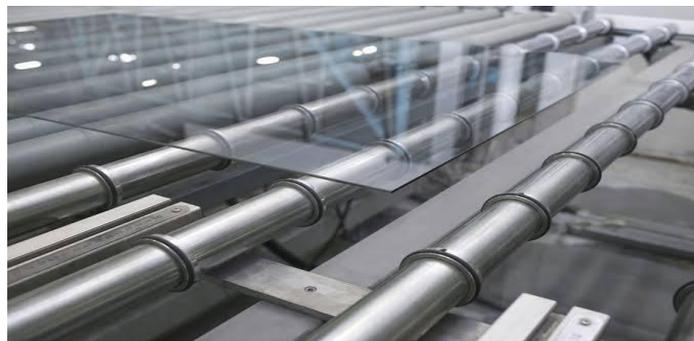


Figure I.11 : Verre plat

-Verre creux : Le verre creux est tout produit verrier ayant une forme non plane (figure I.12). Il est utilisé pour la fabrication d'emballages de liquides, de denrées alimentaires, de parfums et de verrerie de table : bouteilles, flacons, pots, bocaux, verres à boire, vaisselle, etc. Le verre étiré, livré sous forme de cannes de verre est un produit semi fini qui servira notamment à la fabrication des ampoules pharmaceutiques, des éprouvettes, des tubes à essai...



Figure I.12 : Verre creux

I.3.3.2 Verre de sécurité

C'est un verre avec des fonctionnalités de sécurité supplémentaires qui le rendent moins susceptible de se briser ou moins susceptible de constituer une menace lorsqu'il casse. Les principaux types sont :

-Verre trempé : Le verre trempé est du verre traité en vue d'améliorer ses propriétés mécaniques (figure I.13). Le verre trempé est de deux à cinq fois plus résistant qu'un verre ordinaire. Il fait partie des verres de sécurité La trempe thermique : est obtenue par le passage du verre dans un four aux environs de 600 °C suivi d'un refroidissement brutal et rapide. Ces traitements thermiques permettent d'améliorer la résistance des pièces : les vitres latérales et arrières des automobiles comme certaines pièces d'ameublement sont trempées par un refroidissement rapide et contrôlé, le plus souvent par de l'air. La trempe chimique a lieu en remplaçant par diffusion une partie des ions alcalins par d'autres ions alcalins de plus gros rayon ionique. Par exemple le sodium ou le lithium du verre par des ions potassium (W. Kuzz, et al 1999) [95], D.R Rossington(1972) [81]).

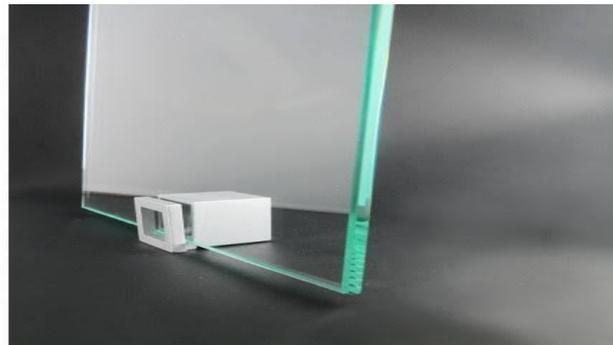


Figure I.13 : Verre trempé

-Verre feuilleté : Le verre feuilleté (de son nom technique), ou verre laminé (de son nom usuel), est constitué d'au moins deux feuilles de verre séparées par des films intercalaires généralement de nature plastique (figure I.14). Il est notamment utilisé pour les parebrises des voitures. Il fait partie des verres de sécurités. Le verre feuilleté pour bâtiment fait l'objet de la série de norme NF EN ISO 12543 Composé de couches verre-plastique-verre ou plus. Les parebrises des automobiles et les vitres blindées sont en verre feuilleté. Ainsi, lors d'un choc, le pare-brise se casse, mais reste en place. Les passagers risquent moins d'être blessés par des bris.

Le verre blindé ayant 8 couches de plastique peut résister à 70 coups de hache avant d'être traversé. (W. Kuzz, et al 1999) [95], D.R Rossington(1972) [81]).

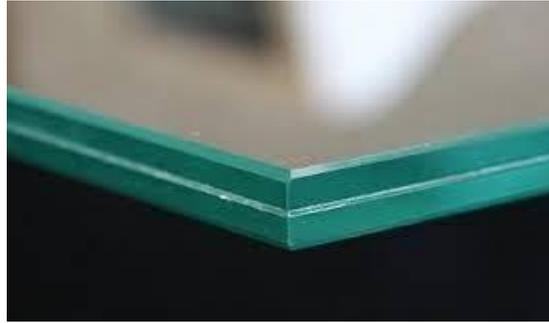


Figure I.14 : Verre feuilleté

-Verre Armé : On appelle verre armé un verre dans lequel est intégrée une grille métallique lors de sa fabrication qui permet de retenir quelque peu les éclats de verre. Ce verre offre de plus une faible résistance au feu : risque de casse sous l'effet de la chaleur. On utilise ce type de verre surtout pour les toits de locaux industriels ou encore pour les grandes coupoles. (W. Kuzz, et al 1999) 95], D.R Rossington(1972) [81).

I.3.4 Propriétés du verre

Les principales propriétés physiques du verre sont :

- La transparence : Le verre est très transparent mais cependant il peut être aussi opaque ou opalescent.
- La dureté : Ce qui raye le verre a une dureté supérieure à 6,5 (quartz, corindon, diamant...). Le verre le plus dur est le verre de Bohème et le cristal est le plus tendre. Classement selon l'échelle de Mohs, les verres sont compris entre 4,5 et 7
- La densité : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- La résistance et l'élasticité : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- L'imperméabilité : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ». (P. Done 1971[75])

Les principales propriétés thermiques du verre sont :

- La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise dès qu'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de

nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.
- Il est ininflammable et incombustible. (P. Done 1971[75])

Les principales propriétés chimiques du verre sont :

- L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.
- L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
- L'action des acides : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout. (P.Done 1971[75]).

I.3.5 Utilisation de verre en génie civil

Le verre en génie civil est très utilisé dans plusieurs domaines ainsi que ceux des routes ou bâtiment.

I.3.5.1 Verre et Routes

Les utilisations les plus importantes sont :

Glasphait est un système de renforcement pour revêtement bitumineux. Il est constitué de fibres de verre pré-enrobées de bitume pour des renforts ponctuels ou en pleine surface en revêtement bitumineux. (FigureI.15).

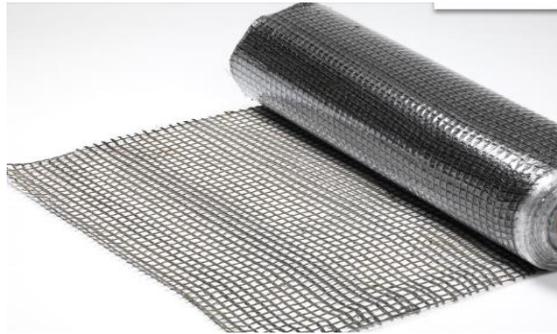


Figure I.15 : Glasphalt

Il est utilisé comme alternative aux chaussées bitumineuses conventionnelles depuis le début des années 1970. L'asphalte de verre doit être correctement mélangé et placé pour respecter les normes de revêtement routier, ce qui nécessite certaines modifications des procédures d'asphalte généralement acceptées.

Généralement, il y a environ 10 à 20% de verre en poids dans l'asphalte de verre. (W.H. Gourdin et W. D. Kingery 1975[50]).

Peut-être utiliser de déchets de verre dans les routes au lieu de gravier ou de petits cailloux de mélange de quelques pourcentages, et ce type d'industrie fut un grand succès en Amérique et avéré très réussie à conserver la température, comme sa propriété, et est la résistance au glissement sur la route. (W.H. Gourdin et W. D. Kingery 1975[50]).

I.3.5.2 Le verre et les bâtiments

Les principales utilisations du verre dans le bâtiment sont :

Terrezo ou granito : est un mélange similaire au béton traditionnel avec comme principale différence la substitution du sable et du gravier par des pierres naturelles et éléments concassés (verre, miroir, granit, métal) le tout enrobé d'un liant, il est utilisé pour les planchers et les murs. (Figure I.16).(M.Dali2012[30])



Figure I.16 :Terrezo ou granito

La brique de verre : également appelé pavé en verre, est un matériau de construction fait en verre (figure I.17). Cette brique peut être transparente ou translucide. Elle peut être carrée, rectangulaire ou circulaire. Les briques de verre sont utilisées dans le cadre de la construction de murs non porteurs et de panneaux à portée horizontale. Elles servent à laisser passer la lumière au travers d'un mur.

Tuile en verre : Cette tuile transparente et inaltérable est fabriquée en verre est un élément de toiture solide et très efficace pour l'isolation. (Figure I.18) Extrêmement résistante, cette tuile accréditée par plusieurs Bâtiments endure le froid et les intempéries sans altération, et apporte aux constructions un élément primordial : la lumière.



Figure I.17 : Brique de verre



Figure I.18 : Tuile

I.3.6 Verre issu de recyclage

Recycler le verre est l'un des gestes écologiques les plus simples et efficaces à faire. En effet, le verre met 3 ou 4 millénaires à se décomposer dans la nature et créer du verre « neuf » à partir de verre recyclé (figure I.19) consomme beaucoup moins d'énergie : une tonne de verre recyclé permet d'économiser une demie-tonne de CO₂. (P. Done 1971[75])



Figure I.19 : Verre recyclé

Le verre peut être refondu à l'infini pour fabriquer de nouveaux flacons, pots, ou bouteilles, sans aucune perte de qualité ou de transparence. Ce système s'appelle le recyclage en « boucle fermée » c'est le meilleur usage du verre recyclé, mais lorsque ce n'est pas

possible, le verre recyclé est couramment employé pour fabriquer des briques, des revêtements de routes, des fibres de verre, des comptoirs et des planchers, du sable et des abrasifs, des perles de céramique et de verre.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est développée. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Les déchets de verre sont également employés comme matières premières dans la production des pastilles ou des perles de verre utilisés dans la peinture réfléchissante sur les routes, pour la production des fibres de verre. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de base dans la fabrication de fonderie de métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol. (W.H. Gourdin et W. D. Kingery 1975[50]).

Le verre possède un large domaine d'utilisation et peut être recyclé pour de nouvelles applications.

I.3.7 Poudre de verre

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré (figure I.20). Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de chaux en vertu de ses propriétés pouzzolaniques.



Figure I.20 : Poudre de verre

Pour obtenir la poudre de verre on doit :

- Apporter les déchets de verre.
- Nettoyez le verre.

- Concasser le verre en petits morceaux.
- Mettre le verre concassé dans le broyeur quelque temps.
- Tamiser (tamis 0.08mm) le verre.

I.4 Ciment

I.4.1 Introduction

Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. Il est utilisé dans la fabrication du béton, qui est le deuxième matériau le plus utilisé sur la planète. C'est un matériau de construction durable, versatile et totalement recyclable. Le ciment est fabriqué dans plus de 150 pays dans des centaines d'usines locales. Sa production progresse régulièrement depuis le début des années cinquante. Elle ne cesse d'augmenter dans les pays en voie de développement en particulier en Asie Cette augmentation de productivité est due à l'apparition d'unités de production de plus en plus grandes, à la mise en œuvre de la conduite automatique des procédés et à l'utilisation d'un personnel moins nombreux mais plus qualifié requis par cette automatisation. Les marchés du ciment sont avant tout locaux. Il existe cependant un commerce mondial et dans certains cas l'expédition internationale de ciment est économiquement viable. La concurrence internationale est surtout une menace pour les usines au niveau individuel (M. Dali 2012[30])

I.4.2 Définition

Les ciments sont des liants hydrauliques en forme des poudres fine chimiques(figureI.21) constituées de silicates et d'aluminates de chaux qui s'hydratent en présence d'eau pour donner naissance à un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau (N. de Louvigny 2001,[63])



Figure I.21 : Ciment

I.4.3 Familles de ciment

Il existe deux grandes principales familles de Ciments :

I.4.3.1 Ciments Portland :

Ils constitués majoritairement de silice et de chaux et sont utilisés principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil. La norme ASTM C-150 définit le ciment Portland comme un ciment hydraulique produit par la pulvérisation du clinker, essentiellement composé de silicates de calcium, avec une faible quantité de sulfate de calcium (qui peut être ajouté sous différentes formes).

Les ciments portland sont des liants hydrauliques, c'est-à-dire que leur prise et leur durcissement se fait en se combinant avec l'eau cette réaction, appelée hydratation.(FigureI.22)



Figure I.22 : Ciment Portland

I.4.3.2.Ciments alumineux :

Ils se composent essentiellement d'alumine et de chaux (figure I.23).En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont



Figure I.23 : Ciment Alumineux

utilisés en génie civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrage d'assainissements ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ouverte. (D.Platel, 2004[76])

I.4.4 Techniques de fabrication du ciment

Chacune des opérations impliquées dans le processus de fabrication du ciment est importante et doit être réalisée correctement, faute de quoi le ciment risque de ne pas avoir la qualité exigée pour son emploi.

I.4.4 1.Extraction des matières premières

Les gisements calcaires et argiles naturels (comme les roches calcaires, les marnes, la craie et l'argile) fournissent les matières premières. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine présents dans différents minerais et minéraux peuvent être ajoutés pour assurer une même qualité du mélange indépendamment de la qualité de la matière première.



Figure I.24 : Extraction des matières premières

Les cendres de centrales thermiques, les laitiers de hauts fourneaux et autres résidus industriels peuvent également être utilisés comme substituts partiels des matières premières naturelles. Par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer, les matières premières sont extraites des parois rocheuses de la carrière à ciel ouvert (figure I.24). Les blocs sont repris par dumpers ou bande transporteuse vers un atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50mm. (H.F.W. Taylor, 2007[89])

I.4.4.2 Stockage et broyage des matières premières

L'utilisation de halls de stockage dépend des conditions climatiques et de la quantité de matière fine (farine ou cru) produite par l'installation de concassage. Pour une usine d'une capacité de production de 3000 tonnes/jour, ces bâtiments peuvent contenir de 20000 à 40000 tonnes de matériaux.

Le pesage et le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur sont importants car ils déterminent la constance de la composition chimique du cru, essentielle pour la stabilité de fonctionnement du four et pour l'obtention d'un ciment de bonne qualité (figure I.25). (H.F.W. Taylor, 2007[89])



Figure I.25 : Stockage et broyage des matières premières

- **Par procédés en voie sèche et demi-sèche** : Les matières premières, dans des proportions soigneusement contrôlées, sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur H.F.W. Taylor, 2007[89])

- **Par procédés en voie humide ou semi-humide** : Les matières premières contenant plus de 20% d'eau en masse peuvent être broyées avec de l'eau. Le mélange est envoyé dans un délayeur où il est déchiqueté et écrasé par des herses rotatives ce qui le transforme en une âte. Quand celle-ci est suffisamment fine, elle passe dans des tamis montés dans la paroi du broyeur puis elle est pompée et stockée dans des cuves. Il faut souvent la broyer une nouvelle fois pour obtenir une granulométrie satisfaisante, en particulier si on lui ajoute une autre matière première comme le sable.

En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans les différents

types de four. Le cru homogénéisé et stocké dans des silos, sa composition est dans des proportions bien définies : (H.F.W. Taylor, 2007[89])

- carbonate de calcium (CaCO_3) : 77 à 83 % ;
- silice totale (SiO_2) : 13 à 14 % ;
- alumine (Al_2O_3) : 2 à 4 % ;
- oxyde ferrique (Fe_2O_3) : 1,5 à 3 %.

I.4.4.3 Cuisson pour obtention du clinker

La cuisson est sans doute l'opération la plus sensible et la plus importante en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. En effet, La farine crue (ou la pâte pour la voie humide) est introduite sous forme pulvérulente dans un préchauffeur à cyclone (Figure I.26). Cet échangeur gaz/matière réalise la décarbonatation partielle de la farine crue (25% à 30%) qui doit être prête aux réactions du clinkérisation dans le four.

Le four rotatif est constitué d'un cylindre en acier de chaudière, animé d'une vitesse réglable lente (0.67 à 2 tr/mn), et présente une inclinaison de 3% dans le sens de l'écoulement de matière. Ce tube appelé aussi virole repose par l'intermédiaire de bandages, au nombre de trois, sur des galets, il est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires qui protègent les tôles de température élevées (1850°C pour les gaz et 1450°C pour la matière).

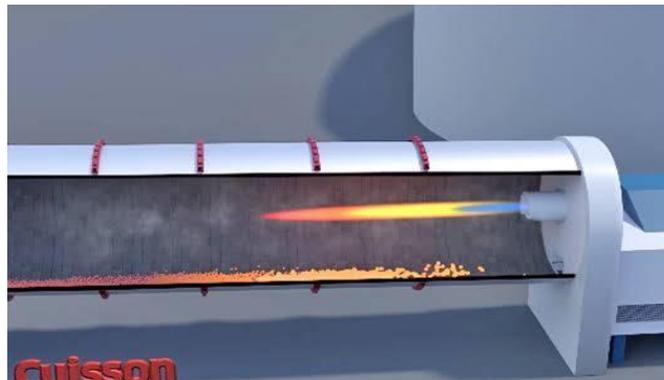


Figure I.26 : Préchauffeur à cyclone

En amont, la matière pénètre à la température de 800°C. En aval les gaz à 1850°C sont injectés à l'aide de la tuyère. Il se produit un échange à contre-courant entre les gaz et la matière. Au fur et à mesure que la matière avance, elle se chauffe et se transforme.

Un groupe d'entraînement donne au four le mouvement de rotation nécessaire, à la fois au brassage de la matière et à la descente régulière de celle-ci de la zone amont (zone de décarbonatation) à la zone aval (zone de clinkérisation).

A la sortie, les granules incandescents sont refroidis rapidement au contact de l'air injecté dans des tubes, ce qui permet de leur donner les structures cristallographiques optimales. (J.M.Auvray2003[8] Cembureau, 1997[28])

I.4.4.4. Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment

Pour les ciments composés, du gypse et des constituants secondaires (pigments, résines, laitiers des hauts fourneaux, pouzzolanes) peuvent être ajoutés pour donner au ciment des propriétés spécifiques. La matière est broyée très finement (grains inférieurs à 40 microns) à l'aide de l'un des broyeurs (figure I.27) :



Figure I.27 : Broyeur de ciment

- broyeur en circuit fermé avec séparateur aéraulique ou séparateur à cyclones.
 - broyeur vertical à galets (bien adapté aux additions minérales importantes du fait de sa capacité de séchage ainsi qu'au broyage séparé des additions minérales).
 - broyeur à rouleaux (additions minérales relativement limitées, si non sèches ou pré-séchées).
- Le ciment sera acheminé ensuite vers des silos de stockage à compartiment unique ou à plusieurs compartiments. (D. Mouss,2005[68])

I.4.4.5 Stockage, ensachage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage (figure I.28), 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. (C. Linné [62])



Figure I.28 : Silos de stockage

I.5 Noyaux des dattes

I.5.1 Généralités sur le palmier dattier *Phoenixdactylifera* L

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenixdactylifera* par Linné en 1734 (C. Linné [62], P.Munier 1973[69]). Le terme *Phoenix* proviendrait de *phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'Antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens et "dactylifera" vient de latin "dactylus" dérivant du grec dactylis, signifiant doigt, en raison de la forme du fruit (SenisnaZoubida, Chaouche Hanane;1970 [84]).

C'est une espèce dioïque, monocotylédone, appartenant à la famille des Arecaceae qui compte environ 235 genres et 4000 espèces (P Munier 1973[69]). Le palmier est une composante essentielle de l'écosystème oasien (G Toutain 1979[92]) grâce à sa remarquable adaptation aux conditions climatiques, la haute valeur nutritive de ses fruits, les multiples utilisations de ses produits (S Bakkaye 2006[10]) et sa morphologie favorisant d'autres cultures sous-jacentes (M Elhoumaizi ; et al 2002[39]) (Figure I.29).

C'est une espèce arborescente connue pour son adaptation aux conditions climatiques trop sévères des régions chaudes et sèches (L Bouguederi.et al, [23]). Le palmier dattier commence à produire les fruits à un âge moyen de cinq ans, et continue la production avec un taux de 400-600 kg/arbre/an pour plus de 60 ans (A Imad.,et el 1995 [55])

Le palmier dattier est une plante dioïque comportant des pieds mâles (dokkar) et des pieds femelles (nakhla)(Figure I.29). (N Chaibi. 2002[29])



Figure I.29 : Palmier dattier

I.5.2 Répartition géographique de palmier dattier

I.5.2.1 Répartition géographique de palmier dattier dans le monde

La production mondiale en fruits des palmiers dattiers est variable et a une grande importance économique (F.Aberlenc-Bertossi, 2012 [1]). Le nombre de dattiers existant dans le monde est estimé à plus de 100 millions de palmiers. Sa répartition spatiale, fait ressortir que l'Asie est en première position avec 60 millions de palmiers dattiers (Arabie saoudite, Bahreïn, Émirats arabes unis, Iran, l'Irak, le Koweït, Oman, Pakistan, Turkménistan et Yémen); tandis que l'Afrique est en deuxième position avec 32,5 millions de palmiers dattiers (Algérie, Egypte, Libye, Mali, Maroc, Mauritanie, Niger, Somalie, Soudan, Tchad et Tunisie). (FAO STAT, 2013[42])

I.5.2.2 Répartition géographique de palmier dattier en Algérie

En général, les palmeraies algériennes sont localisées au Nord-est du Sahara au niveau des oasis où les conditions hydriques et thermiques sont favorables. (F Ghazi., S Sahraoui, 2005[47])

L'origine du Palmier Dattier en Algérie, vient de la « péninsule arabique » ; à travers les commerçants qui ont propagé du Palmier autour de la Méditerranée, il était introduit spécialement dans les lieux disposant d'eau dans le Sahara (G Toutain [93])

La palmeraie est essentiellement concentrée dans le sud-est, la palmeraie algérienne est située comme suit : dans le sud-est (El Oued, Ouargla et Biskra) qui possède 67% de la palmeraie algérienne, le sud-ouest (Adrar et Bechar) avec 21% de palmeraie, l'extrême Sud (Ghardaïa, Tamanrasset, Illizi et Tindouf) avec 10% et d'autres régions qui représentent 2% de la palmeraie. (E.M Messar1996 [66]).La superficie globale des palmiers-dattiers s'élève à 167.663 hectares en 2017, alors que les palmiers productifs sont estimés à 15,7 millions et

ceux plantés à 18,53 millions. Le rendement par palmier-dattier est estimé à 67,7 kg. Le rendement de "Deglet Nour" s'élève à 86,3 kg par palmier-dattier, contre une production moyenne de 51,6 kg et 58,2 kg par palmier-dattier respectivement pour la Degla beïda et les dattes sèches, El Ghars et les dattes moelles (FAO[42]).

I.5.3 Production des dattes

I.5.3.1 Production mondiale des dattes

Les principaux producteurs de dattes dans le monde sont situés dans le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord quant à la production mondiale de dattes, elle est évaluée à 7,30 millions de tonnes dont environ 71% sont générés par les pays arabes. L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche (G.Toutoain [93]). Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fût introduit au XVIIIème siècle. Sa culture n'a débutée réellement que vers les années 1900 avec l'importation des variétés irakiennes (N Bouguedoura1991 [24]). L'Asie comprend la plus grande part de production mondiale de dattes avec 56% en 2015, suivi par l'Afrique avec 40%. L'Asie et l'Afrique s'accaparent à eux seules la quasi-totalité du patrimoine phœnicicole avec 1.120.945 ha (réservé au dattier) et 96% de la production mondiale de dattes en 2015. (F.A.O [42])

L'Egypte est le premier producteur mondial de dattes avec 1 465 030 tonnes suivis de l'Iran et de L'Algérie. Bien que la superficie du palmier dattier en Egypte est inférieure à celle de l'Algérie (44 037 ha 165 348 ha respectivement en 2017). (ONFAA; 2017[71])

I.5.3.2 Production des dattes en Algérie

Le patrimoine phœnicicole algérien est réparti sur plusieurs wilayas du pays et se concentre principalement dans la région sud-est. La première place est occupée par la wilaya de Biskra, avec plus 25% du patrimoine national, et toujours en augmentation.

Sur le plan variétal, en 2015, 61% des palmiers de la wilaya sont de la variété Deglet Nour ; viennent ensuite les dattes sèches et assimilées (26 %) et la variété Ghars et assimilées (13%). Les autres wilayas productives sont : Adrar, Laghouat, Batna, Bechar, Tamanrasset, Tebessa, Djelfa, M'sila, Ouargla, El bayadh, Illizi, Tindouf, El oued, Khenchela, Naama et Ghardaia (DSA ;2016 [33])

I.5.4 Dattes

I.5.4.1 Définition

La datte est une baie (figure I.30), de forme généralement allongée. Sa dimension varie de 1,5 à 8 cm de longueur et son poids varie de 2 à 20 g. Sa couleur va du blanc jaunâtre au sombre très foncé presque noir, en passant par les ambres, rouges et bruns. La datte contient une seule graine dite "noyau". La partie comestible de la datte, est dite "chair" ou "pulpe", elle se compose donc de :



Figure I.30 : Dattes

- **Partie comestible** : Elle est représentée par le mésocarpe dont la consistance peut être selon les variétés, le climat ainsi que la période de maturation :

- Molle : le mésocarpe est très humidifié avec peu de saccharose (31% d'eau).
- Demi-molle : telle que la Deglet Nour (18% d'eau).
- Sèche : telle que la Degla Beida, Hamraia et la Mech Degla (12% d'eau).

-**Partie non comestible** : Elle est formée par la graine ou le noyau, ayant une consistance dure. Le noyau représente 10 à 30 % du poids de la datte (A Bessas et al ; 2008[18]).

I.5.4.2 Variétés des dattes

Les variétés de dattes sont très nombreuses, seulement quelques-unes ont une importance commerciale. Elles se différencient par la saveur, la consistance, la forme, la couleur, le poids et les dimensions (M Belguedj 2020 [13]). En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes (S Ehannachi., et al [36]). Les principales variétés cultivées sont :

I.5.4.2.1. Variété Deglet Nour

Les dattes de la variété Deglet Nour qui veut dire « doigts de lumière » ont été ramenées en Algérie vers le 8ème siècle. C'est un fruit très énergétique (figure I.31).



Figure I.31 : Variété Deglet Nour

Ces dattes sont légendaires pour la perfection qu'on lui connaît. Elles sont qualifiées de « la reine des dattes » et l'un des produits appréciables de l'agriculture algérienne. Elles ont un goût très doux, elles sont quasi-transparentes. Les dattes de la variété Deglet Nour sont des dattes demies molles. Elles se caractérisent par un poids moyen 12 g, une longueur de 6 cm un diamètre de l'ordre de 1.8 cm un noyau lisse, de petite taille 0.8-3 cm, pointu aux deux extrémités. La rainure ventrale est peu profonde, le micropyle est central. (S Maatallah 1970[64]) Les dattes Deglet Nour ont une forme fuselée, ovoïde, légèrement aplatie du côté périlanthe. Au stade Tmar, la datte devient ombrée, avec un épicarpe lisse et brillant. Le mésocarpe est fin, de texture (A.Bennamia ; B Messaoudi 2006[16])

I.5.4.2.2. Variétés Ghars

La variété Ghars, géographiquement est abondante aux Zibans, aux Aurès, à Oued Souf, à O. Righ, à Ouargla, aux Mzab, à Metlili et Fréquente à El-Menia. La période de maturité de cette variété, se situe entre Juin et Juillet.

Les dattes sont consommées à l'état frais et peuvent être conservées dans des sacs en toiles. La variété Ghars (Figure I.32) se caractérise essentiellement par une consistance très molle, à maturité complète. Les dattes se caractérisent par un poids moyen 9 g, longueur 04 cm et un diamètre de l'ordre de 1.8 cm (M Belguedj 2020 [12]). Les dattes au stade Bser sont de couleur jaune, mielleuse au stade Roux et brun foncé à maturité. L'épicarpe est vitreux brillant, collé et légèrement plissé. Le mésocarpe est charnu, de consistance molle et de texture fibreuse (A Bessas et al ; 2008[18]).



Figure I.32 : Variété Ghars

I.5.4.2.3.Mech-Degla

La datte Mèche-Degla est de forme sub-cylindrique légèrement rétrécit à l'une de ces extrémités, teintés d'un marron peu prononcé (figureI.33).

La chaire est fermée et résistante son rendement varié entre 50 et 60 kg/arbre. A maturité, la datte est plutôt beige claire, l'épicarpe est ridé, peu brillant et cassant. Le mésocarpe est plus charnu de consistance séché et de texture fibreuse (M Belguedj 1996[13])



Figure I.33 : Mèche-Degla

I.5.5.Noyau de datte

I.5.5.1.Généralités sur le noyau de datte

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie de forme allongée, oblongue ou arrondie. Elle est composée d'un noyau, ayant une consistance dure. La varie est très variable et varie entre 0.5 et 3cm. Pour le poids, il est de 0.4 à 2 grammes selon les variétés. Sa couleur va de blanc jaunâtre au noir passant par les couleurs ambre, rouges, brunes plus en moins foncées (M.Djerbi 1994[31]) Le noyau présente 7 à 30 % du poids de la datte. Il est composé d'un

album en blanc, dur et corné protégé par une enveloppe cellulosique (E Espiard.2002 [41])(Figure I.34)

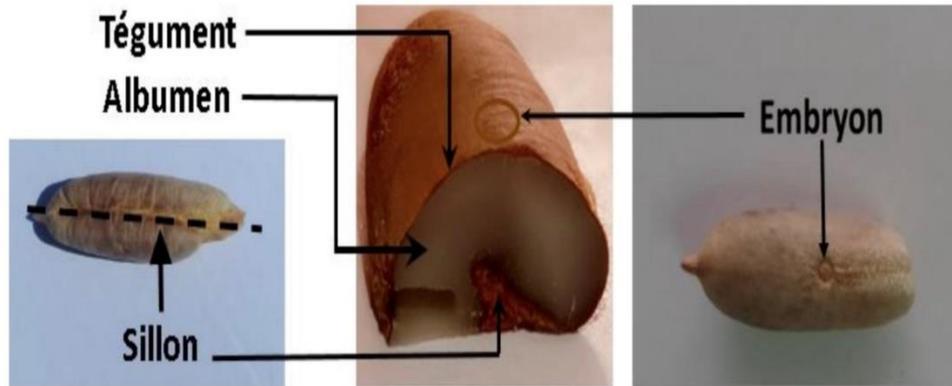


Figure I.34 : Noyau de dattes du palmier dattier

I.5.5.2 Valorisation de noyau de datte

Les sous-produits du palmier dattier (tronc, feuilles, pédicelles.... sont exploités par les habitants du Sahara, en particulier, les noyaux des dattes sont valorisés à grande échelle (SenisnaZoubida, Chaouche Hanane;1970 [84]).De nombreux travaux de recherche consacrés à la valorisation des noyaux de dattes sous forme d'acide acétique, de charbon actif, alimentation de bétail ; crème cosmétique à base de noyaux de dattes. D'autres travaux s'intéressent aux métabolites primaires des noyaux de dattes, comme la matière grasse, les protéines, les acides aminés.

I.5.5.2.1.Fabrication du charbon actif

La propriété principale des charbons actifs semble liée à la présence de micropores responsables de leur pouvoir adsorbant tandis que les macro-pores et les méso-pores s'apparentent à des conducteurs de fluides vers la surface interne (A Addoun 2000[2]).Les précurseurs du charbon peuvent être d'origine botanique (les noyaux de fruits entre autres), minérale (charbon par exemple) ou issus de matériaux polymères (caoutchouc notamment)(F.Banat 2003[11]). Selon Garcia (2002) [79] environ 50% de charbon actif utilisé dans la pratique industrielle sont d'origine botanique. Les déchets agricoles ligno-cellulosiques (substances organiques et inorganiques) contiennent des valeurs élevées en carbone (F Banat 2003[11]), ils sont considérés comme une bonne source de production du charbon actif (N Haimour, M.Emeish 2006 [53]).Les travaux d'Addoun et al. (2000)[2]

montrent que la carbonisation du noyau de dattes peuvent conduire à l'obtention de charbon actif, et peuvent avoir des applications diverses comme la purification des gaz, élimination des phénols, traitement des eaux polluées et dans la pharmacologie (Y. A Alhamed 2009 [5];C.Bouchelta., et al; 2008[22]).

Les résultats d'El Nemer (2007) [37] et ses collaborateurs montrent que le charbon actif produit par les noyaux de dattes a une capacité d'adsorption élevée qui permet d'éliminer le chrome (Cr) toxique de différentes solutions.

I.5.5.2.2 Fabrication du pain

La richesse des noyaux de dattes en fibres diététiques totale est une caractéristique très recherchée pour la fabrication du pain. Avec un taux de 10%, la poudre de noyau de datte peut remplacer les autres sources de fibres non céréalières comme le son de blé par exemple, surtout dans les pays dont les conditions climatiques ne permettent pas de cultiver ce type de céréales et dont la production de datte est importante (H.A Almana ; R.M Mahmoud 1994[6])

I.5.5.2.3 Extraction de polysaccharides

Les noyaux de dattes ont une fraction polysaccharidique très importante et ce qui peut être exploitée. Un travail consistant à valoriser la fraction polysaccharidique du noyau de datte variété Degla Baïda algérienne a donné des résultats encourageants (S Bouanani, et al.2007 [21]).Les polysaccharides végétaux sont des macromolécules qui forment au contact de l'eau des solutions colloïdales ou des gels, ces propriétés permettent d'obtenir des gélifiants, épaississants ou viscosifiants pour les industries pharmaceutiques et alimentaires (S Bouanani, et al.2007[21]).

I.5.5.2.4 Alimentation animale

Pour augmenter le taux de croissance chez les animaux, la poudre du noyau de datte est additionnée à l'alimentation de bétail, elle a une action qui contribue à une augmentation des œstrogènes et /ou testostérones dans le plasma (A Sabah., A Jassim., Naji, 2007[82]). De son coté, Osman et al. (1999)[72] ont signalé les effets semblables des noyaux et des pulpes de dattes dans l'alimentation des poissons et des animaux laitiers.

Actuellement, les noyaux de différentes variétés de dattes sont principalement utilisés dans l'alimentation du bétail (bovin, mouton, chameaux, et les volailles) (M., Al-Farsi et al 2007[4]),M.S Rahman et al (2007[79]).

I.5.5.2.5 Huile de noyaux de datte

Les noyaux de dattes, en plus de leurs applications en pharmacologie, peuvent être une source potentielle d'huile de table (A Sabah., A Jassim., Naji, 2007[82])

I.6 Eau de gâchage

L'eau est un ingrédient essentiel du béton. Il joue deux fonctions principales : confère au béton sa maniabilité à l'état frais (propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure, la cinétique d'hydratation, etc. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences aux normes en vigueur. Les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, les eaux d'origine souterraine, les eaux de rejet industriel, l'eau de mer et les eaux saumâtres, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire (essais chimiques, physiques, etc.).

I.7. Sable

I.7.1.Définition

Les sables sont comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μ m et 05 μ m ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, c'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80 μ m n'excède pas 30%. (R Kattab 2007[59])

I.7.2 Origine des sables

Les sables sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, à des degrés divers une décomposition sur place, des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. (R Kattab 2007[59])

I.7.3. Différents types de sables :

I.7.3.1 Sable d'origine naturelle :

Le sable est une roche sédimentaire, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de cours d'eau les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques (figure I.35). En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morphoscopie) au cours des temps géologiques : les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau).

Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus élevée que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sables quartzeux, feldspathiques, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. (R Kattab 2007[59])



Figure I.35 : Sable naturel

I.7.3.2 Sables non alluvionnaires (sable de dune)

Il s'agit essentiellement de sables anciens, c'est –à-dire de dépôts détritiques déposés à des périodes géologiques variées, à des distances plus ou moins grandes des rivages. En fonction des conditions paléogéographiques, ces dépôts ont été plus ou moins brassés par les courants et recouverts par d'autres formations sédimentaires et se retrouvent actuellement émergés sur des étendues variables et des épaisseurs également très diverse. De façon générale, ces dépôts constituent cependant des gisements beaucoup plus étendus et généralement plus épais que les dépôts alluviaux



Figure I.36 : Sable de dune

. La plupart de ces sables ont actuellement des utilisations soit limitées (essentiellement remblais et couchers de forme, parfois granulats pour couche de fondation), soit très spécialisées (sables de verrerie et de fonderie, béton de type cellulaire) (figure I.36). (R Kattab 2007[59])

I.7.3.3 Sables d'origine artificielle

Ces sables proviennent de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielles comme la pouzzolane (figure I.37). Ils sont caractérisés par une bonne adhérence agrégat/liant.



Figure I.37 : Sable d'origine artificielle

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats, et qui peuvent se trouver en excès pour la production recherchée (gravier ou gravillon), ils peuvent être soit :

- Des sables rous de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant
 - Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant.
- (R Kattab 2007[59])

I.7.4 Différents constituants du sable

Le sable comporte différentes variétés de minéraux qui sont dérivés de l'élément de base le silicium (Si). Ces principaux minéraux sont classés comme suit : silice, silicates (famille la plus abondante dans la nature, plus de 90 % du poids de l'écorce terrestre), argiles et carbonates. Ces dernières se trouvent généralement sous forme de trace dans le sable (Lazhar K [60])

I.7.4.1 Silicium

Le silicium est un corps pur de symbole chimique Si, de numéro atomique 14, de poids atomique 28,08 g/mol. Il ne se trouve jamais à l'état natif mais constitué sous forme de silice et de silicate. C'est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (environ 27,2 %) après l'oxygène (environ 60%).

I.7.4.2 Silice (ou quartz SiO_2)

Le dioxyde de silicium ou silice occupe parmi les oxydes, une place exceptionnelle. Les nombreuses applications industrielles (optique, électronique, production de matériaux réfractaires, etc.).

I.7.4.3 Silicates

Les silicates désignent une importante famille de minéraux dérivants de la silice (SiO_2) car ils constituent environ 97 % de la croûte terrestre. Ces minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres de silicium [SiO_4] sont additionnés à d'autres éléments tels l'aluminium, le magnésium, le fer, le calcium, le potassium, le sodium etc.

I.7.4.4 Argiles

Les argiles regroupent l'ensemble des matériaux dont les particules n'excèdent pas 2 mm de diamètre équivalent. Ils correspondent à des minéraux spécifiques que l'on ne rencontre jamais en particule plus grosse. Ces minéraux sont des silicates d'aluminium hydratés, ils appartiennent à la famille des phyllo silicates qui présentent une structure cristalline en feuillet.

I.7.4.5 Carbonates

Les minerais de carbonate rencontrés le plus souvent dans les sols sont la Calcite CaCO_3 , la Dolomite $[\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2]$, la Nahcolite (NaHCO_3), la Trona $[\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \text{H}_2\text{O}]$ et la Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

I.7.5 Classification des sables

On peut classer les sables :(Azzouz. H2009 [9])

I.7.5.1 La granularité : permet de séparer les sable en trois catégories sont :

- Sables fins
- Sables moyens
- Sables grossiers.

I.7.5.2 La propreté et la teneur en fines : elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

I.7.5.3 La nature minéralogique : En général, les sables peuvent être classés comme suit :

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

I.7.5.4 Leurs provenances : Selon leurs provenances (S. Rezig [80]) 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 (figure I.38).



Figure I.38 : Sable de rivière

- **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. (figure I.39).



Figure I.39 : Sable de mer

- **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** : 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.
- **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.(figure I.40).



Figure I.40 : Sable de carrière

I.7.6 Les caractéristiques de sable

Les principaux critères utilisés pour caractériser un sable sont sa courbe granulométrique et sa rondeur. D'autres caractéristiques sont la teneur en matières argileuses, en coquillages et chlorures (P.Chevalier 2011[74])

-La courbe granulométrique

La granulométrie mesure la dispersion de la taille des grains. Elle est décrite par un intervalle $0/X$ où X donne la valeur en millimètre pour laquelle 85% des grains ont un diamètre inférieur ou égal à X . Plus X est petit plus le sable est considéré comme fin. La teneur en « fines » d'un sable est aussi prise en compte. Il s'agit de la proportion de grains dont la taille est inférieure à 0,063mm. La teneur en fines affecte la manière dont le sable absorbe l'eau par capillarité. Les sables de concassage, à moins d'être lavés, ont une teneur en fines élevée. À l'inverse, les sables extraits de la mer ou de rivières ou les sables lavés en général ont une teneur en fines plus faible car les fines sont entraînées avec l'eau.

- La forme du grain

Suivant l'origine du sable, la forme du grain est différente. Ainsi, un grain rond améliore la fluidité du sable et des mélanges auxquels il participe. À l'inverse, un grain anguleux favorise la résistance du matériau dont il fait partie. Les sables marins ou naturels sont plus ronds. Suivant leur origine les sables de rivière sont plus ou moins ronds. Les sables de concassage sont anguleux.

-Autres caractéristiques techniques

En plus de la granularité et la forme des grains, le taux de chlorures, les teneurs en argile et en coquillages sont d'autres paramètres importants de la qualité du sable. Une teneur en chlorure

trop élevée n'est pas souhaitable dans des applications liées au fer telles que les bétons armés puisqu'ils oxydent le fer et provoquent la rouille de la structure métallique. La présence de sels dans les mortiers ou les matériaux de construction provoque des phénomènes d'efflorescence.

L'argile étant rétentrice d'eau, une présence importante dans le sable affecte les dosages d'eau dans des applications comme le béton ou le mortier. L'argile apporte aussi un composant « gras » qui affecte, par exemple, la plasticité du sable.

I.7.7 Les principales applications de sable

- Les bétons

Son utilisation est très importante dans la construction : il est utilisé pour la fabrication de fondations et de chapes, de matériaux de constructions divers (tuyauteries, poutres, etc.) (P.Chevalier,et al ; 2011[74]).

Ce mélange est constitué de granulats, de sable, de ciment et d'eau. Les graviers apportent les qualités de la roche. Le ciment combiné avec l'eau est le liant des pierres. Le sable, granulat de petite taille, remplit les vides entre les éléments de plus grande taille : il favorise donc la résistance du béton et diminue la quantité de liant nécessaire au mélange. Il existe de nombreuses variétés de béton avec leurs avantages et leurs utilisations propres. Deux paramètres importants sont la résistance et l'ouvrabilité du mélange. Les qualités de résistance du béton seront d'autant meilleures que la partie « granulats » sera importante (c'est-à-dire que la partie « liant » est réduite autant que possible). Une combinaison équilibrée des granulats de différente taille permet cela. Dès lors, un bétonnier utilisera une combinaison de sables et de granulats de différentes tailles pour donner une courbe granulométrique équilibrée à son produit. L'ouvrabilité d'un béton est la capacité d'un mélange à être coulé. Un mélange plus fluide permet une mise en œuvre plus facile. L'ajout d'eau en excès améliore l'ouvrabilité du mélange mais provoque, outre une chute de résistance, des phénomènes de retrait et de fissuration. La forme des granulats est un autre facteur qui peut améliorer l'ouvrabilité du mélange. S'ils sont ronds ou presque arrondis, le mélange s'écoule plus facilement, suivant le phénomène du roulement à billes. L'ajout d'adjuvants spéciaux permet également d'améliorer l'ouvrabilité.(Figure I.41)



Figure I.41 : Béton

-Maçonnerie et mortiers

Les sables sont essentiels dans la fabrication de mortiers et de mortiers de jointoiment de façade. Typiquement, un mortier est un mélange de ciment, de sable et d'eau. Suivant les cas, les qualités de mortiers diffèrent très fort. Les mélanges sable et ciment (figure I.42) pour mortiers préfabriqués vendus en sacs ou en silos ont une composition pointue, avec plusieurs types de sables en général (P.Chevalier 2011[74])



Figure I.42 : Mortier

-Les mélanges bitumineux

Asphalte coulé et enrobé sont des mélanges bitumeux. Une vision très réductrice des choses est de considérer que les matériaux bitumeux sont des bétons où le liant est du bitume.



Figure I.43 : Mélange bitumineux

L'enrobé est le mélange le plus proche du béton. Outre le bitume, il est composé de fines, de sable et de granulats. Il est utilisé principalement pour le revêtement de chaussées. Excepté l'eau, les enjeux techniques sont les mêmes que pour le béton. L'ouvrabilité est assurée par la température du mélange (200°C) avant mise en œuvre. La rondeur des granulats a un effet favorable mais secondaire (P.Chevalier 2011[74]). En comparaison de l'enrobé, l'asphalte coulé se caractérise par une plus grande proportion de bitume et de fines. Les fines apportent de la consistance au mélange. Une fois sèche, ce matériau possède une grande étanchéité. (FigureI.43)

- L'industrie du verre

Le sable siliceux (naturel) est la principale matière première dans la fabrication du verre. La silice est en effet l'élément vitrifiant qui donne au verre sa structure. Si la silice vitrifie, les autres composants du sable tels les oxydes de fer et de manganèse sont des impuretés qui diminuent les qualités transparentes du verre. Le sable recherché doit être aussi pur que possible (P.Chevalier 2011[74]). La granulométrie est aussi surveillée : la présence de fines n'est pas souhaitée car elles génèrent des poussières et les grains trop gros ralentissent le processus de fusion.

- Autres usages : Actuellement, le sable est largement utilisé dans le domaine de filtration, par exemple filtration de l'eau et filtration des produits toxiques. Il est aussi utilisé pour les opérations à hautes températures et qui nécessitent des matériaux réfractaires comme le moulage et les fours. Dans le domaine optique, le sable est utilisé pour la production des verres de toutes sortes. On le trouve aussi dans le domaine énergétique, électrique et électronique comme les panneaux et les équipements d'énergie solaire. Le sable est la matière

première pour l'extraction de dioxyde de silicium (SiO_2) qui est lui-même la source de silicium (Si) pur (figureI.44) (P.Chevalier 2011[74])



Figure I.44 : Sable siliceux

I.8 Déchets solides

Introduction :

L'urbanisation et le développement économique ont généralement pour corollaire une augmentation de la production des déchets par habitant et un accroissement des besoins alimentaires. Les Algériens produisent énormément de déchets ménagers et 0,8 kg/jour/habitant dans les zones urbaines et 0,65 kg/jour/habitant dans les zones rurales.

I.8.1 Définition des déchets solides :

Un déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. C'est donc quelque chose devenue inutile, et qui n'a aucune valeur économique pour la plupart des personnes. Alors que ces résidus peuvent être éliminés (lorsqu'ils sont destinés à l'enfouissement dans les décharges ou à être enterrés) ou recyclés (obtenant ainsi un nouvel usage).

L'adjectif « solide », d'autre part, mentionne ce qui est massif ou ferme. Un corps solide conserve son volume (ou sa taille) et sa forme constants grâce à la grande cohésion des molécules.

Les déchets solides (constitués par des débris combustibles et non combustibles tels que déchets ménagers, emballages, les papiers utilisés, cartons, bois, paille, briques, pierres, bouteilles en plastique et autres.) s'opposent aux déchets liquides (eaux usées ménagères, industrielles et agricoles, huiles de vidange) et aux déchets gazeux (fumée, poussière, gaz à effet de serre, gaz d'échappement, fumées d'usines, aérosols).

Les déchets solides ont un impact environnemental sévère :

- altération de la qualité de l'air (gaz, fumées et poussières) ;
- altération des sols et des paysages par des polluants chimiques ;
- pollution des ressources en eau par les infiltrats et les eaux usées.

Les déchets solides proviennent essentiellement des activités humaines à savoir :

- Les déchets domestiques
- Les déchets commerciaux et artisanaux
- Les déchets de voiries
- Les déchets industriels
- Les déchets agricoles et animaux.

I.8.2 Types des déchets solides

I.8.2.1 Déchets solides ménagers

Les déchets ménagers sont constitués par les déchets des ménages et autres déchets assimilés, qui peuvent être, eu égard à leurs caractéristiques, collectés et traités par les collectivités locales (commerciales et institutionnelles, l'horticulture et le balayage des routes). Ce sont donc les déchets que tout particulier produit dans sa vie quotidienne. Ils comprennent aussi les articles tels que l'emballage, le papier, le carton, les déchets alimentaires, les sacs en plastique et les conteneurs, les bouteilles en verre, les coupures de gazon, les meubles, les pneus, les articles électriques et électroniques et les métaux. (Figure I.45)



Figure I.45 : Déchets solides ménagers

I.8.2.2.Déchets agricoles et animaux

Les déchets agricoles comprennent les résidus de cultures primaires qui restent dans les champs après la récolte et les résidus de transformation secondaires provenant des récoltes des cultures pendant la production des aliments, des aliments pour animaux et des fibres. Cela est généré au cours de la production et de la distribution par décomposition de denrées alimentaires, de légumes ou de viande, d'enlèvement de pièces non utilisables (figureI.46).



Figure I.46 : Déchets agricoles et animaux

I.8.3 Déchets du bâtiment et des travaux publics (Déchets de la construction)

Les déchets du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP) correspondent aux déchets provenant du secteur du bâtiment et des travaux publics (construction, réhabilitation, démolition et déconstruction dans les domaines du bâtiment et des travaux publics). Il peut s'agir de matériaux de construction encombrants et lourds composés de béton, de déchets de bois de construction, d'asphalte de routes et de bardeaux de toit, de gypse de plâtre, de métaux, de briques, de blocs, de verre, de matières plastiques, souches, terre, parpaings, tuiles , céramiques, granulats.(Figure I.47)



Figure I.47 : Déchets du bâtiment

I.8.3.1 Déchets inertes

Les déchets inertes sont les déchets les plus stables. En cas stockage en décharge, ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante et ne présentent pas de danger pour l'homme et l'environnement. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement ou à la santé. Il s'agit des :(figureI.49)



Figure I.48 : Déchets inertes

- Bétons.
- Briques.
- tuiles et céramiques.
- Mélange de béton, briques.
- Verre (partie vitrage uniquement).
- Matériaux bitumineux sans goudron.
- Terres et pierres (y compris déblais mais hors terre végétale).

I.8.3.2 Déchets dangereux

Parmi les déchets dangereux on trouve : déchets amiantés, plomb, bois traités (NN. Eldin, AB Senouci 1993[38]), matériaux souillés par des peintures au plomb, solvants, DIB souillés par des substances dangereuses, goudrons et matériaux contenant des goudrons, etc.). Ils comptent pour une part significative des impacts environnementaux de la vie d'un bâtiment ou d'une infrastructure (UB. Topçu et al, 1995[91])

Les déchets dangereux, anciennement nommés déchets industriels spéciaux (DIS), contiennent des substances dangereuses pour l'environnement ou la santé. Ils sont marqués

d'un astérisque dans la classification des déchets. La réglementation impose un suivi rigoureux de ces déchets à l'aide de bordereaux de suivi. Il s'agit notamment des :

- Aérosols.
- Accumulateurs et piles contenant des substances dangereuses.
- Bois traité avec des substances dangereuses.
- Boues de séparateur d'hydrocarbures.
- Cartouches contenant des substances dangereuses.
- Emballages souillés par des substances dangereuses.
- Produits contenant du goudron.
- Lampes à économie d'énergie.
- déchets d'équipements électriques et électroniques contenant des substances dangereuses.
- peintures, vernis, colles, solvants contenant des substances dangereuses.
- Pinceaux, chiffons souillés avec des produits dangereux.
- Produits absorbants pollués aux hydrocarbures.
- Transformateurs au pyralène...
- de l'amiante friable et lié, tous matériaux amiantés.

I.8.3.3 Déchets non dangereux non inertes (déchets banals)

Anciennement nommés déchets industriels banals (DIB), les déchets non dangereux non inertes sont générés par les activités, publiques ou privées, du commerce, de l'artisanat, de l'industrie ou du service. Ce sont des déchets qui ne présentent pas de danger particulier vis-à-vis des personnes ou de l'environnement et qui peuvent être éliminés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères. Il s'agit : (Najim et al, 2012[8])

- Métaux et leurs alliages.
- Bois bruts ou faiblement adjuvants.
- Papiers, Cartons.
- Plastiques.
- Laines minérales.
- Peintures, vernis, colles, mastics en phase aqueuse.
- Cartouches ne contenant pas de produits toxiques.
- Mélanges de ces différents déchets, y compris les mélanges contenant des déchets inertes, (déchets d'équipements électriques et électroniques) ne contenant pas de substances dangereuses.
- le Plâtre

Conclusion du chapitre I

Les déchets solides polluent la nature et occupent un grand volume dans les décharges publiques alors qu'ils peuvent être recyclés. Certains déchets ont été associés partiellement dans le mortier ou béton pour contribuer à réduire la production de ciment et par conséquent réduction des émissions de CO₂. Parmi ces déchets le caoutchouc, poudrette de marbre, la pouzzolane naturelle, le stérile de charbon et la poudre de verre.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés sur l'utilisation et le comportement mécanique de ces déchets dans le mortier qui est l'un des matériaux de construction. La majorité offre une bonne résistance à la compression.

A travers cette synthèse bibliographique, on a présenté des caractéristiques essentielles des déchets solides dans le contexte de leur réutilisation dans le mortier. Les déchets utilisés dans ce travail sont le verre et les noyaux de dattes.

II. -METHODE ET MATERIAUX

Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un mortier joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures, les propriétés essentielles du mortier sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants. De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un mortier, selon les normes en vigueur. Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection du mortier à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

Méthodes expérimentales

II.1.1 Essai de compression

II.1.1.1 But de l'essai de compression

L'essai de la résistance à la compression d'un matériau sur une machine d'essais mécanique est réalisé suivant un protocole normalisé. Cette instruction a pour objet la détermination des résistances mécaniques à la compression sur mortier de ciment, selon les méthodes d'essai de la norme européenne EN 196-1.



Figure II.1 : Essai de compression

Il se fait souvent sur le même appareil que l'essai de traction mais en appliquant la charge en compression au lieu de l'appliquer en traction. (Figure II.1)

II.1.1.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à étudier la résistance à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Pendant l'essai de compression, l'échantillon se raccourcit et s'élargit. La déformation relative est « négative » en ce sens que la longueur de l'échantillon diminue. La compression tend de plus à amplifier les irrégularités latérales de l'échantillon et, au-delà d'une contrainte critique, l'échantillon peut fléchir et la flèche peut s'accroître jusqu'à flambage.

II.1.1.3 Procédure de l'essai

-Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

-Augmenter la charge avec une vitesse de $2400 \text{ N/s} \pm 1\,200 \text{ N/s}$ durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture). La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \text{ (II.1)}$$

R_c est la résistance en compression, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

F_c est la charge maximale à la rupture, en newtons.

II.1.2 Essai à la flexion

-Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les

rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci (Figure II.2).

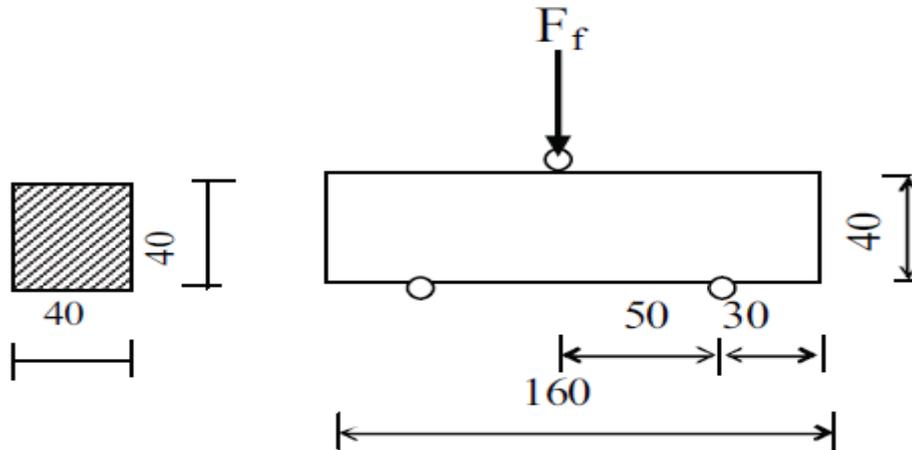


Figure II.2 : Essai de traction par flexion

-Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s \pm 10 N/jusqu'à rupture. (Figure II.3)



Figure II.3 : Essai de flexion

-Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{L \cdot 1,5 F_f}{b^3} \quad (\text{II.2})$$

R_f est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

F_f est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L est la distance entre les appuis, en millimètres

II.1.3 Essai ultras son

II.1.3.1 Objectif

Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur d'un matériau.

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission et la réflexion d'onde de type ultrasons à l'intérieur d'un matériau. Les ondes utilisées peuvent être libres (de compression ou de cisaillement) ou guidées (de surface ou de plaque).

Il est destiné surtout pour tester l'homogénéité du béton car les résultats dépendent de la formulation de béton de la densité, de la porosité, de l'humidité. Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

II.1.3.2 Principe

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance connue. D'après Leslie et Cheesman, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée. (N.Djebri 2006[32])

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur.

La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 KHZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électronique. (Figure II.4)



Figure II.4 : Appareil de mesure électronique

II.1.3.3 Mode opératoire

Les travaux préparatoires consistent à :

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé.
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériau d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.(Figure II.5)



Figure II.5 : Appareils de mesure

Le nombre de points de mesure dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) Les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

II.1.3.4 Etalonnage de l'appareil

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige d'étalonnage dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige d'étalonnage.

II.1.3.5 Méthodologie de mesure

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait par trois méthodes en fonction du type de l'élément à tester :

II.1.3.5.1 Mesure en transparence (directe)

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. (Figure II.6)

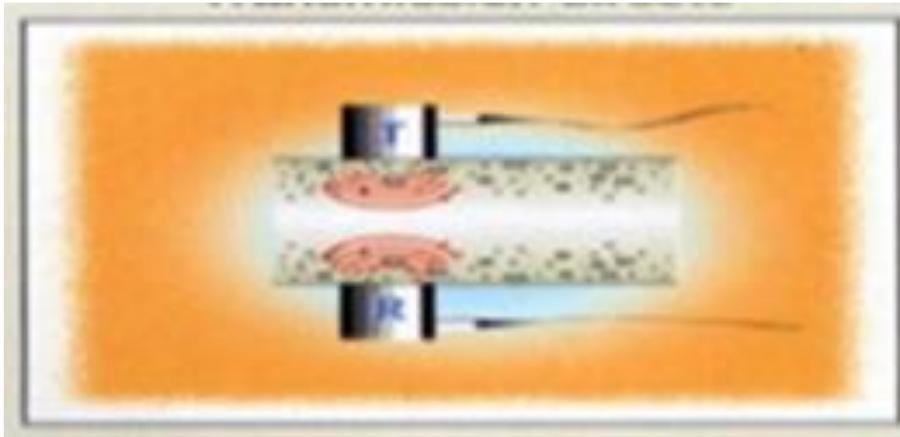


Figure II.6 : Mesure directe

II.1.3.5.2 Mesures en surface (indirecte)

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur. (Figure II.7).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

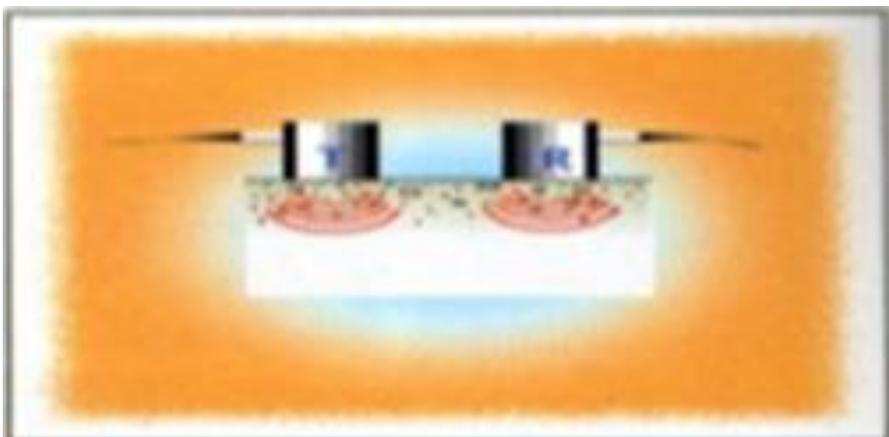


Figure II.7 : Mesure indirecte ou de surface

II.1.3.5.3 Mesures semi directe

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les deux autres manières. (Figure II.8)

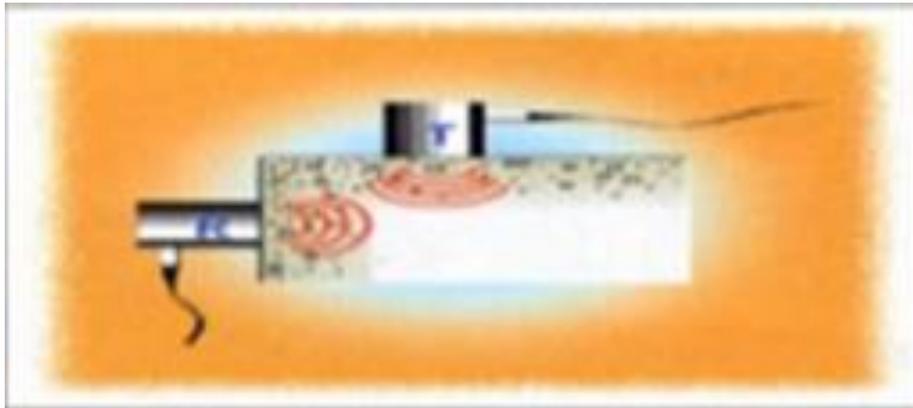


Figure II.8 : Mesure semi-directe

II.1.3.5.4 Paramètres influant la vitesse des ultrasons

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulats donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- Le type de ciment.
- Le dosage en ciment.
- La nature des granulats.
- La granulométrie.
- L'humidité du béton.
- La maturité du béton.
- Les adjuvants.

II.1.3.5.5 Estimation de la résistance du béton selon RILEM

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connu. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. Seules les appréciations suivantes sont données :

Classements qualitatifs :

- $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance
- $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

II.1.4 Retraits et gonflements (variation dimensionnelle) :

La mesure du gonflement dans l'eau et du retrait dans l'air est effectuée généralement sur des éprouvettes (4*4*16 cm) confectionnées avec un mortier « normal » caractérisant ainsi le liant. (A.Brahma ; 1996[25])

Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours. (Norme NF P 15- 361)

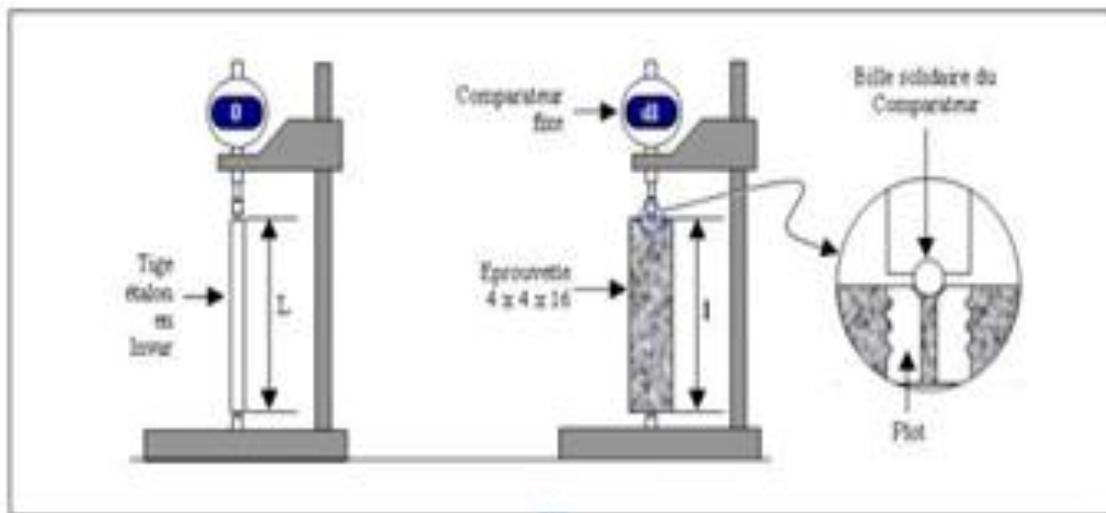


Figure II.9 : Appareillage pour la mesure du retrait [12]

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers

jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10 mm). (figure II.9)

II.1.5 Essai de maniabilité sur mortier

L'essai de maniabilité permet d'apprécier la fluidité d'un mortier selon les normes NF P18-452 et NF P 15-437



Figure II.10 : Maniabilimètre de mortier

La fluidité est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

L'appareil utilisé est appelé maniabilimètre LCL (Laboratoire Central Lesage) (7.5cm×7.5cm×15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible. (Figure II.10).

II.1.5.1 Les différentes compositions

On prend une première composition S1:

S1= (1500g sable de construction + 500g de ciment + 225g eau).

On ajoute une quantité d'eau pour avoir une deuxième composition S2 :

S2= (1500g sable de construction+500g ciment+235g eau)

On ajoute une quantité d'eau pour avoir une troisième composition S3 :

S3 (1500g sable de construction+500g ciment +240g eau).

II.1.5.2 Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison, provoquant la mise en route du vibreur, la cloison est retirée et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier (P1-437) ; 1987[97]). Les résultats sont récapitulés dans le tableau II.I suivant :

Tableau(II.1) : Type de mortier selon le temps de maniabilité (P1-437 ; 1987[97])

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

II.1.6 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique selon la norme NF EN 933-2[25] permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs de différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 µm à l'exclusion des fillers. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas (Figure II.11). Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis, On distingue :

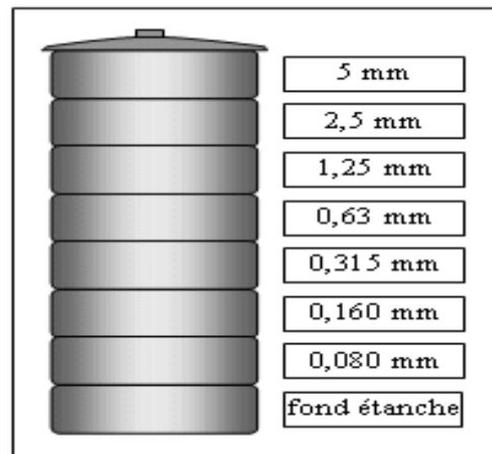


Figure II.11 : Tamis de l'analyse granulométrique.

- Le refus désigne la partie des grains retenue dans un tamis.
- Le refus cumulé représente tous les grains bloqués jusqu'au tamis considéré (les grains du tamis considéré plus les grains bloqués dans les tamis de mailles supérieures).
- Le tamisât ou passant désigne la partie qui traverse le tamis.

Les masses cumulées des différents refus sont exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de l'échantillon de granulat. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités soit numériquement soit graphiquement (Figure II.12). Cela permet d'observer la proportion de refus cumulé ou de tamisât jusqu'à un diamètre de grain par rapport au granulat.

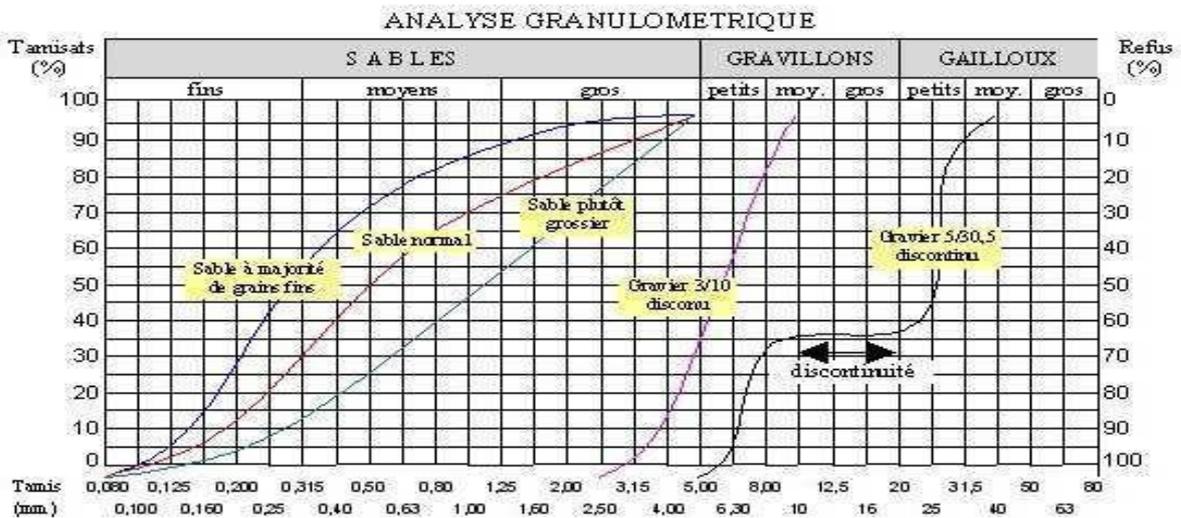


Figure II.12 : Courbe granulométrique dans différents cas

II.1.7 Module de finesse

Par la Norme Française [NFP 18-540] :

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{refuscumulés en \% destamis} (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5) \text{ (II.3)}$$

II.1.8 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598)

L'essai d'équivalent de sable utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons ou mortier. Il consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de sable. L'essai est effectué

sur la fraction 0/5mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tous. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre + élément fins.
- hauteur h_2 : sable propre seulement (piston).
- h'_2 : Sable propre seulement (visuel

Mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston). (Figure II.13)

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \text{ (II.4)}$$

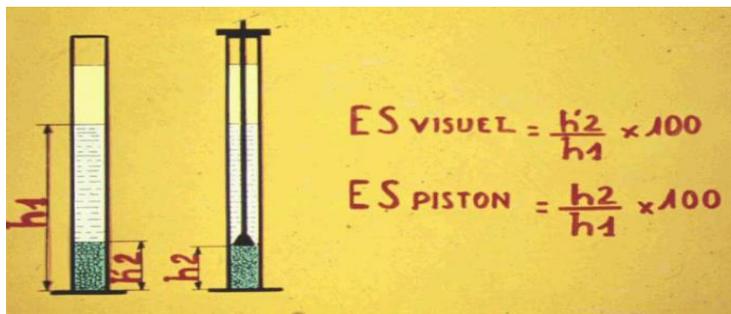


Figure II.13 : Essai d'équivalent de sable

II.1.9 Masse volumique apparente

Cet essai est régi par la norme NFP 18-554, elle 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 (R. Dupain, et al 2000[34]).

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M_1 - M_0}{V} \text{ (II.5)}$$

Avec :

ρ est la masse volumique apparente.

M_0 est la masse de récipient vide et propre.

M_1 est la masse de récipient rempli.

V est le volume de récipient.

L'essai de la Masse volumique apparente doit être réalisé selon la norme [NFP 18 554].

Principe de la méthode :

- Déterminer le volume du récipient =V
- Noter la masse du récipient propre et vide =M₀
- Placer le récipient dans le bac en plastique
- Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel à 10 cm environ au-dessus de niveau de récipient
- laisser tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement. Verser ainsi le corps, ce matériau doit s'effectuer au centre de ce récipient, jusqu'il déborde tout autour en formant un cône.
- Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va et vient, le récipient étant attaqué le long d'une diagonale horizontale
- Noter la masse du récipient rempli= M₁
- Vider le granulat dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure
- Renouveler l'opération 3 fois

II.1.10 Masse volumique absolue

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. L'essai de La Masse Volumique absolue doit être réalisé selon la norme [NFP 18-301].[EN 1097-6 1998 [96]

Les masses volumiques s'expriment en t/m³, en kg/m³, ou en g/cm³.

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

Mode opératoire :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V₁ d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s sable (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

-Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 (Figure II.14)

La masse volumique ρ_s absolue est alors :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (\text{II.6})$$

M est la masse des grains solides

V_1 est le volume de l'eau

V_2 est le volume total (grains solide + eau).

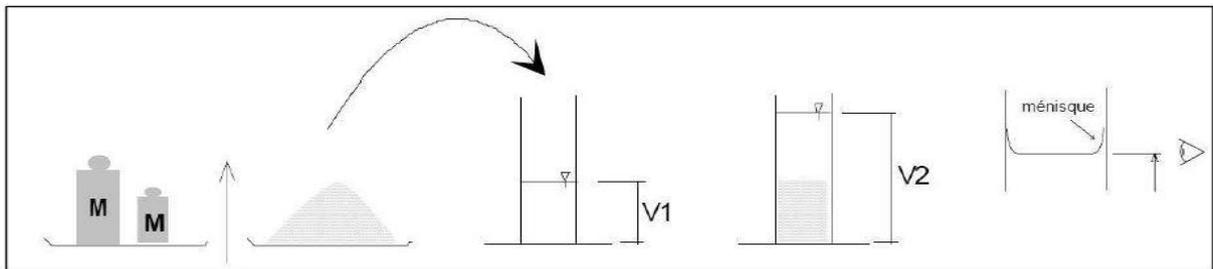


Figure II.14 : Principe de détermination de la masse volumique absolue

Matériaux utilisés

Les matériaux ont été préparés au laboratoire du département de Génie civil et Hydraulique de l'université de Ouargla. Les préparations ont été réalisées la première semaine de Mars 2020.

II.1.11 Charbon actif

Les étapes de préparation du charbon actif sont :

- Retrait des noyaux des dattes, nettoyage et lavage avec l'eau distillée. (figure II.15)
- Séchage des noyaux dans l'étuve à une température de 120 ° pendant 24h. (figure II.16)
- L'obtention de 4700g de noyaux séchés. (figure II.17)
- Concassage des noyaux séchés dans un moulin traditionnel.
- Brulage des noyaux des dattes dans un four à une température de 400 c° pendant 6 heures. (figure II.18)
- Obtention de 804g de charbon actif.
- Broyage de ce charbon actif dans un broyeur (figure II.19)

- Tamisage avec un Tamis 0,08 mm de diamètre pour l'obtention du charbon actif à utiliser dans le mortier. (figure II.20)



Figure II.15 : Lavage des noyaux



Figure II.16 : Etuve de séchage



Figure II.17 : Poudre des noyaux des dattes



Figure II.18 : Four pour brulage



Figure II.19 : Broyeur



Figure II.20 : Charbon actif

II.1.12 Poudre de verre

Les étapes pour obtenir la poudre de verre sont :

- Ramassage des déchets de verre transparent utilisé dans la fabrication des fenêtres (figure II.22)
- Concassage des déchets de verre en petits morceaux manuellement à l'aide d'un marteau.
- Broyage du verre concassé à l'aide d'un broyeur
- Tamisage du verre avec un tamis de 0,08 mm pour obtenir la poudre de verre. (Figure II.23)



Figure II.22 : Déchets de verre



Figure II.23 : Poudre de verre

II.1.13 Eau

L'eau utilisée pour les différents gâchages du mortier est issue du robinet du laboratoire. C'est de l'eau propre et potable.

II.1.14 Sable

On a utilisé le sable de construction de gisement de Sidi Slimane Touggourt. C'est un sable alluvionnaire de classe granulaire (0/5) à couleur jaune.

II.1.15 Mortier

II.1.15.1 Préparation du mortier

Pour la composition du mortier de sable témoin, on a utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui d'un mortier normalisé défini par la norme EN 196-1. Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalisé et d'une demi partie d'eau (le rapport eau / ciment = 0.50).

Pour l'essai de maniabilité, la quantité d'eau du mortier correspond à un mortier « plastique » (P1-437 ; 1987[26])

On remplit pour chaque essai trois éprouvettes et on prend la moyenne.

Pour la préparation du mortier on suit les étapes suivantes :

- Versement du sable et du ciment dans le récipient.
- Malaxage du sable et du ciment avec la truelle ronde jusqu'à ce qu'il soit homogène (figure II.23)



Figure II.24 : Malaxage du mortier

- Introduction de l'eau au fur à mesure pendant le malaxage.
- Malaxage pendant 60 secondes supplémentaires.

Le malaxage n'a pas été effectué au laboratoire mais à la maison manuellement à cause des « Mesures préventives de santé au niveau de l'université (Covid-19) ».

II.1.15.2 Préparation des éprouvettes

- Les éprouvettes sont de forme prismatique 4cm x 4cm x 16cm et cubique 4cm x 4cm x 4cm. Elles doivent être moulées immédiatement à la confection du mortier pour éviter le séchage de l'échantillon.
- On étale de l'huile industrielle l'intérieur du moule pour faciliter le démoulage des éprouvettes. (Figure II.25).



Figure II.25 : Eprouvette prismatique huilée

- On verse la première couche du mortier, on pique avec une pièce en bois et on frappe à l'aide d'un marteau pour faire vibrer l'échantillon. (Figure II.26)



Figure II.26 : Remplissage de l'éprouvette prismatique

- On reverse la deuxième couche du mortier en appliquant les mêmes étapes précédentes (piquage et frappe) pour le remplissage des éprouvettes prismatiques (Figure II.27) et les éprouvettes cubiques (Figure II.28)



Figure II.27 : Eprouvette prismatique



Figure II.28 : Eprouvette cubique

- On enlève l'excédent de mortier par arasage avec la cuillère. (Figure II.29 et Figure II.30)



Figure II.29 : Rasage de la surface



Figure II.30 : Epreuve après rasage

- On lisse la surface des éprouvettes (Figure II.31)



Figure II.31 : Epreuve prismatique après lissage

- Le moule rempli de mortier est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage sur un support horizontal dans une chambre climatisée dont la température de $24 \pm 2^\circ\text{C}$.



Figure II.32 : Epreuve après 24h

-Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage.

-Les éprouvettes sont alors marquées convenablement avec un crayon. (Figure II.32 et Figure II.32)

II.1.15.3 Mode opératoire

On a préparé 36 éprouvettes cubiques 4cm x 4cm x 4cm (figure II.33) et 36 éprouvettes prismatiques (figure II.34) 4cm x 4cm x 16cm. Ces 72 éprouvettes ont pour but la caractérisation physique et mécanique des mortiers.



Figure II.33 : Epreuve cubique



Figure II.34 : Epreuve prismatique

Pour la détermination du retrait et gonflement les extrémités supérieures de l'éprouvette sont munies de plots. (Figure II.35).



Figure II.35 : Extrémité supérieure de l'éprouvette munis de plots

Les éprouvettes cubiques pour la détermination de la compression et les prismatiques pour la flexion (figure II.3 et figure II.37, l'ultra son et le retrait (Figure II.38).



Figure II.36 : Epreuve avant rupture



Figure II.37 : Epreuve après rupture



Figure II.38 : Epreuve à l'essai de retrait

Les mortiers sont confectionnés en différent pourcentage de poudre de verre et de charbon actif selon trois (3) scénarios comme suit :

Le premier scénario : « Scénario témoin »

La composition est (1500g de sable de construction + 500g de ciment + 240g d'eau.)

Le deuxième scénario : « Scénario verre »

Remplacement partiel 15% du ciment par poudre de verre (1500g de sable de construction + 425g de ciment+75g de poudre de verre +240g d'eau)

Le troisième scénario : Scénario « charbon actif »

Remplacement partiel 15% du ciment par charbon actif (1500g de sable de construction + 425g de ciment+75g de charbon actif + 240g d'eau).

Les essais sont réalisés au bout de 7 jours et au bout de 14 jours.

On fait tous les essais pour

- 3 scénarios « témoin »
- 3 Scénarios « verre »
- 3 scénarios « charbon actif »

Conclusion du chapitre II

L'essai à la compression, l'essai à la flexion, l'essai ultras son, l'essai de retrait et gonflements ont été effectués pour montrer l'efficacité de l'utilisation de la poudre de verre et du charbon actif à base de noyaux de dattes dans le mortier. Trois répétitions pour chaque essai sont nécessaires, 72 éprouvettes ont donc été confectionnées.

L'essai de maniabilité détermine la fluidité du mortier.

Dans le contexte de préparation du mortier, les caractéristiques essentielles des matériaux utilisés (Charbon actif à base de noyaux de dattes, Poudre de verre, Eau, Sable) ont été définies.

Les caractéristiques du sable ont été déterminées à l'aide de l'analyse granulométrique, module de finesse, équivalent de sable, masse volumique apparente, masse volumique absolue.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Présentons dans ce chapitre les résultats de tous les essais (compression, flexion, ultras son, retraits, gonflements et maniabilité), ainsi que les caractéristiques du sable.

III.1 Les caractéristiques de Sable

III.1.1 Analyse granulométrique

On récapitule les résultats de l'analyse granulométrique du sable de construction utilisé dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 : Résultats de l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5	00	00	00	100
2.5	25	1.25	1.25	98.75
1.25	134.9	6.75	8	92.00
0.63	542.3	27.12	35.12	64.88
0.315	873.8	43.69	78.81	21.19
0.16	124.6	6.23	85.04	14.96
0.1	282.1	14.41	99.45	0.55
0.08	9.3	0.47	99.92	0.08

A l'aide des valeurs du tableau III.1, on construit la courbe granulométrique des tamisât(%) fonction des diamètres (figure III.1).

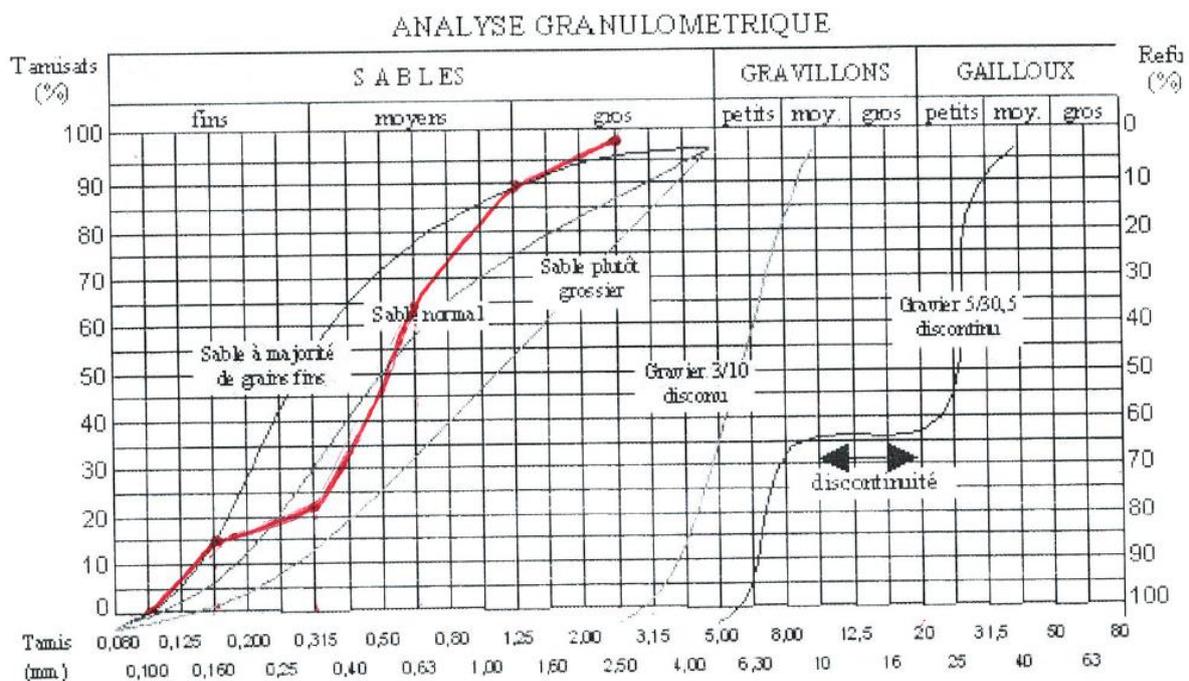


Figure III.1 : Courbe granulométrique de sable utilisé

La courbe granulométrique des tamisât(%) fonction des diamètres (en rouge) est dans le fuseau sable avec un faible écart avec le sable normal. **Le sable est donc normal.**

III.1.2 Module de finesse

Avec les valeurs des refus du tableau III.1, on calcule le module de finesse par la formule :

$$Mf = \frac{1}{100} (1.25 + 8 + 35.12 + 78.81 + 85.04)$$

$$Mf = 2.08$$

$1.8 < Mf \leq 2.2$ **sable favorable.**

III.1.3 Equivalent de sable

On récapitule les résultats de l'équivalent de sable dans le tableau III.2 suivant :

Tableau III.2 : Résultats de l'équivalent de sable

Essai Lecture	1		2		3		
	Visuel	Piston	Visuel	Piston	Visuel	Piston	
H1	11.7	12.8	11.7	12.6	11.6	12.6	
H2	–	8.3	–	8.5	–	8.1	
H'2	8.3	–	8.7	–	8.7	–	
ESV %	70.94	–	74.36	–	75	–	73.43
ES %	–	70.94		72.64	–	69.83	71.14

D'après le tableau III.2 les moyennes sont :

$$ES_{moy} = 71.14 \%$$

$$ESV_{moy} = 73.43 \%$$

Les moyennes sont comprises entre 70 et 80 ($70 \% \leq ES < 80(\%$; le sable est propre à faible proportion des fines argileuses convenant parfaitement pour les mortiers de haute qualité.

III.1.4 Masse volumique apparente

On récapitule les résultats des valeurs de la masse volumique apparente des essais réalisés selon la Norme [NFP18-554] dans le tableau III.3 suivant :

Tableau III.3 : Valeur de la masse volumique apparente

Essai		1	2	3
Volume	V (L)	1092.88×10^{-3}	1092.88×10^{-3}	1092.88×10^{-3}
Masse du récipient vide	M_0 (g)	129.6	129.6	129.6
Masse du récipient plein	M_1 (g)	1878.5	1898.00	1900.8
Masse Volumique App	ρ_{app} (g/L)	1634.49	1692.71	1655.33
Valeur Moyenne				1647.51

La masse volumique apparente est 1,65

III.1.5 Masse volumique absolue :

On récapitule les résultats des valeurs de la masse volumique absolue selon la Norme [NFP 18-301] dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : valeur de la masse volumique absolue.

Essai		1	2	3
Masse échantillonne sèche	M (g)	300	300	300
volume d'eau	V_1 (L)	200×10^{-3}	200×10^{-3}	200×10^{-3}
Nouveau Volume	V_2 (L)	320×10^{-3}	318×10^{-3}	317×10^{-3}
Masse Volumique Ab	ρ_{ab} (g/L)	2500	2542.4	2564.1
Valeur Moyenne				2535.50

La masse volumique absolue moyenne est 2,54

III.2 Propriétés de poudre de verre

On récapitule les résultats de la composition chimique de poudre de verre (en%) dans le tableau III.5 suivant :

Tableau III.5 : Composition chimique de poudre de verre (en %)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	PbO
71.9	0.054	1.705	0.248	10.905	1.299	0.035	13.063	0.575	0.095	0.026	0.111	0.006	0.028

Les propriétés physiques sont :

-Masse volumique apparente = 988 kg/m³

-Masse volumique absolue = 2469 kg/m³

-Surface spécifique BLAINE SSB = 3300 cm²/g.

III.3 Propriétés du Ciment Portland

Le ciment utilisé est un ciment Portland de CPJ CEMII A 32,5 Mpa. Il résulte du broyage du avec environ 5 % du gypse, pour la régularisation de la prise. Le ciment utilisé est celui de la cimenterie d'Ain-Touta (Batna).

On récapitule les résultats de la composition chimique de poudre du clinker (en %) dans le tableau III.6 suivant :

Tableau III.6 : Composition chimique du clinker (en %)

SIO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	RI	SO ₃	PAF
22	5.02	2.94	64.36	2.07	0.73	1.94	0.64

On récapitule Le tableau III.7 représente la composition minéralogique du clinker (en %)

Tableau III.7 : Composition minéralogique du clinker (en %)

C3S	C2S	C3A	C4AF
51.28	24.68	8.33	8.94

Les propriétés physiques sont :

-Masse volumique apparente = 1085 kg/m³

-Masse volumique absolue = 3050 kg/m³

-Surface spécifique BLAINE SSB = 3892 cm²/g

III.4 Maniabilité

Les résultats des essais de maniabilité sur les trois compositions examinées ont donné un intervalle de temps de 13 secondes pour la composition S1, un intervalle de temps de 18 seconde pour S2 et un intervalle de 23 secondes pour la composition S3.

Les rapports E/C des trois compositions étudiées sont représentés dans la figure suivante III.2. D'après la figure III-2 les valeurs de rapport E/C sont très proches et sont comprises entre 45% 48%. Selon le tableau II-1, les compositions S1 et S2 sont très plastiques. Cependant celle de S3, elle est plastique et elle est la plus favorable à adopter.

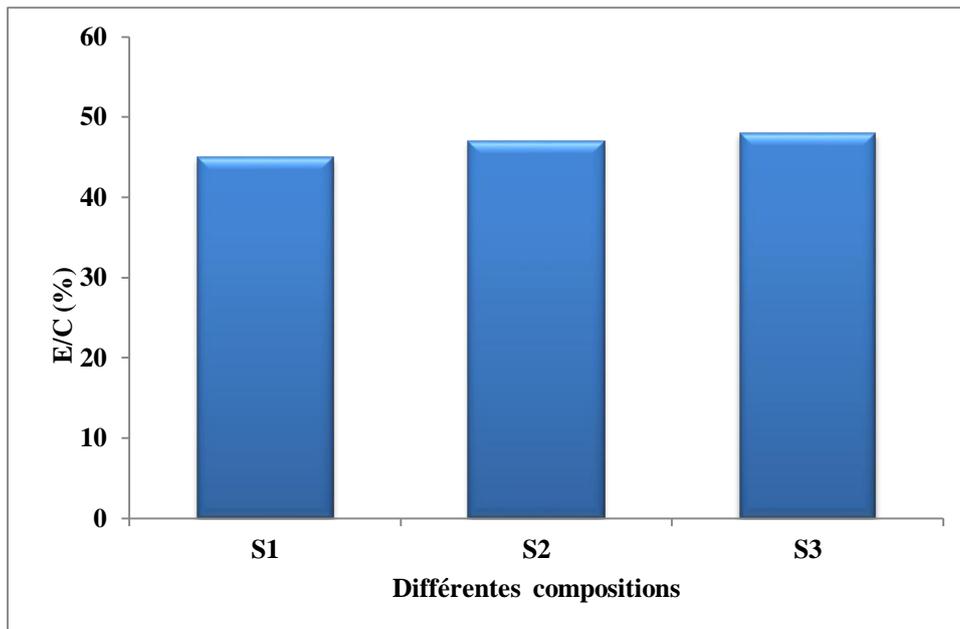


Figure III.2 : Variation de la maniabilité en fonction des différentes compositions.

III.5 Vitesse de propagation d'onde sonore

La figure III.3 qui suit représente les résultats des essais de vitesse ultrasonique faits sur les différents échantillons des deux âges 7 et 14 jours

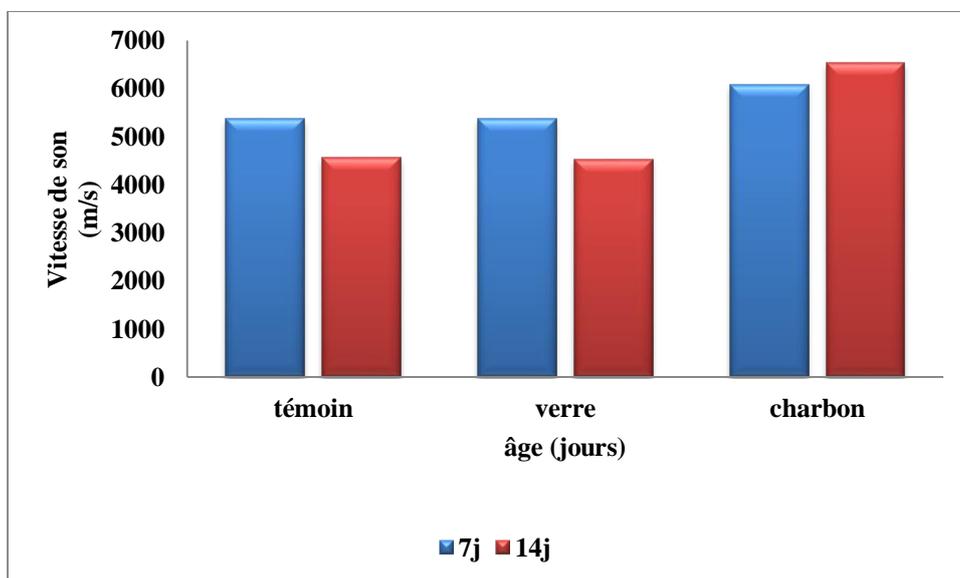


Figure III.3 : Vitesse de propagation de son dans le mortier en fonction de l'âge

D'après la figure III.3 les valeurs de vitesse de son sont comprises entre 4536,67m/s et 6533,33m/s.

Les vitesses sont supérieures à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance. (RILEM ; paragraphe II.1.3.5.5)

D'après la figure III.3 on constate que dans le cas de 7 jours la valeur maximale est 6076.67m/s pour la composition du charbon actif et la valeur minimale est 5363.33m/s pour la composition du verre. Les vitesses sont supérieures à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance.

Dans le cas de 14 jours on remarque que la valeur maximale est 6533.33 pour la composition du charbon actif et la valeur minimale est 4536.67m/s pour la composition du verre. Les vitesses sont supérieures à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance

Pour une durée de 7 jours et pour une durée de 14 jours la vitesse de propagation du son par rapport au mortier témoin, est plus faible pour la composition du verre et plus forte pour l'éprouvette de charbon actif.

Selon RILEM (paragraphe II.1.3.5.5) quand la vitesse $V \geq 4200$ m/s béton à très haute résistance. Pour toutes les compositions utilisées la vitesse $V \geq 4200$ m/s elles sont donc toutes de très haute résistance.

On calcule le taux d'augmentation de propagation de la vitesse de son par l'équation suivante :

$$\text{Taux d'augmentation} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max}} * 100 \quad (\text{III.1})$$

V_{max} est la vitesse maximale de propagation de son.

V_{min} est la vitesse minimale de propagation de son.

Les vitesses maximales et minimales d'après la figure III.2 sont récapitulées dans le tableau III.8 :

Tableau III.8 : vitesses maximales et minimales

Eprouvette	Témoin	Poudre de verre	Charbon actif
Vitesse maximale (m/s)	5.63	4.93	3.05
Vitesse minimale (m/s)	4.10	4.57	2.26
Taux d'augmentation (%)	15	15	7

Le taux d'augmentation de la vitesse de propagation de son pour la composition de témoin est 15% pour la composition du verre 15%, et pour la composition du charbon actif est 7%.

III.6 Résistance à la flexion

La figure III.4 vient pour représenter les résultats des essais de la résistance à la flexion pour les différents types de mortier

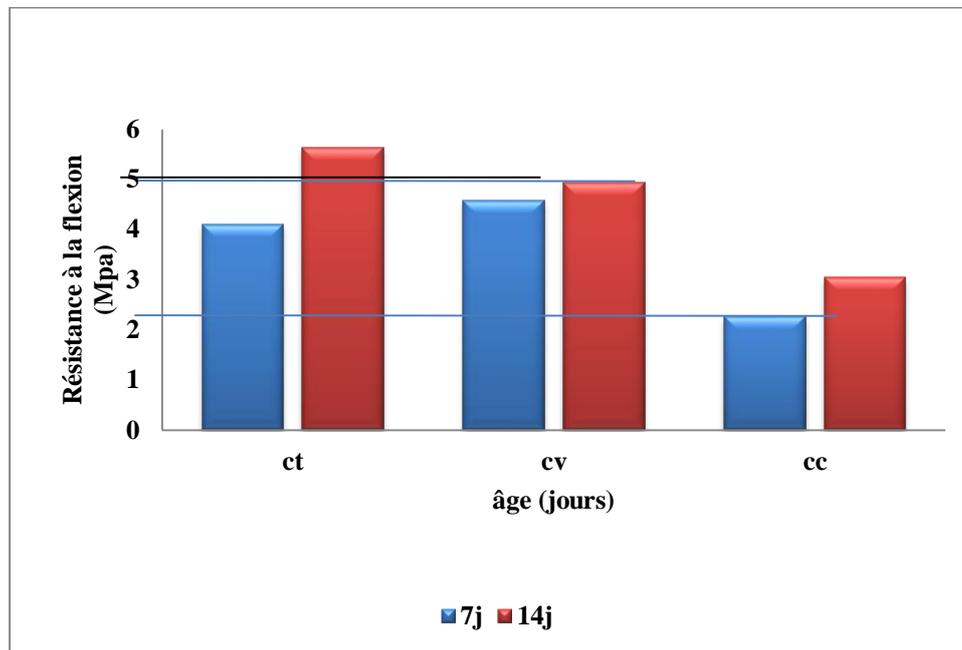


Figure III.4 : la variation de la résistance à la flexion en fonction de l'âge

D'après la figure III.4 on constate que dans le cas de 7 jours la valeur maximale est 4.57Mpa pour la composition du verre et la valeur minimale est 2.26Mpa pour la composition du charbon actif.

Dans le cas de 14 jours on remarque que la valeur maximale est 5.63Mpa pour la composition du témoin et la valeur minimale est 3.05Mpa.

Les valeurs de la résistance à la flexion sont donc comprises entre 2.26Mpa et 5.63Mpa.

Avec l'âge de 7 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier avec la poudre de verre est supérieure à celle des éprouvettes de mortier témoin. Et celle pour les éprouvettes de mortier avec le charbon actif inférieure à celle du mortier témoin.

Pour une durée de 14 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier avec la poudre de verre, mortier avec le charbon actif sont plus faibles par rapport à celle des éprouvettes de mortier témoin.

Donc pour une durée de 7 jours la présence de poudre de verre dans le mortier augmente la résistance à la flexion et celle de charbon actif la réduit.

Pour une durée de 14 jours la présence de poudre de verre et de charbon dans le mortier réduit la résistance à la flexion

On calcule le taux d'augmentation de la résistance de flexion par l'équation suivante :

$$\text{Taux d'augmentation} = \frac{R_{fmax} - R_{fmin}}{R_{fmax}} * 100 \quad (III.2)$$

R_{fmax} est la résistante maximale à la flexion.

R_{fmin} est la résistante minimale à la flexion.

Les résistances maximales et minimales à la flexion d'après la figure III.3 sont récapitulées dans le tableau III.9

Tableau III.9 : Résistance maximales et minimales à la flexion

Eprouvette	Témoin	Poudre de verre	Charbon actif
Résistance maximale(Mpa)	5.63	4.93	3.05
Résistance minimale (Mpa)	4.10	4.57	2.26
Taux d'augmentation (%)	27	7	25

Le taux d'augmentation de la résistance à la flexion pour la composition de témoin est 27%, pour la composition du verre 7%, et pour la composition du charbon actif est 25%.

III.7 Résistance à la compression

La figure III-5 représente les résultats des essais de la résistance à la compression pour les différents mortiers étudiés.

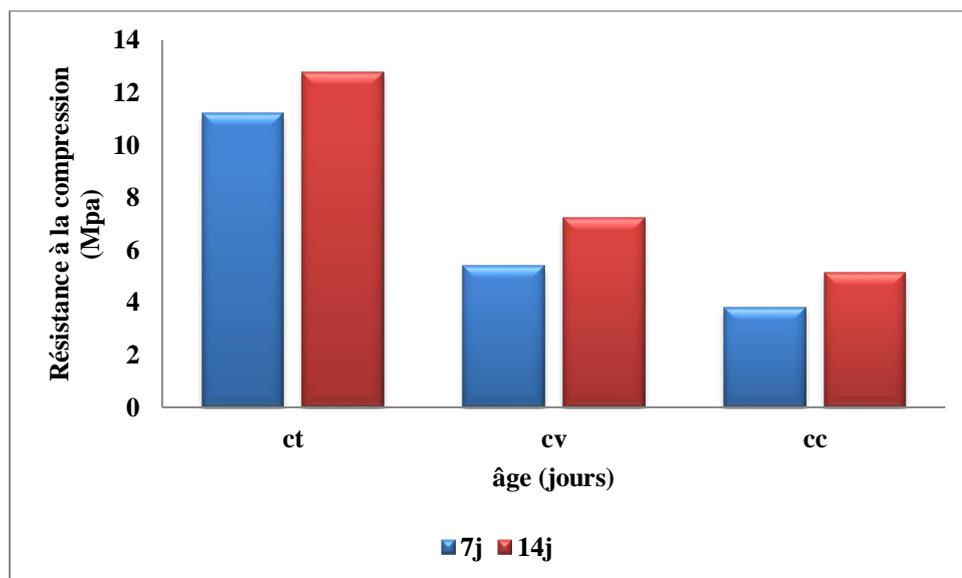


Figure III.5 : La résistance à la compression en fonction de l'âge

Selon la figure III-5, les valeurs de la résistance à la compression sont comprises entre 3.79Mpa et 12.75Mpa.

D'après la figure III.5 on constate que dans le cas de 7jours la valeur maximale est 11.19Mpa pour la composition du témoin et la valeur minimale est 3.79Mpa pour la composition du charbon actif.

Et dans le cas de 14 jours on remarque que la valeur maximale est 12.75Mpa pour la composition du témoin et la valeur minimale est 5.13Mpa pour la composition du charbon actif.

Pour une durée de 7 jours, la résistance à la compression pour les éprouvettes de mortier avec la poudre de verre, mortier avec le charbon actif sont plus faibles par rapport à celle des éprouvettes de mortier témoin.

Pour une durée de 14 jours, la résistance à la compression pour les éprouvettes de mortier avec la poudre de verre, mortier avec le charbon actif sont plus faibles par rapport à celle des éprouvettes de mortier témoin.

On calcule le taux d'augmentation de la résistance de compression par l'équation suivante :

$$\text{Taux d'augmentation} = \frac{R_{cmax} - R_{cmin}}{R_{cmax}} * 100 \quad (\text{III.3})$$

R_{cmax} est la résistante maximale à la compression.

R_{cmin} est la résistante minimale à la compression.

Les résistances à la flexion maximale et minimale d'après la figure III.3 sont récapitulées dans le tableau III.10 :

Tableau III.10 : Résistance maximales et minimales

Eprouvette	Témoin	Poudre de verre	Charbon actif
Résistance maximale (Mpa)	12.75	7.22	5.13
Résistance minimale (Mpa)	11.19	5.38	3.79
Taux d'augmentation (%)	12	25	26

Le taux d'augmentation de la résistance pour la composition de témoin est 12%, pour la composition du verre 25%, et pour la composition du charbon actif 26%.

III.8 Retrait

La figure III-6 montre le pourcentage de retrait de mortier témoin.

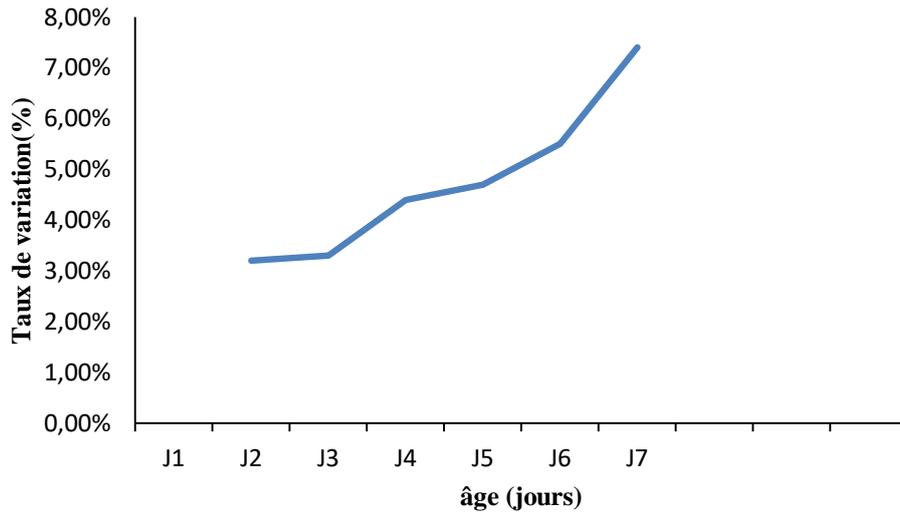


Figure III.6 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier témoin

La courbe de la figure III.6 représente le taux de variation de retrait en fonction de l'âge (1 jour jusqu'à 7 jours) pour la composition dans les éprouvettes de mortier témoin. Les valeurs de la variation de retrait sont comprises entre 3,2% et 7,4

On calcule le taux de variation de retrait par l'équation suivante :

$$\text{Taux de variation de retrait} = \frac{R_1 - R_i}{R_1} * 100 \quad (\text{III.4})$$

R_1 est le retrait du premier jour.

R_i est le retrait du jour considéré.

D'après La courbe de la figure III.6 le taux variation de retrait est compris entre 3.2% et 81%.

Pour le retrait de mortier de charbon, les résultats sont représentés par la figure III-7

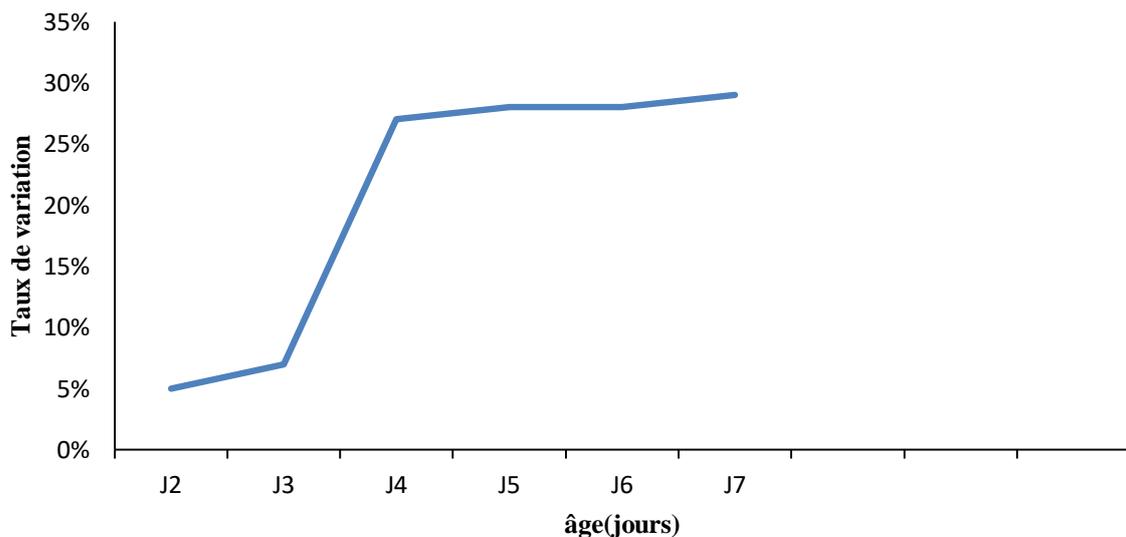


Figure III.7 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier charbon

La courbe de la figure III.7 représente le taux de variation de retrait en fonction de l'âge (de 1 à 7 jours) pour la composition dans les éprouvettes de mortier charbon.

Les valeurs du taux de variation de retrait sont comprises entre 5% et 29%.

On construit la courbe représentant la variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier de verre. (Figure III.7)

La courbe de la figure III.8 représente le taux de variation de retrait en fonction de l'âge (de 1 à 7 jours) pour la composition dans les éprouvettes de mortier de verre.

Les valeurs de la variation de retrait sont comprises entre 8% et 14%.

Les figures III.6.7.8 permettent de déduire que le pourcentage de retrait augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

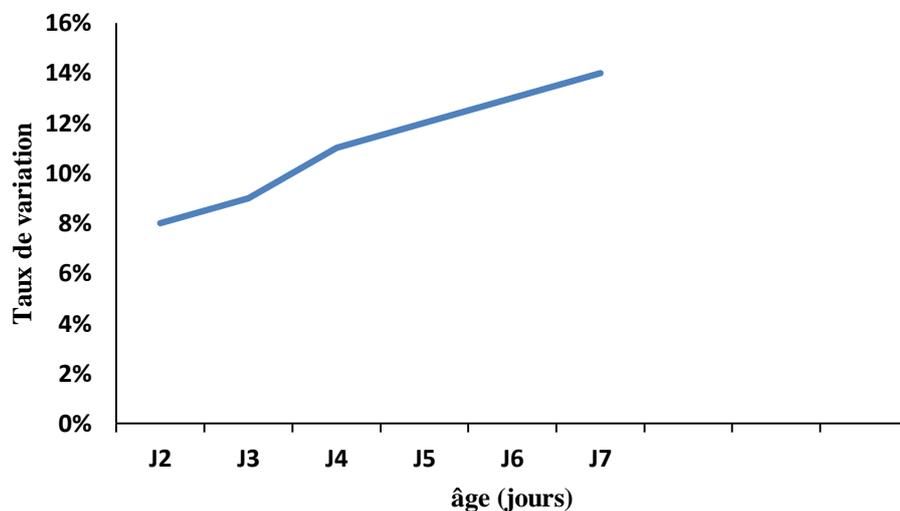


Figure III.8 : variation de retrait en fonction de l'âge pour le mortier de verre

Discussion

Selon les résultats de leur caractérisation, les composantes des différents types de mortier (ciment-sable-poudre de verre-charbon actif) sont de bonne qualité. Le ciment est consistant avec un temps de prise acceptable. Pour le sable c'est un sable normal et favorable pour mortier. Enfin et en ce qui concerne la poudre de verre et le charbon actif, qui sont riches en silicium et qu'ils sont très bénéfiques dans la préparation du mortier.

Pour la vitesse ultrasonique, la meilleure valeur de propagation de son sur 7 jours et 14 jours est 6076.67m/s et 6533.33m/s. Elle est obtenue de la composition de charbon actif qui représente une augmentation de la propagation de son allant jusqu' à 15% par rapport au mélange témoin.

Cependant l'échantillon de mortier avec poudre de verre pour les différents âges présente des valeurs de propagation de son légèrement inférieures à celles des mortiers témoins. Par contre l'échantillon de mortier avec charbon actif présente des valeurs de propagation de son légèrement supérieures celles des mortiers témoins.

Le taux d'augmentation de la propagation de son d'un âge à un autre diffère d'un type de mortier à un autre. Entre l'âge 7 jours et l'âge 14 jours, le taux d'augmentation est maximum dans le cas de mortier témoin et verre avec 15% et il est minimum dans le cas de mortier de charbon actif avec 7%.

En ce qui concerne la résistance à la flexion, la valeur maximale est enregistrée pour l'âge de 14 jours est (5.63Mpa). Elle est obtenue de la composition de témoin.

Cependant l'échantillon de mortier avec poudre de verre et le mortier avec charbon actif pour les différents âges présentent des valeurs de résistance à la flexion sont fortement inférieures à celles des mortiers témoins.

Le taux d'augmentation de la résistance à la flexion entre 7 jours et 14 jours est diffère d'un type de mortier à un autre, le taux d'augmentation est maximum dans le cas de mortier témoin 27% et pour le cas de mortier de charbon actif 25% .il est minimum dans le cas de mortier de verre avec 7%.

Pour la résistance à la compression, la valeur max est dans le cas de 14 jours (12.75Mpa). Elle est obtenue de la composition témoin.

Les valeurs obtenues par la composition de charbon ainsi que celle de la poudre de verre sont fortement inférieures à celles du mortier témoin, certaines atteignent l'ordre du tiers.

Le taux d'augmentation de la résistance à la compression entre 7 jours et 14 jours est différent d'un type de mortier à un autre, le taux d'augmentation est maximum dans le cas de mortier de charbon actif 26% et pour le cas de mortier de verre 25% .il est minimum dans le cas de mortier témoin 12%.

Selon les résultats, la meilleure valeur du retrait sur l'intervalle entre le 1^{er} jour et le 68^{eme} jour est 81% .Elle est obtenue de la composition de témoin.

Cependant l'échantillon de mortier avec poudre de verre et le mortier avec charbon actif pour le même intervalle des jours présentent des valeurs légèrement supérieures à celles des mortiers témoins par 85% pour le mortier de charbon et 86% pour le mortier de verre.

Conclusion du chapitre III

Les essais ont donné les résultats suivants :

Pour la maniabilité, la bonne plasticité a été obtenue en mettant 240 g d'eau dans le mortier témoin avec un temps de 23s. Le rapport E/C est compris entre 45% 48%.

La vitesse de propagation d'onde sonique pour toutes les compositions est supérieure à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance. Pour une durée de 7 jours et pour une durée de 14 jours la vitesse de propagation du son par rapport au mortier témoin, celle de la composition du verre est plus faible, et celle de l'éprouvette de charbon actif plus forte.

Les valeurs de la résistance à la flexion sont comprises entre 2.26 Mpa et 5.63 Mpa. Pour une durée de 7 jours la présence de poudre de verre dans le mortier augmente la résistance à la flexion et celle de charbon actif la réduit. Pour une durée de 14 jours la présence de poudre de verre et de charbon dans le mortier réduit la résistance à la flexion.

Les valeurs de la résistance à la compression sont comprises entre 3.79 Mpa et 12.75 Mpa.

Pour une durée de 7 jours et pour une durée de 14 jours, la résistance à la compression pour les éprouvettes de mortier avec la poudre de verre, mortier avec le charbon actif sont plus faibles par rapport à celle des éprouvettes de mortier témoin.

Les valeurs de la variation de retrait sont comprises entre 3.2% et 86%.

Le taux variation de retrait est compris entre 3.2% et 81% pour la composition du témoin.

Le taux de variation de retrait est compris entre 8% et 86% pour la composition de verre.

Le taux de variation de retrait est compris entre 7% et 85% pour la composition de charbon actif.

En constate que la valeur maximale est 86% pour la composition de verre (C2) et la valeur minimale est 81% pour la composition de témoin (C1).

Pour le sable, la courbe granulométrique montre que le sable utilisé est un sable normal. La masse volumique apparente est 1647.51g/l et la masse volumique absolue moyenne est 2535,50g/l. Le module de finesse $Mf = 2.08$ et est compris entre 1.8 et 2.2 sable est donc favorable. Les moyennes de l'équivalent de sable sont comprises entre 70%et 80 % ; le sable est donc propre à faibles proportions des particules fines argileuses convenant parfaitement pour les mortiers de haute qualité.

Pour la poudre de verre, on a donné la composition chimique de poudre de verre (en %) et les propriétés physiques (masse volumique apparente = 988 kg/m³, Masse volumique absolue = 2469 kg/m³ et surface spécifique BLAINE SSB = 3300 cm²/g)

Pour le Clinker, on a donné la composition chimique (en %), la composition minéralogique (en %) et les propriétés physiques (masse volumique apparente = 1085 kg/m³, masse volumique absolue = 3050 kg/m³ et surface spécifique BLAINE SSB = 3892 cm²/g).

CONCLUSION GENERALE

L'environnement est endommagé par les déchets solides excédentaires résultant de diverses activités humaines qui polluent le milieu naturel et contribuent à le détériorer. Parmi ces déchets le verre qui constitue aussi une menace majeure sur notre environnement. S'ajoute à cela la fabrication du ciment qui nécessite une grande énergie et conduit à la libération d'une quantité importante de CO₂ qui contribue à la pollution de l'air et au réchauffement climatique. D'autre part le patrimoine phœnicicole occupe une grande place en Algérie et cette disponibilité, de noyaux de dattes reste inexploitée jusqu'à ce jour dans le domaine de génie civil.

Une recherche bibliographique a démontré que certains déchets ont été remplacés partiellement dans le mortier ou béton et ont contribué à réduire la quantité de ciment. Parmi ces déchets le caoutchouc, poudrette de marbre, la pouzzolane naturelle, le stérile de charbon et la poudre de verre. Ces travaux de recherche menés sur l'utilisation et le comportement mécanique de ces déchets dans le mortier ont prouvé que la majorité offre une bonne résistance à la compression. Au travers de cette synthèse bibliographique, on a aussi présenté des caractéristiques essentielles des déchets solides dans le contexte de leur réutilisation dans le mortier.

Dans ce contexte, on substitue ces derniers sous forme de poudrette de verre et de charbon actif à base de noyaux de dattes au ciment en pourcentage de 15%. Sur ces trois types de mortier, les essais ont été entrepris au niveau des laboratoires du département de Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Ouargla sur 72 éprouvettes confectionnées.

Plusieurs analyses ont aussi été effectuées pour déterminer les caractéristiques de ces matériaux utilisés. Le sable utilisé est un sable normal, favorable, propre à faibles proportions des fines particules argileuses. Ce sable convient parfaitement pour avoir des mortiers de haute qualité. Pour la poudre de verre, on a donné la composition chimique et poudre de verre (en %) et les propriétés physiques (masse volumique apparente, masse volumique absolue et surface spécifique). Pour le ciment Portland (Clinker, on a donné la composition chimique, la composition minéralogique et les propriétés physiques.

Pour montrer l'efficacité de l'utilisation de la poudre de verre et du charbon actif à base de noyaux de dattes dans le mortier on effectue des essais de compression, flexion, ultras son, retraits et gonflements. Et pour apprécier la fluidité du mortier, on réalise l'essai de

maniabilité. Trois répétitions pour chaque essai sont nécessaires, 72 éprouvettes ont donc été confectionnées.

Pour une durée de 7 jours et pour une durée de 14 jours la vitesse de propagation du son de la composition du verre est plus faible par rapport au mortier témoin, et celle de l'éprouvette de charbon actif plus forte. La vitesse de propagation d'onde sonique pour toutes les compositions est supérieure à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance.

Pour la résistance à la flexion, la présence de poudre de verre l'augmente dans le mortier témoin et celle de charbon actif la réduit pour une durée de 7 jours. Et pour une durée de 14 jours, la présence de poudre de verre et celle du charbon actif dans le mortier réduit la résistance à la flexion. Les valeurs de la résistance à la flexion sont comprises entre 2.26 Mpa et 5.63 Mpa.

La résistance à la compression pour les éprouvettes de mortier avec la poudrette de verre, et avec le charbon actif est plus faible par rapport à celle des éprouvettes de mortier témoin pour une durée de 7 jours. Et pour une durée de 14 jours. Les valeurs de la résistance à la compression sont comprises entre 3.79 Mpa et 12.75 Mpa

Pour la maniabilité, la bonne plasticité a été obtenue en mettant 235 g d'eau dans le mortier témoin avec un temps de 23s. Le rapport E/C est compris entre 45% 48%.

Cette étude est avant tout expérimentale et a pour ambition de répondre à l'utilisation déchets de verre comme poudrette et de noyaux de dattes comme charbon actif comme substituants partiels du ciment dans le domaine de la construction afin d'augmenter les performances du mortier et de réduire la fabrication du ciment pour préserver l'environnement.

Il est nécessaire de poursuivre les expérimentations avec plusieurs autres combinaisons des pourcentages de ces substituants pour arriver à une méthodologie technico-économique et environnementale qui s'adapte à nos conditions locales. .

Afin de compléter cette étude sur le comportement de la poudrette de verre et du charbon actif à base de noyaux de dattes. On recommande le remplacement partiel de la poudre de verre et le charbon actif dans le même mortier. Et pour le futur la valorisation des ressources naturelle des zones sahariennes dans le domaine de génie civil et l'utilisation d'autres déchets comme substituants partiels de ciment.

Limites de la recherche

Les expérimentations effectuées n'ont pas donné les résultats escomptés en raison de quelques obstacles liés, notamment, à la suspension des activités universitaires suite à la pandémie du COVID 19 qui nous ont empêchés de compléter les expériences et définir les combinaisons exactes des composantes qui amélioreraient les performances du mortier.

Pour l'expérimentation du retrait, l'éprouvette aurait dû être gardée dans l'appareil pendant 21 jours. Ce qui a été impossible vu le nombre important d'étudiants qui attendaient la libération dudit appareil pour son utilisation, la période restante étant très courte.

Le malaxage aurait dû être aussi effectué au laboratoire à l'aide du malaxeur approprié, mais suite à la fermeture inattendue du laboratoire, il a été effectué manuellement à la maison et il en a été de même concernant la vibration effectuée à l'aide d'un marteau au lieu de l'appareil adéquat du laboratoire.

Références Bibliographiques

- [1]Aberlenc F. La détermination du sexe du palmier dattier .Dia de news letters.3: 1-8. FAO STAT) (2012). [59]
- [2]Addoun A., Merzoug Z., &Belhachemi M. Préparation et caractérisation de matériaux a Gand pouvoir adsorbant, Thèse magistère (2000). [77]
- [3]Agarwal SK., Gulati D. Utilisation of industrialwastes and unprocessed micro-fillers for makingcost effective mortars», Construction and Building Materials, 20, p. 999-1004. (2006). [10]
- [4]Al-Farsi M., Alasalvar C., Al-Abid C.M., Al-Shoaily K., Al-Amry., F Alrawahy. Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and there byproducts. Food Chemistry ,vol. 104, pp.943–947(2007). [88]
- [5]AlhamedY.A . Adsorption kinetics and performance of packed bed adorber for phenol removal using activated carbon from dates stones. J .hazard .Mater. doi: 10.1016/j.05.002 (2009). [81]
- [6]Almana H.A., Mahmoud R.M. Palme date seeds as an alternative source of dietary fibre in saudibread .*Ecology of food and nutrition*, vol. 32, pp. 261-270(1994). [84]
- [7]Aroua S., et Bouherrara FZ. Elaboration d’un mortier auto-plaçant à base des granulats de verre mousse. Mémoire de fin d’étude. FSI.boumerdes(2015). [33]
- [8]Auvray JM. Elaboration et caractérisation à haute température de bétons réfractaire à base d’alumine Spinelle. thèse de doctorat, université de Limoges Science et technologie de santé (2003). [47]
- [9]Azzouz H. étude des bétons à base des sables de dune . Mémoire de Magister Université Mohamed kheider, biskra,(2009). [92]
- [10]Bakkaye S. Lexique phoenicicole en arabe et en mozabite“ CWANA, HCA et RAB98/G31. 14-16, 2425, 31P. .,(2006). [54]
- [11]Banat F., Al-Asheha S. & .Al-Makhadmeha L. Evaluation of the use of raw and activated date pits as potential adsorbents for dye containing waters “Process Biochemistry 39 (2): 193-20(2003). [78]
- [12]Belguedj M. Caractéristiques des cultivars Est du Sahara algérien, Vol I. Conception et réalisation, pp : 67. (1996). [74]de dattiers du Sud-
- [13]Belguedj M. Les ressourcesgènitique du palmier dattier : caractéristiques des cultuvars de dattier dans les palmeraies du sud –Est algérien .Revue annuelle de l’INRAA N 1.28-289. (2002). [70]
- [14]Benazzouk A., Douzane O., Mezreb K., Laidoudi B., QueneudecM..Thermal conductivity of cement composites containing rubberwaste particles:Experimentalstudy and modeling. Construction and Building Materials 22, 573–579. (2008). [4]
- [15]Benazzouk A., Mezreb K., Doyen G., Goullieux A., Queneudec M. Effect of rubberaggregates on the physico-mechanicalbehavior of cement–rubber composites- influence

of the alveolar texture of rubberaggregates. *Cement&Concrete Composites* 25 711–720. (2003). [3]

[16]Bennamia A. Messaoudi B . Contribution à étude de la composition des dattes .DegletNour et Ghars dans le pédopaysage de la cuvette d’Ourgla, Thèse diplôme d’étude supérieure, p 30. .(2006). [73]

[17]Berraih M. Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre. mémoire pour l’obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géomatériaux (ENSET Oran (2009/2010). [26]

[18]Bessas A., Benmoussa L., Kerarma M. Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltes dans le sud algérien .mémoire d’ingénieur d’état en contrôle de qualité et analyse. Université Djillaliliabes, Sidi BelAbbes pp 120 (2008). [69]

[19]Bidjocka C., Tusset J., Messi A. et al.. Etude et évaluation de l’activité pouzzolanique des pouzzolanes de Djoungo (Cameroun). *Annales de la Faculté des Sciences de l’Université de Yaoundé*, p. 133-145. (1993). [18]

[20]Bouali K. Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d’ajouts de déchets de briques réfractaires , mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux Université M’Hamed Bougara-Boumerdes(2013/2014). [22]

[21]Bouanani B., Zeggar M., Alouadi S. Valorisation des noyaux de dates (Phoenixdactylifera) variété DeglaBaida par fractionnement des polysaccharides. *Revue des régions arides*, “, pp. 40-45(2007). [85]

[22]Bouchelta C., Mohamed S.M., Odile B., Pierre B. Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. *J. Anal.App.pyrolysis* 82, 70_77 (2008). [82]

[23]Bouguederi L., Maanani F., Missaoui M., Bounaga N., Et Dore J. C .Analyse typologique d’un population de palmiers dattiers males (Phoenixdactylifera L.) au moyen de différentes approches multiparamétriques. *Améliorant. Prod. Agro. Milieu Aride*. 6 : 263-277pp(1994). [56]

[24]Bouguedoura N. Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier. Etude in situ et in vitro dudéveloppement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Mémoire de doctorat. U.S.T.H.B.Alger. 201 p (1991). [65]

[25]Brahma A. *Le béton*, édition OPU (1996). [96]

[26]Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers(1987). [97]

[27]CelarieF. Dynamique de fissuration à basse vitesse des matériaux vitreux. Thèse, Montpellier II (2014). [32]

[28]Cembureau, Procédés et techniques de fabrication du ciment. Bruxelles, Belgique“Availablefrom: URL: www.ciments-calcia.fr(1997) [48]

[29]Chaibi N., Potentialités androgénétiques du palmier dattier Phoenixdactylifera L et culture in vitro d’anthères“. *Biotechnologie Agron Soc Environ*.6 (4).201-207 pp. (2002). [58]

- [30]Dali M. élaboration et caractérisation des granulats de moussede verre a base de calcin destinés a l’isolation thermique et phonique du toit et du sol dans le bâtiment. Mémoire fin d’étude Université de boumerdes .FSI. (2012) [43]
- [31]Djerbi M. Précis de phoeniciculteurs, “. FAO, 192 p. (1994). [75]
- [32]Djerbi N. Evaluation de la qualité du béton in situ » Mémoire de magister ; Université Mohamed Khider-Biskra-.pp6-76(2006). [95]
- [33]DSA. Statistique agricole. Direction des services agricole (2016). [68]
- [34]Dupain R., Lanchan R & Saint-Arroman J.-C . Granulats, Sols, Ciments et Bétons , Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes(2000). [98]
- [35]Dupain R., LanchonR., Saint-Arroman GC. Granulat, sols, ciment et béton. Edition CASTEILLA-PARIS(2004). [29]
- [36]Ehannachi S., Khitri D., Benkhalifa A. Et Brac De Perrière R. A , Inventaire variétal du palmier algérien . Ed. Anep. Rouiba, Alger. 225p.(1998). [71]
- [37]El Nemer A., Khaled A., Abdelwahab O., El-Sikaily A. Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed . J. Hazard. Mater .doi:10.1016/j.jhazmat.2007.06.091 (in press) (2007). [83]
- [38]Eldin NN., Senouci AB. Rubber tires particles as concreteaggregate. J. Mater Civil Eng ; 5(4):478–96. (1993). [1]
- [39]Elhoumaizi M., Saaidi M., Oihabi A., Cilas C. Phenotypic diversity of date-palm cultivars (Phoenix dactylifera L. “from Morcco. Genet. Resource. Corp. Evolved 49, 483–490 pp (2002). [55]
- [40]EN 1097-6 : granulat Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6, indice de classement : P 18-650-6, 1998. [99]
- [41]Espiard E. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, 360 p (2002). [76]
- [42]F.A.O. [66]
- [42]FAO STAT. <http://faostat.fao.org/default.aspx>. (2013). [60]
- [43]Freitas C., Galvão J., Portella K., Joukoski A., Filho C. Desempenhofisico- químico e mecânico de concreto de cimento Portland comborrachadeestirenobutadienorecyclada de pneus. Química Nova, Vol. 32, pp.913–918. (2009). [7]
- [44]Garcia, et al, A copper-responsive transcription factor, CRF1, mediates copper and cadmium resistance in *Yarrowialipolytica.*, J BiolChem 277(40):37359-68(2002). [79]
- [45]GCI712. Durabilité ET réparation du béton , département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril (2009). [25]
- [46]Ghaly A., Cahill J., .Correlation of strength, rubber content, and water to cement ratio in rubberizedconcrete. Can. J. Civil Eng., Vol. 32, PP. 1075–1081. (2005). [5]

- [47] Ghazi F., Sahraoui S. Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de dattes communes : Tantbouchet et Hamraia. Mémoire d'Ingénieur. Institute national d'agronomie. Alger, 81 p., (2005). [61]
- [48] Ghembaza MS., Saidi F., Mokeddem Nabil dans le thème de Valorisation des déchets industriels dans la formulation des mortiers Université Ahmed DRAIA, Adrar 17 & 18 février (2019). [14]
- [49] Ghrici M., Kenai S., Said-Mansour M., Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements, *Cem Concr Comp* ; 29 :542–9.(2007). [16]
- [50] Gourdin WH., Kingery WD. The Beginnings of Pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Lime Plaster“*Journal of Field Archaeology*, vol. 2, p. 133-(1975). [42]
- [51] Goven J - Public Understanding of Science, *journals.sagepub.com* (2003). [9]
- [52] Habert G., Choupay N., Montel JM., Guillaume D. Escadeillas Effects of the secondary minerals of the natural pozzolans on their pozzolanic activity, *Cement and Concrete Research* 38 963–975 (2008). [15]
- [53] Haimour N., Emeish M. Utilization of date stones for production of activated carbon using phosphoric acid. *Waste Management*“vol.26, pp. 651–660 (2006). [80]
- [54] Helsoët I. caractérisation et optimisation de verres optiques pour des applications infrarouges dans la fenêtre 8-10µm. Thèse de l'Université Rennes 1, France (2000). [31]
- [55] Imad A., Abdul K., Wahab A Et Robinson R K. Chemical composition of date Varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chem.*, 54: 305-309 pp (1995). [57]
- [56] Jeans L. composition verrière, l'évolution des verres industriels, *revue verre*. Institut de verre vol7.N02(2001). [38]
- [57] Jerzy Z. Les Verres et l'état vitreux. Paris, (1982). [34]
- [58] Kanish ME., Singh SP., Singh B. Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures, *Construction and Building Materials*. Vol. 128.. pp. 67–76(2016). [19]
- [59] Kattab R. valorisation de sable de dune Thèse doctorat, Alger: ENP(2007). [90]
- [60] Lazar K. caractérisation et valorisation du sable du grand erg oriental .Résumé mémoire de magister, U.S.T.H.B. [91]
- [61] Lepine E et al., Optical microfabrication of tapers in low-loss chalcogenide fibre”. *Optical Society of America*, 2010. 27(5) : p.966. (2010). [30]
- [62] Linné C. *Species Plantarum*, tome 2. Stokholm, Impensis Laurentii Salvii, p776.
- [63] Louvigny N. Conséquence de l'apport de verre pilé a la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée . Thèse de doctorat. Université Montpellier II.(2001). [44]
- [64] Maatallah S. Contribution à la valorisation de la datte algérienne .Thèse d'ingénieur INA El Harrach, 72p. (1970). [72]

- [65]Messaoudene I., Jauberthie R., Nacéri A. « Influence des fillers de calcite sur le comportement des mortiers au jeune âge », Actes des 29ème Rencontre de Génie Civil, 29-31 Mai, Tlemcen-Algérie, p. 197-205(2011). [13]
- [66]Messar EM., Le secteur phoenicicole algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010 .Options Méditerranéennes. 28: 23-44 (1996). [63]
- [67]Mounir B . Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers. mémoire de master, université de M'sila, juin (2013). [23]
- [68]Mouss D. Modélisation et simulation d'un procédé industriel par approche à base de connaissance“ cas de SCIMAT, Ain Touta. Département de génie industriel, Batna. (2005) [49] [50]
- [69]Munier P. Le palmier dattier, techniques agricoles et productions tropicales“ Ed maison neuve et la rosse, Paris, 221 p. .(1973). [51]
- [70]Najim KB. & Hall MR. “Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumbrubber modified concrete”, Construction and building materials, 27, pp. 521-530 (2012). [8]
- [71]ONFAA Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires, Rapport sur le commerce extérieur des dattes, Mars (2017). [67]
- [72]Osman M. F., Ben Zayed A.A., Alhadrami G. A. Sulfuric acid treated date pits as dietary ingredients in tilapia (*oreochromis niloticus*) diets. Bioresource Technology 620-627. Owen, P.L., Johns, T., Xanthine oxidase inhibitory activity of north eastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, vol.64, pp. 149-160(1999). [87]
- [73]PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville. [27]
- [74]Philippe C., Jean-Christophe., Van den S. Le sable naturel en Région Wallonne .Août (2011). [94]
- [75]Pierre D. l'utilisation du verre dans les ensembles mécanique .Edition Dunod paris (1971). [41]
- [76]Platel D. impact de l'architecture macromoléculaire des polymères sur les propriétés physicochimiques des coulis de ciment , thèse de doctorat 'Université Pierre et Marie Curie, Physique et Chimie des Matériaux, (2004). [45]
- [77]Pourkhorshidi AR., Najimi M., Parhizkar T., Jafarpour F., Hillemeier B. Applicability of the standard specifications of ASTM C618 for evaluation of natural pozzolans Cement & Concrete Composites 32 794–800 (2010). [17]
- [78]Projet fin d'étude thème impact des déchets stérile de charbon en tant qu'ajouts sur les propriétés physiques des mortiers Ecole national des sciences appliquées Oujda Maroc) [20]
- [79]Rahman M.S., Kasapis S., Al-Kharusi N.S.Z., Al-Marhubi I., Khan A.J .Composition characterisation and thermal transition of date pits powders “ Journal of Food Engineering, vol.80, pp.1– 10 (2007). [89]
- [80]Rezig S. Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux , Université Mohamed Khider, Biskra. [93]

- [81] Rossington DR. Surface chemistry of glass in introduction to glass science: Usa. Springer US, P.513-543, (1972). [40]
- [82] Sabah A., Jassim A., Naji. In vitro Evaluation of the Antiviral Activity of an Extract of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L). Pits on a Pseudomonas Phage ; CAM , pp.1-6 .(2007). [86]
- [83] Saggaï S., Dahmani S., Boulifa M., Debbabi A. Waste Glass Powder in mortar: technical and environmental effects. Conférence Internationale sur les Matériaux, le Patrimoine et l'Environnement en Zones Arides. Université Ahmed DRAIA, Adrar 17 & 18 février (2019). [21]
- [84] Senisna Z., Chaouche H. Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux“ mémoire de master, Université KasdiMerbah, Ouargla, en (2011). [52]
- [85] Sholze . Glass: nature, structure, and properties“ Technology & Engineering - pages.454 (1991). [35]
- [86] Sylver P. science des matériaux , université pierre et marie curie (2005/2006). [24]
- [87] Tamman. Article dans Nature 143, Pp 291–292 Février (1939). [36]
- [88] Taner K., Asim O. Properties of cement and mortar incorporating marbledust and crushed brick. Ceramics – Silikáty 52 (1) 24-28. (2008). [11]
- [89] Taylor HFW. Cement chemistry, 2nd edition, University of Aberdeen, (2007) [46]
- [90] Topçu UB., Avcular N. Collision. Behaviours of rubberized concrete. Cem Concr Res ; 25(12):1893–8.(1995). [2]
- [91] Topçu IB., Bilir T., Uygunoglu T. Effect of waste marbledust content as filler on properties of self-compacting concrete», Construction and Building Materials, 23, p.1947-1953 (2009). [12]
- [92] Toutain G. Eléments d'agronomie saharienne : de la recherche au développement. Ed. JOUVE, Paris, 276 p. .(1979). [53]
- [93] Toutain G. le palmier dattier, culture et production in al awamia 25 pp83-151. [62]
- [94] Valadares F., Bravo M., Brito J. "Concrete with used tire rubber aggregates: Mechanical performance", ACI Materials Journal, 109, pp. (2012). [6]
- [95] Wilfried K., Jean-Pierre M., Gerald Z. traité des matériaux: -volume 1-Introduction à la science des matériaux -PPUR-(1999). [39]
- [96] William D., Callister JR. Science et génie des matériaux » modulu Editeur(2001). [28]
- [97] Zarzycky et all .j of mat science.(1982). [37]

Résumé

L'environnement est endommagé par les déchets solides excédentaires résultant de diverses activités humaines qui polluent le milieu naturel et contribuent à le détériorer et par la fabrication du ciment qui nécessite une grande énergie et conduit à la libération d'une quantité importante de CO₂. D'autre part l'importante disponibilité du patrimoine phœnicicole est inexploitée jusqu'à ce jour dans le domaine de génie civil.

La présente étude consiste à présenter l'effet de la valorisation des déchets de verre et des noyaux de dattes dans le domaine de la construction en les utilisant comme un remplaçant partiel du ciment dans le mortier. On substitue ces derniers au ciment en pourcentage de 15%. A cet effet, une série d'essais de compression ont été réalisés sur un total de 72 des éprouvettes cubiques et prismatiques confectionnées de mortiers

La vitesse de propagation du son de la composition du verre est plus faible par rapport au mortier témoin, et celle de l'éprouvette de charbon actif plus forte. Elle est supérieure à 4200 m/s, le mortier est à très haute résistance. Pour une durée de 7 jours, la poudre de verre augmente la résistance à la flexion et réduit celle à la compression dans le mortier témoin. Celle de charbon actif réduit la flexion et la compression. Pour la maniabilité, la bonne plasticité a été obtenue en mettant 235 g d'eau dans le mortier témoin avec un temps de 23s.

Pour le retrait la valeur maximale est 86% pour la composition de verre

MOTS-CLÉS : déchets de verre, charbon actif, noyaux de dattes, valorisation, mortier, ciment

ال

Summary

The environment is damaged by the excess solid waste resulting from various human activities, which pollute the natural environment and contribute to its deterioration and by the manufacture of cement, which requires great energy and leads to the release of a significant amount of CO₂. On the other hand the importance of availability of the phœnicicole heritage is untapped to this day in the field of civil engineering. The present study is to present the effect of upgrading waste glass and date stones in the construction industry by using them as a partial replacement for cement in mortar. These are substituted for the cement in a percentage of 15%. To this end, a series of compression tests were carried out on a total of 72 cubic and prismatic specimens made of mortars.

The sound propagation speed of the glass composition is slower compared to the control mortar, and that of the activated carbon test tube stronger. It is greater than 4200 m / s, the mortar is very high resistance. For a period of 7 days, the glass powder increases the flexural strength and reduces the compressive strength in the control mortar. That of activated carbon reduces bending and compression. For workability, good plasticity was obtained by putting 235 g of water in the control mortar with a time of 23s.

For shrinkage the maximum value is 86% for the glass composition

KEYWORDS: Glass waste, charcoal, dates' stones, valuation, mortar, cement

ملخص

تتضرر البيئة من المخلفات الصلبة الزائدة الناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة التي تلوث البيئة الطبيعية وتساهم في تدهورها وبسبب تصنيع الأسمنت الذي يتطلب طاقة كبيرة ويؤدي إلى إطلاق كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. من ناحية أخرى ، فإن التوافر الكبير للتراث العرقي غير مستغل حتى يومنا هذا في مجال الهندسة المدنية.

تهدف الدراسة الحالية إلى تقديم تأثير ترقية نفايات الزجاج وأحجار التمر في صناعة البناء باستخدامها كبديل جزئي للأسمنت في الملاط. يتم استبدالها بالأسمنت بنسبة 15%. ولهذه الغاية ، أجريت سلسلة من اختبارات الضغط على ما مجموعه 72 عينة مكعبة ومنشورية مصنوعة من الملاط

تكون سرعة انتشار الصوت لتكوين الزجاج أبداً مقارنةً بملاط التحكم ، وأنبوب اختبار الكربون المنشط أقوى. أكبر من 4200 م / ث ، الملاط ذو مقاومة عالية جداً. لمدة 7 أيام ، يزيد مسحوق الزجاج من قوة الانحناء ويقلل من قوة الضغط في ملاط التحكم. يقلل الكربون المنشط من الانحناء والضغط. من أجل قابلية التشغيل ، تم الحصول على مرونة جيدة عن طريق وضع 235 جم من الماء في ملاط التحكم بزم 23 ثانية.

بالنسبة للانكماش ، تبلغ القيمة القصوى 86% لتركيب الزجاج

الكلمات المفتاحية: نفايات الزجاج ، فحم ، النوى التمر . تقييم، مونة الاسمنت، أسمنت

