

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

MERRAD RAYANE

NACERKHODJA RADHIA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **Génie Civil**

Option : **Structure**

Thème :

**Caractérisation physico-mécanique d'un composite a base d'une
matrice hybride et de granulats légers de nature différente.**

Mémoire examiné par :

Dr. KENNOUCHE SALIM	MCB	UAMOB	Président
Dr. BOUMIZA MALIKA	MAA	UAMOB	Examinatrice
Dr. MOUGARI BRAHIM	MAA	UAMOB	Encadreur
Pr. AIT TAHER	Professeur	UAMOB	Co- Promoteur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciement :

Ce projet a été réalisé au sein du Laboratoire l'Université akli mohand oulhadj bouira Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee à notre cher professeur et encadrant **Dr Mougari et DR AIT TAHER** pour leur suivi et pour leur énorme soutien, qu'il n'en cessés de nous prodiguer tout au long de la période du projet.

Nous tenons à remercier également et spécialement notre encadrant **Dr Mougari** pour le temps qu'il a consacré et pour les précieuses informations qu'il nous a prodigués avec intérêt et compréhension .ainsi son suivi dans le processus de expérience dans laboratoire durant toute la progression de ce mémoire

Nous voudrions présenter nos sincères remerciements à **MADAM LOUISA** de nous avoir aidé et guider durant toute la progression de ce mémoire. Nous adressons aussi nos vifs Remerciements aux membres de jurys Pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail. Ainsi que nos chers enseignants.

Nous ne laisserons pas cette occasion passer, sans remercier nos familles pour leur soutien moral et financier, et pour leurs sacrifices. Par la même occasion, on tient à remercier tous nos amis ainsi que tous les étudiants de la promotion de Génie Civil (2020-2021).

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

Dédicaces

On dédie ce modeste travail à nos très chers parents, nos frères, sœurs et tout nos famille, tous nos amis sans exception, et à tous ceux qui nous soutenu.

RESUME:

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux, aussi que les exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil

Le développement des matériaux de construction nouveaux est un problème d'actualité où les chercheurs tentent de trouver des matériaux adéquats et à bon marché en fonction du domaine d'utilisation. De plus en plus l'industrie du ciment et du béton argile va faire usage d'un certain nombre de produits secondaires plus communément appelés ajouts minéraux végétaux. Ces ajouts sont essentiellement des résidus d'autres industries ou des produits naturels de faible valeur commerciale qui ne présentent par eux-mêmes des propriétés hydrauliques, mais qui une fois combinés au ciment sable argile arrivent à créer des liens aussi fort que les silicates de chaux hydratés du ciment portland. Le présent travail a pour but principal de contribuer à la valorisation de déchets de pneumatique et bois réfractaires dans la fabrication des mortiers et bétons.

المخلص:

في مواجهة الاحتياجات المتزايدة للموارد المادية ، وكذلك متطلبات الحفاظ على البيئة في رؤية التنمية المستدامة ، أصبح من الضروري دراسة جميع إمكانيات إعادة استخدام واستعادة النفايات والمنتجات الثانوية الصناعية ، لا سيما في مجال هندسة مدنية يعد تطوير مواد البناء الجديدة قضية موضوعية حيث يحاول الباحثون العثور على مواد مناسبة وغير مكلفة اعتمادًا على مجال الاستخدام. سوف تستفيد صناعة الأسمنت والخرسانة الطينية أكثر فأكثر من عدد معين من المنتجات الثانوية التي تسمى بشكل أكثر شيوعًا المضافات المعدنية النباتية. هذه الإضافات هي في الأساس بقايا من الصناعات الأخرى أو المنتجات الطبيعية ذات القيمة التجارية المنخفضة والتي ليس لها خصائص هيدروليكية من تلقاء نفسها ، ولكن عندما يتم دمجها مع الأسمنت الطيني الرملي ، فإنها تنجح في تكوين روابط قوية مثل سيليكات الجير المطفأ في الأسمنت البورتلاندي. الغرض الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في استعادة نفايات الإطارات والأخشاب المقاومة للصرع في صناعة الملاط

ABSTRACT:

Faced with the growing needs for material resources, as well as the requirements of preserving the environment in a vision of sustainable development, it has become necessary to study all the possibilities of reuse and recovery of waste and industrial by-products, particularly in the field of civil engineering

The development of new building materials is a topical issue where researchers are trying to find suitable and inexpensive materials depending on the field of use. More and more the cement and clay concrete industry will make use of a number of secondary products more commonly known as plant mineral additions. These additions are essentially residues from other industries or natural products of low commercial value which do not exhibit hydraulic properties in themselves, but which when combined with sand clay cement manage to create bonds as strong as the hydrated lime silicates of Portland cement. The main purpose of this work is to contribute to the recovery of tire and refractory wood waste in the manufacture of mortars and concrete.

Sommaire:

1	Liste des tableaux:.....	16
	INTRODUCTION générale:.....	19
	Chapitre 1 : synthèse bibliographique les matériaux légers à base des agro-ressources ou Polymères .21	
	Introduction :.....	22
2	Bétons légers :.....	22
2.1	Granulats légers.....	22
	L22Porosité et densité des bétons et granulats légers	22
2.2	Fabrication des granulats légers :.....	23
2.3	Absorption d'eau des granulats légers :.....	23
2.4	Formulation des bétons légers :.....	25
2.5	Adhérence pâte-granulats légers :	25
3	Durcissement du béton léger.....	26
3.1	Propriétés mécaniques des bétons légers :	26
3.2	Retrait :	26
3.3	Isolation	27
4	Les granulats minéraux légers :	27
4.1	Argile expansée :	27
	Introduction :.....	27
4.2	Présentation Argile expansée :	27
4.3	PROPRIÉTÉS ET AVANTAGES DE L'ARGILE EXPANSÉE:.....	28
4.3.1	Légèreté.....	28
4.3.2	Résistance mécanique	28
4.3.3	Isolation thermique	28
4.3.4	Incombustibilité	28
4.3.5	Isolation phonique.....	28
4.3.6	Durabilité.....	28
4.4	Caractéristiques techniques :.....	28
4.5	Granulométrie :	28
4.6	Inconvénient de l'argile expansée :.....	28
4.7	FABRICATI ON DE L'ARGIL E EXP ANSÉE ET DES MORTI ERS ET BÉTONS A LLÉGÉS EN SAC	29
4.8	PRÉPARATION DE L'ARGILE :	29
4.9	LE PROCESSUS INDUSTRIEL :	29
4.9.1	Séchage, cuisson et expansion :.....	29
5	Le schiste :.....	29
5.1	Schiste expansé :	30
5.1.1	Composition et origine :	
5.1.2	Méthode de fabrication :	30

5.1.3	Propriétés du béton :	30
6	Pierre Ponce:.....	30
6.1	Propriétés du béton :	31
6.2La pierre ponce est un matériau facile à utiliser :	31
6.2.1	L'utilisation de la ponce s'inscrit dans la démarche de construction durable :	31
6.2.2	L'offre Lafarge, la double maîtrise de la qualité et des approvisionnements	31
6.2.3	Normes et garanties :	31
6.2.4	Logistique et approvisionnement :	32
7	La pouzzolane et les toits végétalistes :	32
7.1	Les caractéristiques de la pouzzolane :	32
7.2	Toit végétaliste	32
7.3	Pouzzolanes des Dômes - Carrière de pouzzolane :	32
7.3.1	L'entreprise	32
7.3.2	La carrière :	32
7.3.3	L'usine et les bureaux :	33
7.4	Caractéristiques chimiques	33
7.5	Caractéristiques physiques :	33
7.6	Applications	33
7.7	Les avantages de la pouzzolane :	34
7.7.1	Elle dure longtemps	34
7.7.2	Elle est très drainante	34
7.7.3	Elle est légère	34
7.7.4	Elle protège le sol	34
7.7.5	Elle protège les végétaux.....	34
8	Fibre de bois :	34
8.1	Définition :	35
8.2	Utilisation pour la fibre de bois :	35
8.3	Dans quels cas utiliser la fibre de bois :	35
8.4	Performances ;	35
9	La Sciure de Bois :	35
9.1	Principales utilisations :	36
9.2	Caractéristiques :	36
	Origine : forêts aubois	36
	Diamètre : environ 500 microns.....	36
10	LE DISS :	36
11	Cas de la plante d'Alfa :	37
11.1	Présentation de la plante alfa :	37
11.2	La plante alfa dans son environnement :	38
11.3	Propriétés chimiques de l'alfa :	38
12	Déchets plastique :	39

12.1	Déchets polymères :.....	39
12.2	Déchets inertes :	39
12.3	Les déchets ménagers :	40
12.4	Les déchets industriels banals :	40
12.5	Déchets en Algérie :	40
12.5.1	Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics Pneus usagés et déchets plastiques :.....	40
12.5.2	La composition des déchets solides urbains en Algérie :	40
12.5.3	Les ajouts de plastiques :.....	41
13	Pneumatique :.....	41
13.1	Définition du caoutchouc:.....	42
13.2	Valorisation des pneus usagés en Génie Civil :.....	42
13.2.1	Le tapis de pneus anti vibration :.....	42
13.2.2	La construction de récifs artificiels :.....	42
13.2.3	Mur antibruit ACIAL (1992) :.....	42
13.2.4	Le pneu sol (1974) :.....	42
13.3	Déchets pneumatiques broyés :	42
13.4	Poudrettes :.....	43
14	Granulés :.....	43
14.1	Utilisations des pneus usagés en Algérie :.....	43
14.2	Valorisation des déchets pneumatiques dans les bétons et les mortiers :.....	43
15	Granulats végétaux :.....	44
15.1	Généralités sur le chêne liège :.....	44
15.1.1	La systématique du chêne liège :	44
	44	
15.1.2	Définition :	44
15.1.3	Le processus de formation du liège :	44
15.1.4	La production nationale :.....	45
15.1.5	Les différentes utilisations du liège :	46
16	Les copeaux de bois :	48
	Conclusion :.....	48
	Chapitre 2 : comportement des matériaux composites hybrides	49
	Introduction :.....	50
18	L'argile, un ciment naturel.....	50
18.1	Caractéristiques :.....	50
18.1.1	Résistance à l'usure du temps, mais sensibilité à l'eau :.....	50
18.1.2	Changement de phase et climatisation naturelle :.....	50
18.1.3	Forte inertie thermique... mais faible pouvoir isolant :	51
18.1.4	Solution bioclimatique adaptée à la mixité des techniques :	51
18.2	Les + du béton d'argile.....	52
18.2.1	Écologiquement Responsable.....	52

18.2.2	Confort Thermique	52
18.2.3	Confort Acoustique.....	52
18.3	Principales utilisations de la pouzzolane :	53
18.4	L'influence de la pouzzolane naturelle sur la résistance mécanique des mortiers à base ciments composés.	53
18.4.1	Description	53
19	Pierre ponce :	54
19.1	Un bloc béton à base de pierre ponce :	54
20	Béton de chaux-schiste :	54
20.1	Ses avantages :	55
20.2	L'influence des schistes calcinés sur la Réaction Alkali-Silice pour une meilleure valorisation en bétons de granulats réactifs :	55
20.3	Dalle chaux schiste :	55
20.3.1	Les propriétés :	55
21	Béton de sciure de bois :	56
21.1	Technologie de préparation du béton de sciure :	56
21.2	(Chapeau de cheminée (chapeau) - caractéristiques de sélection et d'installation)	56
21.3	La composition du matériau et ses principales propriétés :	57
21.4	Composition de béton de sciure :	57
21.4.1	Les avantages du béton de sciure :	58
21.4.2	Désavantage:	58
21.5	Faire du béton de sciure de bois de vos propres mains :	58
22	Le Disse :	59
22.1	Résumé :	59
23	L'Alfa :	61
23.1	Caractérisation thermo-physique des granulats végétaux d'Alfa :	61
23.2	Propriétés physiques :	61
24	Qu'est-ce que le Béton Polymère ? :	62
24.1	Résistance mécanique :	62
24.2	Étanchéité – Absorption d'eau – Résistance au gel-dégel :	62
24.3	Résistance à l'abrasion :	62
25	Fibres utilisées comme renfort dans les bétons :	62
26	Les déchets de pneumatiques :	62
26.1	Effets des déchets de pneumatiques sur l'environnement :	63
26.2	Béton de déchets de caoutchouc :	63
26.2.1	Définition :	63
26.2.2	Propriété du béton de déchets de caoutchouc :	63
26.3	Propriétés à l'état durci :	64
26.3.1	Résistance en compression :	64
26.3.2	Propriétés de transfert :	64
26.3.3	Perméabilité :	64

27	Granulats végétaux :.....	65
27.1	BETON A BASE DES DECHETS DE BOIS :.....	65
27.2	Liège :.....	65
27.2.1	Caractéristiques de Liège :.....	65
27.3	Propriétés de liège	66
27.3.1	Propriétés mécaniques :.....	66
27.3.2	Propriétés physiques :.....	66
27.3.3	Transmission du son :.....	66
27.4	Béton de liège :.....	67
28	Les copeaux de bois Les copeaux de bois :.....	67
	Conclusion de chapitre :.....	68
	Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux utilisés et procédés expérimentaux.....	69
	Introduction.....	70
29	Les matériaux et matériels utilisés	70
29.1	Matériaux utilisés	70
29.2	Ciment	70
29.3	Le sable.....	70
29.4	Les granulats des déchets pneumatiques.....	70
29.5	L'Argile expansé.....	71
29.5.1	La masse volumique apparente :.....	71
29.5.2	Masse volumique absolue :.....	71
29.5.3	La densité :.....	71
29.5.4	La teneur en l'eau :.....	71
30	Caractérisations physiques des matériaux utilisés.....	72
30.1	Masse volumique absolue de ciment	73
30.1.1	La densité	74
30.1.2	La densité notée 'd' s'exprime par	74
30.1.3	$D = \frac{\text{la masse volumique d'échantillon}}{\text{la masse volumique l'eau}}$	74
30.2	Caractéristiques physiques du sable utilisé	74
30.3	Caractéristiques physiques des déchets pneumatiques	74
30.3.1	La masse volumique	74
30.3.2	La masse volumique apparente : NF P 18-554 [2].....	74
30.3.3	Principe de mesure.....	74
30.4	La masse volumique absolue des déchets pneumatiques : NF P 18-555	75
30.4.1	Masse volumique absolue	76
30.4.2	La densité	77
31	EAU :.....	77
32	L'analyse granulométrique :.....	77
33	MATÉRIEL UTILISÉ :.....	78
34	Préparation d'un mortier ordinaire :.....	78

34.1	Confection du mortier normal de référence :	78
34.2	Elaboration des mélanges :	79
Caractérisation rhéologique de mortier ordinaire :		79
34.3	Essai d'étalement (Slump Flow) :	79
34.4	Essai d'étalement modifié (J-Ring) :	80
35	Confection et conservation des corps d'épreuves :	81
36	Étude expérimentale de la formulation des mélanges mortiers argile :	82
36.1.1	La masse volumique apparente :	82
36.1.2	Masse volumique absolue :	82
36.1.3	La densité :	83
36.1.4	La teneur en l'eau :	83
37	Préparation d'un mortier d'argile :	83
37.1		83
37.2	Procédés de réalisation mélanges mortiers/argiles :	83
37.3	Caractérisation de l'ouvrabilité du mortier argile expansée.	84
37.4	Confection et conservation des corps d'épreuves :	84
Les matériaux et matériels utilisés		85
Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de BOUIRA. Les matériaux utilisés sont :		
Formulations des composites à base des granulats pneumatiques et cuire de bois		86
37.5	Procédés de réalisation de différents composites à base de (MGDPCR) :	87
37.6	Les étapes de coulage des éprouvettes sont :	87
37.7	Conservation et démoulages des éprouvettes ;	88
38	Essai de caractérisation rhéologique des mortiers.	88
38.1	Essai de maniabilité :	88
38.2	Formulations des composites à base des granulats pneumatiques et cuire de bois et	89
38.3	argile :	89
38.4	Argile expansée	89
38.5	Procédés de réalisation des différents mélanges cuire de bois/granulats pneumatiques/argile :	89
38.6	Sciure de bois :	89
39	Procédés de réalisation de différents composites à base de (MGDPCR) :	90
39.1	Essai de caractérisation rhéologique des mortiers :	90
39.1.1	Essai de maniabilité :	90
Conclusion du chapitre :		91
Chapitre 4 : Présentation Et Interprétations Des Résultats Expérimentaux Et Discussion.		92
Introduction :		93
40	Résultats des essais mécaniques de mortier ordinaire :	93
40.1	Essais mécaniques :	93
40.2	Essais de flexion :	93
40.2.1	Analyse des résultats :	94

40.3	Essais de compression :	94
40.3.1	Remarque :	96
40.3.2	Interprétation des résultats :	96
40.4	Essais réalisés à l'état sec de mortier ordinaire avec déchets pneumatique et Sciure de bois:	96
40.4.1	Essais mécaniques :	
40.4.2	Essais de flexion :	96
40.4.3	Analyse de résultats :	97
40.5	Essais de compression :	98
40.5.1	Remarque :	99
40.6	Essais réalisés à l'état sec mortier argile expansée avec déchets pneumatique et Sciure de bois	99
40.6.1	Essais mécaniques.....	
40.6.2	Essais de flexion	99
40.6.3	Analyse se résultats :.....	101
40.6.4	Essais de compression :.....	101
40.6.5	Remarque :	103
Conclusion de chapitre :		104
Conclusion générale :		105

List des figures.

Figure 1 : classification des bétons légers	22
Figure 2 : Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short et kinniburgh	22
Figure 3 : absorption d'eau en fonction du temps d'argile expansée	24
Figure 4 : Interface pâte-granulats et mécanismes d'interaction identifiés	25
Figure 5 : reproduit quelques résultats de [17] sur l'efficacité des granulats légers à prévenir les dommages dus au retrait endogène en comparant la déformation d'un béton ordinaire et de deux bétons saturés et partiellement saturé.)	26
Figure 6 : représentent pouzzolane.....	33
Figure 7 : représente La plante alfa dans son environnement.....	38
Figure 8 :morphologie de la plante alfa (dallel 2012).	38
Figure 9 : déchets plastique.....	39
Figure 10 : Le graphique suivant fournit des données sur la composition des déchets solides produits en Algérie	41
Figure 11 :composition des déchets pneumatique d'un pneu.	42
Figure 12 : Aspect des déchets de caoutchouc[58].	43
Figure 13 représentent le liège.	44
Figure 14 représente les faces interne de liège	44
Figure 15 Aire de répartition du chêne-liège en Algérie	45
Figure 16 représente copeaux de bois.....	48
Figure 17 Boisseau pouzzolane béton de pouzzolane, H.25 x L.40 x l.20 cm [88]	54
Figure 18 Dalle de schiste.....	56
Figure 19 Résistances à la traction et à la compression en fonction du rapport Eau/Ciment pour différentes formulations.....	60
Figure 20 granulas d'alfa après broyage et Béton d'Alfa.....	61
Figure 21 Influence de G.C. sur l'affaissement.	64
Figure 22 Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C [104].....	65
Figure 23 Classes de granulats de liège.	67
Figure 24 Sable (0/5).....	72
Figure 25 moules prismatiques de dimensions (4x4x16 cm³)	72
Figure 26 argile 0.3.....	73
Figure Figure 27: Etapes de détermination de la masse volumique apparente	73
FigureFigure 28 : détermination de la masse volumique absolue des granulats pneumatiques	75
Figure 29 détermination la masse volumique absolue de sable	77
Figure 30 représente mesure de l'eau	77
Figure 31 représente le tamisage des granulats.....	78
Figure 32:les procéder à l'opération de malaxage.....	79
Figure 33 appareil de l'essai étalement table a secousse	80
Figure 34 Mesure de l'étalement pour les mortiers.....	80
Figure 35 Etalement (MGDP).....	81
Figure 36 Vibration à la table de secousse et coulage des éprouvettes (4x4x16 cm ³) à base de (MGDP).	82
Figure 37 essai d'étalement de mortier argile.	84
Figure 38 Vibration à la table de secousse et Démoulage des éprouvettes	85
Figure 39 représente sciure de bois	85
Figure 40 détermination de la masse volumique absolue de cuire de bois.....	86

Figure 41 pré-mouillage de la cuire de bois	87
Figure 42 représente graissage des moules. Figure 43 remplissage et le vibrage des moules..	88
Figure 44 démoulage et Conservation des éprouvettes	88
Figure 45 Remplissage du cône Etalement (MGDPCB)	89
Figure 46 mesure de étalement	91
Figure 47 : essai de flexion et mode de rupture.	93
Figure 48 graphe représente résultats d'essai de flexion de mortier ordinaire et argile	94
Figure 49 machine essai de compression.....	94
Figure 50 mode de rupture.....	95
Figure 51 graphe représente résultats compression mortier témoins et mortier argile expansée	95
Figure 52 mode de rupture	Figure 53 essai de flexion.
Figure 54 graphe représente résultats essai de flexion de mortier ordinaire avec GP et CDB .	97
Figure 55 machine de compression et essais de compression et mode de rupture	98
Figure 56 graphe représente résultats essai compression de mortier ordinaire +GP+CDB	99
Figure 57 essai flexion.....	100
Figure 58 graphe résultats de essai flexion de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois	101
Figure 59 représente avant et après mode de rupture a essai de compression.	102
Figure 60 graphe résultats de essai compression de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois	103

1 Liste des tableaux:

Tableau 1. Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes expansées.....	30
Tableau 2.: Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre ponce [M.CONTANT, 2000].	31
Tableau 3. Composition des déchets ménagers des	40
Tableau 4. Evolution de la production du liège en algérie [67]	45
Tableau 5. Evolution de la production du liège en algérie [67].....	46
Tableau 6. formule indicateur isolation.	55
Tableau 7. Comparaison des propriétés du béton de sciure avec d'autres matériaux[77]	59
Tableau 9: Masse volumique apparente des granulats des déchets pneumatiques	75
Tableau 10 : les caractéristiques physiques des granulats pneumatiques.....	76
Tableau 11 taux d'étalement à la table à secousse	81
Tableau 12 Différentes formulations à base du mortier et déchets pneumatiques et cuir de bois	86
Tableau 13. Résultats des essais mécaniques (flexion).	93
Tableau 14. Résultats des essais mécaniques (compression).....	95
Tableau 15. résultats de essai flexion de mortier ordinaire avec déchet pneumatique et sciure de bois.	97
Tableau 16. résultats essais de compression de mortier ordinaire avec déchet pneumatique et sciure de bois.....	98
Tableau 17. résultats de essai flexion de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois.....	100
Tableau 18. résultats de essai compression de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois.	102

Les mots clés :

- 1/ MO : mortier ordinaire
- 2/ GP+CDB : granulats pneumatique + cuire de bois
- 3/ MAEXP : mortier argile expansée
- 4/ M : mortier
- 5/ GP : gnulats pneumatique
- 6/ CDB : cuir de bois

Symboles

symboles	Désignation	unité
E/C	Consistance normal de mortier	////
F	force	(N)
σ	contrainte	MPA
ρ	Masse volumique	(Kg/m ³)

INTRODUCTION générale:

Les mortiers et les bétons ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans de divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales,... Composés essentiellement à partir de liants hydrauliques, ce sont des systèmes rendus complexes par l'incorporation de nombreux adjuvants, sous-produits et déchets issus des industries de fabrication des matériaux de construction, dont les effets, bénéfiques et parfois antagonistes ne sont pas encore totalement compris. Dans ce contexte, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de ces déchets, dans le but économique (réduire le coût de réalisation), écologique (éliminer ces déchets de l'environnement) et technique (améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers ou des bétons). Parmi ces déchets, les déchets de briques réfractaires peuvent être broyés et utilisés comme ajouts pour la fabrication des mortiers et des bétons qui peuvent être exploités dans certains domaines. L'étude décrite dans ce mémoire a pour objectif de faire le point sur la valorisation des déchets pneumatique réfractaires qui sont en abondance dans les domaines construction algériennes pour la confection des mortiers afin d'améliorer certaines propriétés physicomécaniques et thermiques. Un autre aspect intéressant est l'observation et l'analyse des résultats pour mieux comprendre les différents phénomènes qui se produisent lors de l'incorporation de ces derniers. Ceci nous a amené à étudier, dans un premier temps, les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques des différents constituants utilisés pour l'élaboration des mortiers, dans la seconde partie de ce mémoire nous avons formulé et considéré ces derniers à l'état frais et durci sur le plan physico-mécanique. Enfin, la dernière partie a comporté un a étudier les résultats de déférents essais mécanique concernât la résistance de mortier étudier programme de caractérisations thermiques des différents mortiers à des températures variant de 20°.

Le premier chapitre est dédié à la présentation d'une synthèse bibliographique concise sur les diversités des déchets à base polymère et la présentation des différents matériaux synthétiques utilisés dans cette recherche, Les différentes définitions, les caractéristiques physiques, les avantages, et l'intérêt de leurs utilisations ainsi que les différents domaines d'application sont alors rappelées pour chaque matériau.

Le deuxième chapitre est consacré à la citation des différents matériaux composites légers à base des polymères principalement les mortiers et les bétons légers. Les différentes définitions et propriétés spécifiques des composites à base des déchets polymères tels que ; les déchets plastiques, les déchets pneumatiques, le polystyrène, sont également présentées.

Selon la littérature les matériaux composites susmentionnés sont dotés par un caractère d'isolation thermique et acoustique, particulièrement présentent une faible masse volumique comparativement ou composites à base des granulats minéraux classiques notamment les bétons et les mortiers ordinaires, dont nous avons pris en considération pour la sélection des matériaux à utiliser au sein de notre investigation expérimentale.

Le troisième chapitre est réservé à la présentation détaillée des étapes d'élaboration des différents spécimens réalisés, à savoir : les matériaux utilisés, la formulation, l'analyse granulométrique, l'optimisation des mélanges, le procédé de préparation des éprouvettes, les différentes variantes considérées, la réalisation des éprouvettes et enfin l'acquisition et le mode de chargement considérés dans ce travail.

Dans le quatrième chapitre nous avons illustré et représenté les résultats obtenus dans notre investigation. Tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés dans des tableaux récapitulatifs et des histogrammes représentatifs, mettant en exergue l'apport en termes de résistance mécanique comparativement aux structures de références.

**Chapitre 1 : synthèse bibliographique les
matériaux légers à base des agro-ressources ou
Polymères**

Introduction :

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. On retrouve ainsi, le verre expansé [1] le polystyrène [2] ou encore les granulats de bois [3]

2 Bétons légers :

La classification des bétons légers proposée par Lafarge « bétons - granulats légers » est représentée par la figure ci-dessus :

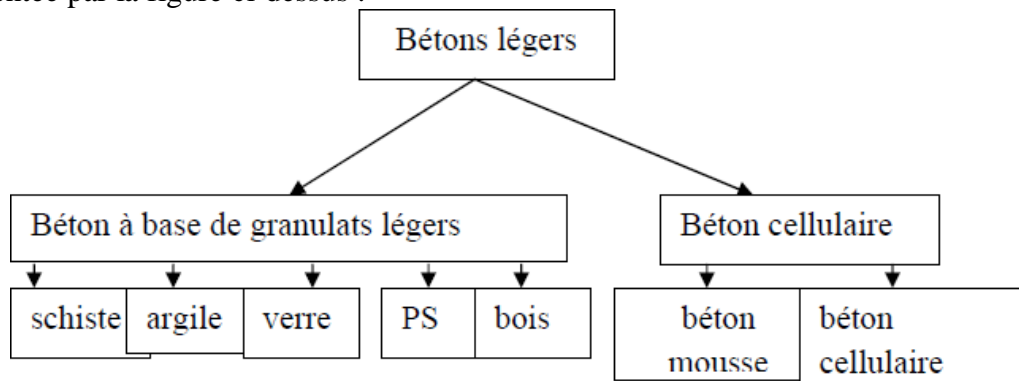


Figure 1 : classification des bétons légers

2.1 Granulats légers.

Les bétons de granulats légers sont généralement classés suivant l'origine du granulat utilisé, ainsi on distingue 04 types :

Les granulats légers naturels : la ponce ou la pouzzolane, matériaux volcaniques naturels de structures très poreuses- Les granulats légers ayant subi un traitement thermique : granulats d'argile, de schiste, d'ardoise ou de perlite expansée.

Les granulats légers de matériaux artificiels : le mâchefer, sous produit de la combustion de charbon ou des ordures ménagères. Les granulats légers de matériaux artificiels ayant subi des traitements spéciaux : granulats de nombreux déchets industriels, comme le laitier de haut fourneau que l'on peut expansé.

Porosité et densité des bétons et granulats légers

On diminue la masse volumique du béton en remplaçant une certaine quantité de matériau solide par de l'air. Les trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton sont : dans la matrice (béton cellulaire), entre les gros granulats (béton caverneux ou sans fines, c.à.d. sans sable) et dans les granulats (bétons de granulats légers). La figure illustre ces trois types de béton [4]

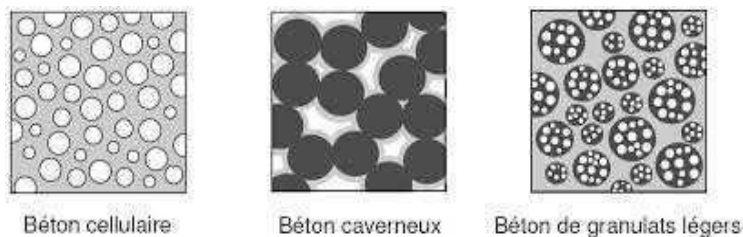


Figure 2 : Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short kinniburgh

Les granulats allégés par expansion ou frittage, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les USA, aussi bien dans la France ; ils ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P18-309) et le laitier expansé (NF P18-307) ; d'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Un gain de poids intéressant puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

Les granulats très légers sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers de masse volumique variable entre 20 et 100 kg/m³ ; ils permettent de réaliser des bétons de 300 à 600 kg/m³ ; on voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles ou rechargement sur planchers peu résistants.

2.2 Fabrication des granulats légers :

Les procédés de fabrication usuels des granulats légers artificiels à base de matières premières naturelles (argile, schiste, ardoise) ou de sous produits industriels (laitiers, cendres volantes) ; sont l'expansion en four rotatif ou la cuisson sur grilles [Arnould et Virologues, granulats et bétons légers, 1986, presses de l'école nationale des ponts et chaussées] [5] L'expansion est alors générée par la formation d'un gaz à l'intérieur du matériau en fusion (entre 1000 et 1300°C) ; la structure poreuse est alors conservée par le refroidissement rapide du matériau. Ces granulats peuvent être obtenus par le concassage des masses expansées ou par préformage avant l'expansion (moulage et déchiquetage de l'argile, pulvérisation des schistes et de l'ardoise, frittage des cendres volantes). Le moulage et le frittage permettent d'obtenir des granulats de forme sphérique (granulat bouleté ou roulé). Le laitier liquide à 1450°C est fabriqué sans opération de concassage ni préformage ; il est alors projeté dans l'atmosphère au moyen d'un tambour rotatif tandis que des jets d'eau assurent l'expansion des particules en fusion [Malhotra 1989] [6].

Ces granulats manufacturés sont à l'heure actuelle les meilleurs granulats pour la fabrication des bétons légers de structure. On préfère toutefois les granulats roulés aux granulats concassés car leur forme arrondie et leur plus faible absorption d'eau améliorent les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons légers [Ke , Beaucour ,Ortola , Dumontet, Cabrillac, 2009, comportement mécanique des bétons de granulats légers] [7][8][9].

2.3 Absorption d'eau des granulats légers :

Les granulats légers sont caractérisés par une très grande porosité (entre 25 et 75% du volume apparent). La taille et la distribution des pores influencent la résistance des granulats, mais déterminent surtout leurs propriétés d'absorption (taux d'absorption et absorption totale). Les données de la littérature montrent que le taux d'absorption d'eau des granulats légers artificiels est très élevé, plus de 50% de l'absorption dès les toutes premières minutes [Zhang & Gjorv ;1990] [10] voir figure ci-dessous

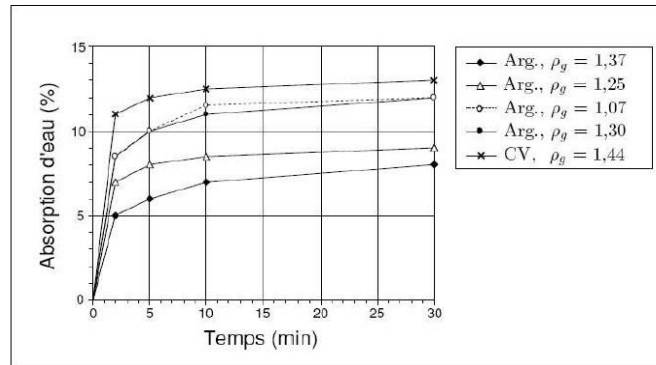


Figure 3 :absorption d'eau en fonction du temps d'argile expansée

Par ailleurs, la porosité des granulats légers varie proportionnellement à la taille des grains. Par conséquent, plus la taille des granulats diminue, moins ils sont poreux et plus leur densité apparente augmente. Les cendres volantes frittées, sont les plus absorbantes comparativement à l'argile expansée ; étant donné l'interconnexion plus élevée entre les pores. Le problème qui se pose lorsqu'on fabrique un béton avec des granulats légers est qu'une quantité importante d'eau de gâchage peut être absorbée par les granulats légers. L'effet sur l'ensemble du matériau peut se traduire par une perte rapide de maniabilité [5]. Certains moyens tel que le pré mouillage ou l'utilisation d'un traitement de surface visant à réduire l'absorption d'eau des granulats s'avèrent très efficaces pour diminuer la perte de maniabilité des bétons légers [11]

.Différents travaux ont été mené pour régler ce problème d'absorption d'eau des granulats légers ; voir la possibilité technique d'introduire des granulats caoutchouteux dans le béton ou bien des polymères, comme le polystyrène expansé ; grâce à leur forme, les perles de polystyrène expansé n'absorbent presque pas l'eau de gâchage ; mais en raison de leur poids très léger et de leur surface hydrophobe, le béton de polystyrène expansé est prédisposé à la ségrégation lors de la mise en coffrage du béton ; une méthode de pré mélange semblable à la technique « enveloppant sable » a été étudiée par[12] ; cette recherche a montré qu'en remplaçant partiellement des granulats ordinaires par les perles de polystyrène expansé, on aboutit à un béton léger de masse volumique comprise entre 800 et 1800 kg/m³ et une force de compression variant de 10 à 25 MPa. D'autres recherches dans le domaine des nouveaux matériaux de construction ont montré que l'introduction de particules de caoutchouc issues de l'industrie de récupération (déchetage des tubes inutilisables en PVC) réduit l'absorption d'eau du composite [13] [14].

2.4 Formulation des bétons légers :

A l'exception des granulats légers, les constituants et les méthodes de formulation utilisées sont les mêmes que pour les bétons de granulats rigides. Une attention très particulière est portée à la densité apparente et à l'absorption de l'eau des granulats légers. Les dosages en ciment et en eau sont généralement déterminés en fonction de la résistance à la compression du béton et de l'affaissement spécifiés. Grâce aux adjuvants modernes, le rapport eau/ciment peut maintenant se situer entre 0.25 et 0.5 contrairement aux rapports supérieurs à 0.5 traditionnellement utilisés pour contrer l'absorption des granulats. Le choix des granulats a par ailleurs un effet important sur les propriétés du béton. Le degré de saturation initial des granulats légers doit être déterminé par essai d'absorption et être pris en considération pour déterminer la quantité d'eau de gâchage du béton léger. Les granulats fins peuvent être du sable léger ou du sable naturel. Le sable léger a toutefois le désavantage d'être absorbant et on l'associe plutôt aux bétons légers de résistance modérée, qui ne sont pas des bétons de structures [Arnould et Virlogeux ; granulats et bétons légers] [5].

2.5 Adhérence pâte-granulats légers :

La qualité des interfaces pâte-granulats légers est généralement supérieure à celle des bétons de granulats rigides. Des mécanismes d'interaction physico-chimique et mécanique ont été identifiés par [Zhang et Gjorv] [15] ; la pâte de ciment peut venir se loger entre les rugosités et les pores à la surface des granulats légers. Cet ancrage mécanique qui améliore l'adhérence des granulats à la matrice cimentaire, dépend de la texture des granulats, de la taille des grains et de la viscosité de la matrice.)

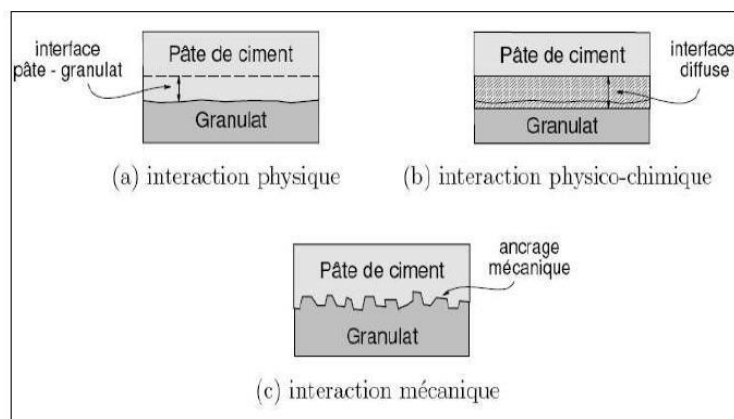


Figure 4 : Interface pâte-granulats et mécanismes d'interaction identifiés

3 Durcissement du béton léger.

Lors du durcissement et selon la chaleur dégagée par l'hydratation du ciment, les bétons légers peuvent être soumis à une plus forte augmentation de température que les bétons de granulats rigides. De plus, étant donné leur meilleure capacité d'isolation, cette élévation peut s'étendre sur une plus longue période et par conséquent favoriser les gradients thermiques.

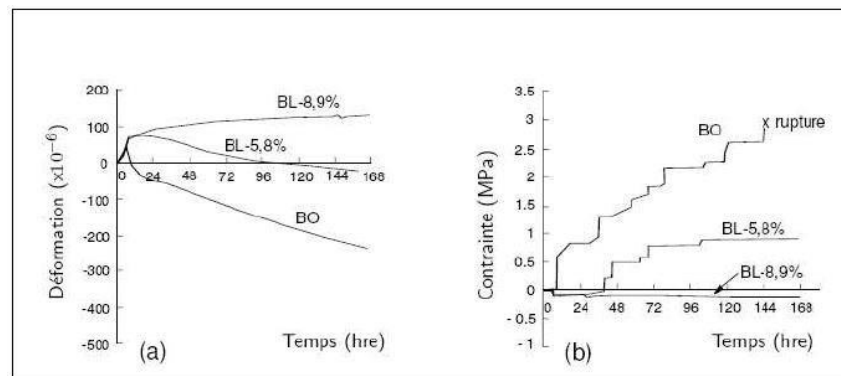
3.1 Propriétés mécaniques des bétons légers :

Les différentes propriétés des granulats légers et des bétons légers ont été largement étudiées par plusieurs chercheurs. La principale distinction des bétons de granulats légers par rapport aux bétons de granulats rigides est la plus faible masse volumique qui diminue à la fois le module élastique et la résistance du béton. Bien que l'on observe un plafond de résistance ; des bétons légers à haute performance d'une résistance en compression supérieure à 60 MPa pour une masse volumique inférieure à 1900 kg/m³ ont été réalisés. Les mécanismes qui permettent d'expliquer un tel niveau de performance ne sont pas encore bien expliqués. On peut citer la relation entre la résistance mécanique à la compression du béton et le dosage en ciment [16] pour différents bétons légers voir figure ci-dessous.

3.2 Retrait :

Les bétons légers présentent pour la plupart, un retrait plus important que les bétons traditionnels et également plus tardif, car l'eau absorbée par les granulats légers se trouve progressivement restituée par la matrice, retardant ainsi la déshydratation du mortier, cause principale du retrait. Le retrait est évalué en valeur finale selon le dosage en ciment, en eau et la nature des granulats légers utilisés.

Figure 5 : reproduit quelques résultats de [17] sur l'efficacité des granulats légers à prévenir les dommages dus au retrait endogène en comparant la déformation d'un béton ordinaire et de deux bétons saturés et partiellement saturé.)



Le retrait endogène est une diminution de volume de la pâte liante provoquée par son assèchement interne du fait de la consommation de l'eau pour l'hydratation ; on dit aussi retrait d'auto-dessiccation ou retrait d'hydratation

3.3 Isolation

Une des propriétés intéressante des bétons de granulats légers est leur pouvoir d'isolation thermique dû aux nombreuses bulles d'air interposées dans l'épaisseur du béton. Le béton parfaitement sec est plus isolant que le béton humide. Ces bétons légers constituent aussi de bons isolants phoniques.

La corrélation entre la masse et le coefficient de conductivité thermique se traduit par des performances en matière d'isolation thermique, d'autant plus sensible que la densité diminue [18] Grâce à leur conductivité thermique et à leur coefficient de dilatation plus faible, les bétons légers présentent une résistance au feu meilleur que celle des bétons courants, à condition que les granulats soient d'origine minérale.

La structure cellulaire des bétons légers leur assure une bonne imperméabilité à l'eau, tout en favorisant les échanges de vapeur, ce sont aussi des matériaux résistant au gel.

4 Les granulats minéraux légers :

4.1 Argile expansée :

Introduction :

Blida. L'argile expansée de Bouinane réexportée : un matériau de construction connu pour être un isolant thermique et parasismique, sera de nouveau transformé à Bouinane à l'ex-DNC, a-t-on appris lors d'une réunion du Calpide Blida. Ce projet sera concrétisé non loin du gisement de l'argile et surtout après le lancement d'une adjudication conformément à la loi en vigueur, stipulant que tout investissement transitant par le Calpi doit passer par cet avis lorsqu'il est situé dans une commune qui est en même temps chef-lieu de daïra, comme c'est le cas de Bouinane. « Avant la création de l'ex-DNC, l'Algérie importait ce matériau, alors que durant son fonctionnement, cette usine recevait de fortes demandes émanant des quatre coins du pays, puisque l'argile expansée est rare. D'ailleurs, en Europe, ce matériau existe seulement à Anvers en Belgique, qui alimente tout ce continent en attendant la création d'une autre usine au Portugal », nous dira un ancien responsable de l'ex-DNC, lequel a déposé son dossier au Calpi de Blida afin de reprendre le site en question dans le cadre d'un investissement. Notons que l'argile expansée existe seulement à Bouinane et serait l'unique même en Afrique. Il demeure un matériau extrêmement demandé dans les pays développés, puisque pour répondre aux normes de construction, les bâtisses et les grandes tours doivent le contenir pour qu'elles soient conformes. Signalons que la DNC de Bouinane a cessé ses activités durant les années 1990 pour cause de terrorisme. Après la réouverture, dans le cadre d'un investissement privé, de cette usine de 12,5 ha qui peut transformer jusqu'à 600 m³/jour d'argile expansée, 200 emplois y seront créés en contribuant également à la richesse de la commune qui souffre d'un manque terrible en investissements ainsi qu'au développement de l'économie nationale grâce à l'exportation de cette argile. [19] .

4.2 Présentation Argile expansée :

L'argile expansée est obtenue à partir d'argile brute naturelle qui a été séchée, réduite en poudre, mélangée à de l'eau puis chauffée dans des fours rotatifs à 100°C. Après traitement, on obtient des billes que l'on utilise en vrac, pour épandage, ou des blocs de construction composés de billes.

Cet isolant écologique est principalement utilisé pour des chapes de sol ou des mortiers allégés.

Performances isolantes de l'argile expansée L'argile expansée présente des qualités d'isolation thermique assez moyennes, mais elle présente de très bonnes qualités d'isolation phonique. Elle est particulièrement efficace contre les bruits aériens et les bruits d'impact.

4.3 PROPRIÉTÉS ET AVANTAGES DE L'ARGILE EXPANSÉE:

4.3.1 Légèreté

L'Argile Expansée Laterlite est un matériau inerte et léger (à partir de 330 kg/m³), grâce à sa structure interne très poreuse.

4.3.2 Résistance mécanique

Grâce à son écorce extérieure clinkerisée compacte et rigide, l'Argile Expansée Laterlite a une résistance mécanique idéale qui permet la réalisation de mortiers et de bétons[20] y compris bétons structurels à haute résistance [21]

4.3.3 Isolation thermique

Grâce à un pourcentage élevé de vides d'air, l'Argile Expansée Latérite a une valeur faible de conductibilité thermique Lambda (à partir de 0,09 W / mK). Elle est performante pour les applications d'isolation thermiques [22] idéale dans les cas d'isolation porteuse [23].

4.3.4 Incombustibilité

L'Argile Expansée Latérite est un produit minéral et incombustible, avec une réaction au feu Euro classe A1 (selon NF EN 13501-1). Clinkerisée à 1200 °C, elle est indestructible même en cas d'incendie très grave. Elle ne fond ni ne se détériore, ne produit pas de fumées ou de gaz toxiques. Elle est généralement employée comme matière première de préfabriqués et de matériaux résistants au feu et réfractaires ou dans l'isolation haute température.40

4.3.5 Isolation phonique

Grâce à sa structure cellulaire et poreuse, l'Argile Expansée Laterlite garantit une bonne insonorisation. Elle est généralement utilisée pour la réalisation de produits manufacturés insonorisant et de barrières acoustiques 40

4.3.6 Durabilité

L'Argile Expansée Latéralité ne contient pas de matériaux d'origine organique. Elle n'est donc pas atteinte par des parasites et micro-organismes et ne se détériore pas dans le temps même dans des conditions difficiles de température ou d'humidité importantes. L'Argile Expansée Latéralité est un matériau inerte, clinkers et dimensionnellement stable qui ne présente pas de variations de volume au contact de l'eau.

4.4 Caractéristiques techniques :

4.5 Granulométrie :

Billes de 3-10mm Densité standard : de 250 à 480 kg/m³/ Lambda (conductivité thermique) : de 0.09 à 0,16 W/m.k Classement au feu : A1 (incombustible)

4.6 Inconvénient de l'argile expansée :

Le principal inconvénient de l'argile expansée est qu'elle ne présente pas de très bonnes capacités d'isolation thermique. Elle est principalement recommandée pour l'isolation acoustique.

4.7 FABRICATI ON DE L'ARGIL E EXP ANSÉE ET DES MORTI ERS ET BÉTONS A LLÉGÉS EN SAC

La fabrication de l'argile expansée a comme acteurs principaux la matière première, des argiles naturelles spéciales, et le feu qui sert à l'expansion et la clinkérisation / vitrification du matériau : découvrons les phases de la fabrication de l'argile expansée, des mortiers et bétons allégés ayant l'argile expansée comme produit de base.

La production de l'argile expansée permet une utilisation efficace des ressources car elle est issue d'une matière première qui se trouve en abondance sur la surface terrestre, l'argile, dont l'extraction est limitée au minimum grâce à son expansion importante dans les fours (jusqu'à 5 fois) **40**

4.8 PRÉPARATION DE L'ARGILE :

L'argile naturelle récoltée et transportée en milieu industriel est laissée à l'air libre et repose ainsi pendant plusieurs mois. Le chaud, le froid, la pluie et le gel effectuent une action préparatoire au processus industriel.

Successivement l'argile est homogénéisée, mouillée et fragmentée, malaxée et portée à une teneur en humidité contrôlée. Cette opération lui donne l'homogénéité et la plasticité nécessaire pour l'extruder sous forme de petits boudins cylindriques coupés à la dimension choisie, en fonction de la granulométrie demandée.

4.9 LE PROCESSUS INDUSTRIEL :

4.9.1 Séchage, cuisson et expansion :

Cette phase de fabrication est faite dans des fours rotatifs de dimensions importantes, longs d'une centaine de mètres.

L'argile rentre dans le four par l'extrémité haute et en parcourt toute la longueur, en augmentant graduellement sa température.

A l'extrémité opposée du four la température atteint environ 1200 ° C ; à ce point l'argile atteint l'état pâteux (qui précède la fusion) et le processus d'expansion et clinkérisation a lieu.

Le roulage des granulats à l'intérieur du four leur donne la forme arrondie typique des billes d'argile expansée et provoque la formation de l'écorce externe compacte et résistante qui lui confère les performances mécaniques.

L'alimentation du four est obtenue avec des combustibles recyclés ou biomasse en fonction de l'usine de production.

Le cycle productif est entièrement contrôlé et les fumées sont épurées avec un électro filtre ; celui de notre usine de production de Rubbiano en Italie est parmi les plus grands d'Europe.

40 Tamisage et stockage L'Argile Expansée Latérite sort du four en tout-venant granulaire de dimension 0-20mm ; après le refroidissement elle est stockée en vrac à l'abri.

Elle est ensuite tamisée dans les granulométries commercialisées, et stockée en partie à l'air libre et en partie dans des silos couverts.

Pour obtenir les granulats concassés (FRT), le tout-venant granulaire est broyé et tamisé dans les différentes granulométries

5 Le schiste :

Le terme de schistes apparaît en géologie. Il ne désigne pas une roche précise mais plutôt une texture de roche particulière. Celle de roches présentant un débit en feuillets plus ou moins minces, ondulés ou irréguliers, suivant des plans de schistosité. On appelle ainsi les plans suivant lesquels les minéraux constitutifs de la roche sont orientés parallèlement les uns par rapport aux autres sous l'influence de contraintes tectoniques. Les schistes sont associés aux zones de

métamorphisme général. Ce sont des métamorphiques formées en profondeur par la pression et la température à partir de roches préexistantes. Les schistes peuvent présenter des natures différentes (schistes ardoisiers, schistes clarteux, talc schistes, etc.) mais beaucoup sont issus du métamorphisme de degré moyen d'argiles anciennes. On y retrouve souvent du mica. Ils contiennent aussi d'autres minéraux qui donnent aux schistes des couleurs et des textures diverses. Globalement, les schistes présentent un aspect feuilleté, lisse et brillant.

5.1 Schiste expansé :

5.1.1 **Composition et origine :** Les schistes servant à la fabrication des granulats légers peuvent provenir de diverses origines, soit de schistes naturels (schistes carbonifères, houillers et bitumineux), ou de schistes plus classiques, en provenance de carrière ou encore d'ardoise **41**

5.1.2 **Méthode de fabrication :** Le procédé de fabrication des granulats légers à partir de schistes est similaire au procédé par expansion. D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules de schiste à un diamètre maximal de 800 μm . Ensuite, on mélange cette poudre à 10 % d'eau pour obtenir une pâte que l'on va extruder aux environs de 80 °C sous forme de coudes. Les nodules extrudés de 5 à 15 mm sont ensuite séchés et expansés au four à une température de 1300 à 1450 °C. L'expansion est d'autant plus importante que la température est élevée. Par exemple, la masse volumique en vrac est d'environ 1000 kg/m^3 à 1300 °C comparativement à 380 kg/m^3 pour une température de 1450 °C. **42**

5.1.3 **Propriétés du béton :** Les bétons légers confectionnés à partir de schistes expansés atteignent des masses volumiques parmi les plus élevées et, par le fait même, les meilleures résistances à la compression. Pour cette raison, ils sont majoritairement utilisés dans la conception de bétons structuraux. La figure présente la fourchette de résistance à la compression en fonction des masses volumiques qu'il est possible d'obtenir avec des schistes expansés. **60** Les autres propriétés du béton contenant des schistes expansés .

Tableau 1. Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes expansés.

	kg/m^3	(Mpa)	(Mpa) (Rc/R τ)	(5GPa)	(mm/m)	(mm/m)	(kcal/mh°C)
Schiste expansée	800	10	10	> 20	0.5	6	0.15
	à 1800	à 50	à 15		à 0.7	à $7 * 10^{-6}$	à 0.6

6 Pierre Ponce:

La pierre ponce est un matériau naturel d'origine volcanique, on trouve dans sa composition chimique une proportion élevée de trois minéraux qui sont : le silice, l'alumine et l'alcali.

Elle se forme par brusque refroidissement de roches en fusion où il se présente sous l'aspect de grains assez arrondis dont le diamètre maximal est 10 à 20 mm suivant les carrières, de couleur grisâtre, d'une densité sèche et faible variant de 500 à 800 kg/m^3 due à la présence de bulles de gaz créées lors de sa formation et non pas à sa fabrication car à cette étape la ponce ne subit aucune transformation particulière mise à part le concassage.

La ponce est assez friable et employée pour des bétons légers de structure et d'isolation ayant des résistances mécaniques modestes ainsi que dans le cas d'enduits légers.

Citons comme exemple d'utilisation de la pierre ponce : le massif de l'Eifel en France et le dôme de du panthéon à Rome . **41**

6.1 Propriétés du béton :

Vu que la masse volumique de la ponce est faible cela nous indique une teneur excessive en vide et par conséquent les résistances à la compression du béton fabriqué avec de pierre ponce seront fortement limités disant faible. A moins d'utiliser une certaine quantité de sable plus dense (densité 2,30 à 2,65), les masses volumiques resteront relativement faibles. Les autres propriétés du béton contenant de la pierre ponce sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2.: Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre ponce [M.CONTANT, 2000].

	ρ kg/m ³	f_c (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	λ (kcal/mh°C)
Ponce	750 à 1400	3 à 20	0.5 à 1.5	2 à 10	1.0 à 1.5	8 à 9×10^{-6}	0.40

6.2 La pierre ponce est un matériau facile à utiliser :

C'est un matériau naturel sans cuisson ni traitement chimique. Elle dispose d'une faible densité (MV sèche entre 610 kg/m³ et 660kg/m³) qui en fait un matériau léger et maniable.

- L'industriel peut produire des blocs ponces thermiques et légers avec une presse classique et l'artisan conserve ses techniques de pose : traditionnelle au mortier de sable de ponce ou collée.

- La ponce peut être utilisée pour les mortiers isolants ou les éléments préfabriqués légers. Dans les TP, elle sert de sous-couche drainante routière ou de remblais techniques légers.

- Enfin, elle est utilisée comme support de culture hors sol et entre dans la composition de terreaux ou de substrats pour toitures végétalisées **42**

6.2.1 L'utilisation de la ponce s'inscrit dans la démarche de construction durable :

Avec un λ sur béton de 0.227W/m.k, elle permet la fabrication de matériaux qui répondront aux exigences des futures réglementations. Pour accroître les performances thermiques du mur et diminuer les ponts thermiques,

Les blocs pourront être collés ou hourdés par mortier de sable ponce.**42**

6.2.2 L'offre Lafarge, la double maîtrise de la qualité et des approvisionnements

- Légère, recyclable, avec une excellente résistance thermique et phonique, la pierre ponce est un matériau performant et compétitif.

- Pour vous permettre de profiter au maximum de ses avantages, Lafarge vous propose une offre de service avec les garanties de qualité et de professionnalisme du leader des matériaux de construction en France.**42**

6.2.3 Normes et garanties :

- Lafarge vous propose des coupures obtenues par simple criblage de 0/4 mm et de 2/10 mm.

- Le marquage CE de niveau 2+ de nos produits atteste leur conformité aux exigences de la norme produit NF EN 13 055-1 **45** et de la norme complémentaire XP P18-545.**46**

En cas de besoin, les techniciens et les qualificateurs Lafarge vous accompagneront dans les processus d'adaptation des formules béton et de la maturation des blocs. **[24]**

6.2.4 Logistique et approvisionnement :

- La pierre ponce est extraite de nos carrières en Méditerranée et est transportée par voie maritime. L'ensemble du circuit logistique est géré par Lafarge du chargement au déchargement en passant par le stockage.
- Lafarge Granulats vous assure également la disponibilité de la pierre ponce partout en France et ce, sans quantité minimum à la commande.
- Enfin, nous vous proposons un conditionnement en vrac ou en big bag adapté à vos besoins.[24]

7 La pouzzolane et les toits végétalistes :

La pouzzolane, ou terre de lave, est un matériau léger qui sert à fabriquer des toits végétalistes. La pouzzolane est vendue en jardinerie sous le nom de "pouzzolane" ou de "pierre de lave".

La pouzzolane peut absorber et stocker l'eau pour la végétation au-dessus. Le mélange gravier/pouzzolane fera un excellent drain avec la qualité de rétention de l'eau par la pouzzolane. La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche.

La pouzzolane est un matériau inerte (scorie ou pierre de lave) qui sert sur les toits végétalistes. La pouzzolane souvent pour remplir la zone de lagunage de la piscine [25].

7.1 Les caractéristiques de la pouzzolane :

La Pouzzolane est :

Légère : ce qui explique pourquoi la pouzzolane sert pour fabriquer les substrats végétalistes Inerte Insoluble. la pouzzolane ne se dégrade pas dans l'eau et, contrairement au calcaire, la pouzzolane n'interagit pas l'eau en ce qui concerne le PH (par exemple).

Minérale : ce qui est important quand on ne veut pas utiliser un substrat organique

Poreuse : la pouzzolane laisse passer l'eau, ne se colmate pas facilement et abrite des bactéries utiles(www.encyclo-ecolo.com/Pouzzolane) au sujet des toits végétalistes et du pouzzolane

7.2 Toit végétaliste

Les toits végétalistes, ça pousse

Tous les articles sur les toits végétalistes

Un témoignage sur l'installation d'un toit végétal : Il a installé un toit végétaliste [26]

7.3 Pouzzolanes des Dômes - Carrière de pouzzolane :

Située au cœur du Parc Régional des Volcans d'Auvergne, notre société participe à la valorisation du patrimoine régional. Entièrement orientée vers une clientèle professionnelle, notre expertise de la pouzzolane est au service de multiples activités (Industrie, Horticulture, traitement des eaux,...)

Ce matériau présente en effet des qualités mécaniques et chimiques uniques :PH neutre, forte capacité d'absorption, très haute résistance à la chaleur, grande capacité de filtration, propriétés phoniques, etc...La Pouzzolane est un matériau 100% naturel qui n'a aucun impact défavorable sur l'environnement. Cela lui permet de ne pas faire partie de la réglementation REACH.

Le nom de Pouzzolane vient de la ville de Pouzzoles située à 27Km du Vésuve. Sa couleur est généralement noire ou rouge(brique, plus rarement grise ou jaunâtre).[27]

7.3.1 L'entreprise

L'entreprise s'organise sur deux pôles distincts mais complémentaires.

7.3.2 La carrière :

Le site est étendu sur une dizaine d'hectares, La production est d'environ 120 000 tonnes par an, La carrière est autorisée jusqu'en 2030, 3 personnes évoluent sur le site, La pouzzolane est extraite à l'aide d'une pelle ou d'un chargeur, et ensuite transportée jusqu'à une installation de traitement par

tombereau, installation fixe permet de concasser et trier les matériaux. La capacité horaire moyenne.

7.3.3 L'usine et les bureaux :

Au sein de l'usine, la pouzzolane est conditionnée en sacs, filets et big bag,

La pouzzolane peut être séchée et dépoussiérée,

Une équipe dynamique répond à l'ensemble de vos demandes commerciales ou techniques.



Figure 6 : représentent pouzzolane.

7.4 Caractéristiques chimiques

Un PH neutre. Une composition chimique de, en moyenne :

45% de silice,

15% d'alumine, 15% d'oxyde de fer.

Elle contient également, de la chaux, du sodium, du potassium, et de nombreux oligoéléments. [28]

7.5 Caractéristiques physiques :

Une forte porosité.

Une faible densité.

Une capacité d'absorption d'eau et d'odeurs, Une aptitude à la rétention d'eau.

Une faculté à l'isolation phonique et thermique.

Une grande surface spécifique.

Une résistance à la chaleur et au gel, Une action filtrante et drainante.

Une fonction décorative, qu'elle soit noire ou rouge.

7.6 Applications

Amendement de sol Antidérapant, déverglçant. Aquariophilie.

Barbecue Bétons légers.

Boisseaux de cheminée Charge minérale Cimenterie.

Correcteur granulométrique.

Couche de travail (sols sportifs, hippodromes) Décoration.

Diffuseur de parfum.

Drainage (routes, sols sportifs, hippodromes) Filtration / épuration des eaux.

Hydro culture Litière pour chat Mortiers industriels.

Murs et parois antibruit Paillage **43**

7.7 Les avantages de la pouzzolane :

1-Elle est naturelle

Ce matériau très utilisé au jardin est une roche, issue des projections volcaniques, les scories. Elle est connue et employée en Italie (de la ville de Pouzzoles située au pied du Vésuve, d'où son nom) depuis l'Antiquité mais on en trouve dans toutes les régions volcaniques du globe. Elle se compose en majorité de silice et d'alumine. [29]

44

7.7.1 Elle dure longtemps

Roche basaltique, la pouzzolane est un matériau extrêmement durable, qui ne craint aucune intempérie et ne se décompose pas. Le paillage réalisé grâce à ce matériau garde de ce fait son intérêt au fil du temps. Cette inertie offre également un paillage qui n'acidifie pas le sol, contrairement aux écorces de pin qui finissent par se décomposer. Du coup, n'attendez pas d'elle qu'elle fertilise le sol ! Vous l'installerez plutôt sur un paillage organique qu'elle dissimulera.

7.7.2 Elle est très drainante

La porosité de la pouzzolane lui permet de s'imbiber d'eau et de la laisser progressivement sortir cette humidité. Cette porosité lui permet aussi de laisser le sol ou le substrat s'aérer normalement. Elle sera utilisée pour drainer le fond d'un pot, pour mélanger à une terre trop argileuse pour l'alléger. Il faudra dans ce cas choisir une granulométrie plus fine.

7.7.3 Elle est légère

Facile à transporter et à manipuler, la pouzzolane est idéale pour l'utilisation sur un balcon ou une terrasse. Plus lourde que les billes d'argile, elle ne servira cependant pas pour des contenants trop grands sauf pour les stabiliser au sol dans les régions ventées ! Elle ne s'enfonce pas non plus dans le sol comme peut le faire le gravier. Elle est aussi suffisamment dense pour ne pas s'envoler avec le vent, contrairement aux paillettes de lin par exemple

7.7.4 Elle protège le sol

Sa teinte plutôt sombre lui permet d'emmagasiner la chaleur durant son exposition au soleil, elle la restitue ensuite durant la nuit. Inversement, elle va empêcher la terre de se réchauffer ou de se refroidir trop rapidement en faisant tampon entre l'air et le sol.

La battance désigne le tassement du sol suite aux précipitations. Ce tassement entraîne la formation d'une croûte à la surface du sol, qui empêche air et eau de pénétrer sous la surface. La terre devient également difficile à travailler. Ce phénomène sera grandement limité par la présence d'une couche de pouzzolane en paillage.

En rendant plus stable l'environnement de la faune du sous-sol, la pouzzolane favorise la présence et le développement de ces micro-organismes fort utiles pour la transformation des matières organiques en humus **44**

7.7.5 Elle protège les végétaux

La souche des végétaux sera protégée du gel par une épaisse couche de pouzzolane qui isole grâce à sa texture alvéolaire.

Lorsqu'il pleut ou que vous arrosez, les gouttes d'eau qui giclent sur les plantes peuvent y déposer des spores de champignons venant du sol. Ces spores provoquent des maladies dites cryptogamiques, qui seront donc évitées par ce paillage qui va empêcher les spores d'être ainsi disséminés. **44**

8 Fibre de bois :

On consacre à la présentation de quelques travaux de la littérature consacrés à la stabilisation des sols à l'aide de l'incorporation de fibres végétales en général, de la plante alfa en particulier, comme inclusions afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques.

L'idée de ce concept est reconnue depuis plus de 5000 ans. Deux premiers exemples existants de sol renforcé par des fibres végétales sont : les Ziggurats de Babylone dans l'ancienne cité Dur-Kurigatzu (connue aujourd'hui Agar-Quf (Iraq)), et la grande muraille de Chine (Horrocks et al. 2000). Les Babyloniens ont utilisé des mats de roseaux tissés et des cordes tressées comme renfort. Dans la grande muraille de Chine, les branches d'arbres ont été utilisées pour renforcer la terre. Cependant, l'incorporation des fibres végétales comme renfort dans une matrice présente un grand nombre d'intérêts permettant d'associer des performances environnementales et techniques. Pour cela, plusieurs études et des recherches systématiques se sont intéressées à l'étude du rôle des fibres de plantes telles que les fibres de coco, de jute, de palme, de sisal, d'alfa, etc. sur l'amélioration des caractéristiques mécaniques des sols.

Fibre de bois :

8.1 Définition :

Fibre de bois ou panneaux de fibres de bois est un matériau isolant, issu du bois ou des résidus de sa fabrication. Produit sous forme de plaques dont l'épaisseur est d'au moins 1,5 mm. La fibre de bois est obtenue par application de chaleur/pression sur des fibres dites « lignocellulosiques » présentes dans les parois des cellules des végétaux, bois ou paille. [30]

8.2 Utilisation pour la fibre de bois :

Les panneaux de fibres de bois sont utilisés dans les murs intérieurs ou extérieurs, les sols, les plafonds, les sous-toitures protégées par un pare-pluie, les contreventements, dans les compléments d'isolation ou encore en ameublement. [30]

8.3 Dans quels cas utiliser la fibre de bois :

La fibre de bois soufflée est utilisée dans les façades des constructions, pour isoler le bâtiment et alléger son poids. Utilisé dans l'isolation des planchers entre étages, il améliore le confort acoustique et thermique de l'habitation.

Utilisés dans les murs extérieurs, les panneaux en fibres de bois empêchent les déperditions thermiques, vous aidant à réduire votre consommation d'énergie.

La fibre de bois en vrac, sert à combler des vides au sein de la toiture, des cloisons ou des planchers toujours dans un souci d'isolation thermique et phonique de l'habitation. [30]

8.4 Performances ;

Les panneaux en fibres de bois sont un très bon isolant thermique, avec un très faible coefficient lambda de 0,038 qui protège du froid en hiver en empêchant les déperditions thermiques.

Pour la protection contre la chaleur, la fibre de bois est la plus efficace, elle accumule la chaleur et vous en protège donc en été. Ce matériau présente une qualité de déphasage nettement supérieur à celle du bois et cela est obtenu grâce au défibrage lors du processus de sa fabrication.

Les panneaux de fibre de bois sont d'une densité élevée, offrant une bonne isolation acoustique contre les bruits d'impacts et bruits aériens.

Le matériau fibre de bois protège des effets de la condensation, régule le taux d'humidité dans l'habitation et participe à l'assainissement de l'air de celle-ci grâce à sa perméabilité à la vapeur. [3]

9 La Sciure de Bois :

La sciure de bois issue des produits de récupération constitue un élément d'importance croissante dans l'exécution des projets de construction car le bois est une source renouvelable et inépuisable. Le béton bois est un matériau composite, généralement composé d'une matrice cimentaire et des charges végétales de formes granulaires, et qui peut être adjuvant [31]. Ces différents chercheurs ont étudié les caractéristiques physiques mécaniques et thermiques des bétons légers à base de sciures de bois. Dans le même contexte, d'autres auteurs ont travaillé sur l'influence du pourcentage de la sciure du bois sur les performances du béton composite à base de bois [32].

La sciure de bois contient des matières qui nuisent à la prise du béton ; différents traitements sont alors appliqués pour éliminer les risques d'agressions biologiques du bois dus aux champignons lignivores et aux insectes xylophages et neutraliser les effets négatifs de la cellulose sur la prise du ciment, car la proportion de la cellulose dans les divers bois feuillus et résineux est de 40 à 45% [33]. Avant de pouvoir servir à la fabrication du béton léger à base de sciure de bois, cette dernière doit être pré-trempée pour éliminer toute matière soluble comme les sèves végétales.

Cependant, les bétons légers à base de granulats de bois, présentent des inconvénients tels que le risque de ségrégation, la sensibilité à l'eau, la faible résistance au feu et la mauvaise durabilité.

Plusieurs solutions ont été proposées, comme l'utilisation d'une matrice argileuse [34], ou bien envelopper la sciure de bois par un matériau qui ne brûle pas mais qui goûte « le polypropylène » [35]. Notre étude a consisté à élaborer un nouveau type de granulats artificiels à base de mélange copeaux - sciure de bois et du polypropylène, qui sont destinés à la confection d'un béton léger. Une étude expérimentale a été menée dans le but de comparer le comportement mécanique et physique de deux types de bétons composites obtenus, par la substitution en volume apparent équivalent, de la fraction granulaire 3- 8 pour le béton de type BCI et par la substitution des deux fractions 3-8 et 8-15 pour le béton de type BCII, avec un béton léger témoin à base de granulats ordinaires.

Le mélange copeaux - sciure de bois issu de l'industrie de récupération à utiliser pour la confection du béton léger, provient des différentes essences de bois (résineux ou feuillu). Les copeaux et la sciure de bois que nous avons récupéré (déchets de menuiseries) proviennent de sciage, rabotage et usinage de troncs de bois de différentes essences généralement (pin, épicéa, sapin...). Les mélanges copeaux - sciure de bois présentent des dimensions variées.

9.1 Principales utilisations :

En ébénisterie : mélangée au Liant Acrylique Gel ou à la colle blanche, elle permet de reconstituer des parties manquantes, de boucher des trous ou galeries de vos meubles, parquets et poutres en bois. Hygiène : elle est utilisée dans les toilettes sèches où elle empêche la formation d'odeurs et constitue une source de carbone qui améliorera la qualité du compost final. Elle était autrefois utilisée pour améliorer le balayage du sol intérieur, tout en limitant les envols de poussière.

En ferronnerie : grâce à sa capacité d'absorption, elle est utilisée pour le séchage des métaux après neutralisation des patines à froid notamment. [36].

9.2 Caractéristiques :

Origine : forêts auboises

Diamètre : environ 500 microns

10 LE DISS :

Résumé Le Disse (*Ampelodesmos mauritanicus*, famille des Poacées) est une grande graminée répandue dans l'Afrique-du-Nord méditerranéenne et les régions sèches de la Grèce à Espagne. En France, on la trouve dans les départements des Alpes-Maritimes, du Var, de la Corse-du-Sud et de l'Hérault. Cette plante était le plante fibreuse dans une pâte cimentaire offre des résistances aux tractions très intéressantes, qui font de ce matériau léger un excellent remplissage pour les structures soumises aux efforts sismiques. L'objectif de nos travaux était l'élaboration des composites à base de disse dans des matrices cimentaires. Le matériau végétal de base, très fibreux, présente une absorption de l'ordre de 90%. L'utilisation des fibres de disse naturel broyé comme agrégat dans des matrices cimentaires présente un retard de prise assez considérable et des résistances très faibles, alors que les fibres présentent des résistances à la tension considérable. Pour améliorer la contribution des fibres dans les composites à base cimentaire, nous avons donc procédé au traitement par ébullition des fibres de disse pour extraire les substances causes de la mauvaise liaison entre les fibres et la pâte de ciment. Nous avons constaté que le traitement à l'eau bouillie a été très efficace, et a bien amélioré les propriétés mécaniques du composite. [37]

11 Cas de la plante d'Alfa :

Une grande conscience a été prise, depuis quelques dizaines d'années, de la part des pouvoirs publics, des acteurs économiques et de la société civile des pays fortement industrialisés, sur les conséquences défavorables des activités humaines sur l'environnement et de la nécessité de réduire, de façon très urgente, ces impacts.

Aujourd'hui, à l'échelle nationale et internationale, dans les domaines de l'industrie, de l'énergie, des transports et de la construction. Les incitations et les contraintes sont de plus en plus robustes pour incorporer les projets à une démarche de développement durable.

Dans ce contexte, le secteur du Génie Civil se trouve face à la revendication de rénover ses pratiques et méthodes de conception, afin de prendre en compte les facteurs environnementaux devenus cruciaux. Par conséquent, plusieurs recherches et investigations expérimentales ont été établies pour créer des nouveaux matériaux répondant à de nouvelles exigences. Ainsi, l'incorporation des fibres végétales comme un renfort dans une matrice présente un intérêt certain permettant d'associer des performances environnementales et techniques. Renforcer les sols à l'aide de fibres végétales constitue une avancée majeure dans la transition vers l'utilisation des éco-matériaux dans la construction durable. Leur utilisation, soit pour confectionner des éco-géotextiles, soit mélangées aux sols pour constituer un matériau composite, a rencontré récemment quelques succès dans le domaine de l'ingénierie de la construction (stabilité des sols et des remblais, lutte contre l'érosion, infiltrations, ...) en substitution aux fibres de renfort synthétiques utilisées dans les géotextiles notamment.

Pour cela, plusieurs études se sont intéressées à l'étude du rôle des fibres de plantes telles que les fibres de coco, de jute, de palme ou de sisal, sur l'amélioration des caractéristiques mécaniques des sols instables.

Notre travail est une contribution à l'utilisation de géo matériaux fabriqués à partir de feuilles végétales de type alfa, en vue d'améliorer les performances mécaniques des matériaux de construction et d'assurer la stabilité du talus en remblai. Le choix de cette plante a pour but de valoriser cette ressource végétale très abondante dans le bassin méditerranéen et plus particulièrement en Algérie, et de tirer parti de ses propriétés mécaniques, à priori remarquables.

L'originalité de notre approche est d'étudier le frottement entre le sol et les fibres d'Alfa avec différentes orientations par rapport au plan de cisaillement, à l'aide de la boîte de cisaillement légèrement modifiée et de l'appareil triaxial. Nos objectifs spécifiques sont la réalisation à terme d'un éco-géotextile destiné au renforcement des sols et des routes. D'étudier les propriétés mécaniques et structurelles des feuilles et des fibres d'alfa, et évaluer leur durabilité dans des conditions d'utilisation possibles. [38].

11.1 Présentation de la plante alfa :

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (fig). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides. Cette herbe est endémique du bassin occidental de la Méditerranée et peut être trouvée en Libye, Tunisie, Algérie, Maroc et Espagne [39] et a. Au sud et à l'est, la limite naturelle de l'Alfa est déterminée par la sécheresse en bordure du Sahara. En revanche, au nord et à l'ouest, c'est l'humidité croissante du climat qui l'élimine de la flore, elle est beaucoup plus rare dans les étages subhumides et surtout humide

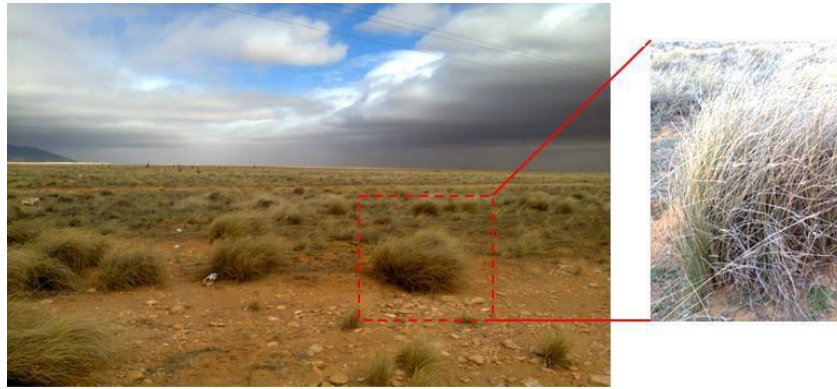


Figure 7 : représente La plante alfa dans son environnement.

11.2 La plante alfa dans son environnement :

La plante d'Alfa comprend une partie souterraine et une autre aérienne. La partie souterraine, appelée le rhizome, est formée d'un réseau complexe de racines très ramifiées de 2 mm de diamètre environ et profondes de 30 à 50 cm, qui se terminent par les jeunes pousses. La partie aérienne est constituée de plusieurs branches portant des gaines emboîtées les unes dans les autres, surmontées de limbes longs de 30 à 120 cm. La face inférieure des limbes est légèrement brillante, la face supérieure porte de fortes nervures.

L'une et l'autre sont recouvertes d'une cire isolante qui permet à la plante de résister à la sécheresse [38]. La feuille est creuse et cylindrique, et régulièrement interrompue au niveau du nœud par des enchevêtrements des faisceaux. Au même niveau, se trouvent des bourgeons qui donneront naissance soit à un entre nœud, soit à une feuille, ou reste sous la forme d'une réserve qui entrera en activité lorsque la souche sera épuisée.

Les feuilles sont cylindriques, très tenaces, longues de 50 à 60 centimètres. La fleur est protégée par deux glumes de longueur égale. La glumelle supérieure semble partiellement séparée en 2 parties et la glumelle inférieure est plus fine. Généralement, les fleurs apparaissent vers la fin avril début mai et sont de couleur verte. Le fruit est un caryopse (une sorte de grain) qui mesure 5 à 6 mm de longueur. Sa partie supérieure est brune et porte souvent des traces desséchées.

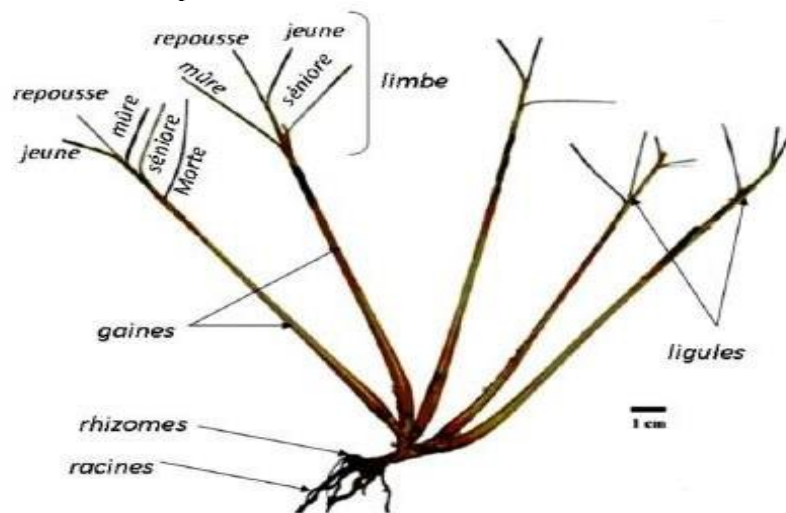


Figure 8 :morphologie de la plante alfa (dallel 2012).

11.3 Propriétés chimiques de l'alfa :

La composition chimique des fibres végétales varie d'une plante à une autre et dépend de l'origine d'extraction, de l'environnement local où les plantes grandissent, de l'âge des plantes et du climat. Cependant, les constituants principaux des fibres végétales sont: la cellulose, l'hémicellulose, la lignine, la pectine et les cires. Leurs proportions déterminent l'ensemble des propriétés des fibres. La

cellulose est le composant principal des fibres végétales et est considérée comme le polymère naturelle plus abondant sur la surface de la terre (Dallel 2012). Elle a la structure la plus simple des composants de la paroi cellulaire car c'est un homopolymère linéaire de formule moléculaire ($C_6H_{10}O_5$)

12 Déchets plastique :

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats. Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit du déchet plastique. Trois types de déchets plastiques sont ajoutés dans le béton (sous forme de grains et fibres (ondulées et rectilignes). Les propriétés à l'état frais (maniabilité, air occlus et densité) et à l'état durci (résistance à la compression, à la traction, retrait et absorption d'eau) des différents bétons réalisés sont analysées et comparés par rapport leurs témoins respectifs.(47)



Figure 9 : déchets plastique.

12.1 Déchets polymères :

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, la croissance exponentielle de déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage. Les matériaux de construction peuvent représenter un débouché intéressant. En effet, des études antérieures ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et mortiers et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et/ou de construction

Avant de nous pencher sur leur processus de fabrication à proprement parler, attachons nous à décrire plus précisément les polymères (encore récemment appelés « hauts polymères »), ces matériaux constitués de longues chaînes de molécules élémentaires assemblées (les monomères), elles-mêmes constituées d'atomes de carbone sur lesquelles des opérations chimiques permettent de fixer d'autres éléments, comme de l'hydrogène, du chlore, de l'azote, du fluor ou de l'oxygène. Ces macromolécules, dont les différentes natures chimiques permettent la création de résines distinctes, voient leur propre traitement varier en fonction des matières recherchées Remontons ainsi jusqu'à l'origine des plastiques [48]. Différents déchets utilisés en génie civil En général les déchets sont classés en cinq catégories si bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous-produits industriels dans des conditions spécifiques.

12.2 Déchets inertes :

Tout déchet qui ne produit pas de réaction physique ou chimique tels les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et

qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou par d'autres éléments.

12.3 Les déchets ménagers :

Les déchets ménagers englobent tous les déchets produits par les ménages et assimilés (certaines collectivités et certains commerçants). Ce sont donc les déchets que tout particulier produit dans sa vie quotidienne. Les déchets ménagers regroupent les ordures ménagères (non recyclables ou pas encore recyclées), les déchets recyclables secs (journaux, papiers, carton, magazines, verre, aluminium, plastique) et les recyclables dits humides, organiques ou fermentescibles (déchets alimentaires, herbes, bois...)

12.4 Les déchets industriels banals :

Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.

12.5 Déchets en Algérie :

12.5.1 Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics Pneus usagés et déchets plastiques :

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays. En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier [49] Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie Déchets de la construction/démolition La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats.

Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée.

Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel.

La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton. Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées.

12.5.2 La composition des déchets solides urbains en Algérie :

Tableau 3. Composition des déchets ménagers des

pays	Fraction Organique (%)	Papier carton (%)	Plastique (%)	Fraction inretes fine (%)
algérie	67-89	7-9	2-3	0.2-23

Libye	42-48	16-19	2	3
Maroc	50-70	5-20	2-8	5-20
mauritanie	5.6	3	17	44.5
tunisie	37-81	1-23	1-16	0-2



Figure 10 : Le graphique suivant fournit des données sur la composition des déchets solides produits en Algérie .

Le graphique suivant fournit des données sur la composition des déchets solides produits en Algérie. Les principaux composants sont les résidus alimentaires (organiques) avec un taux moyen de 72 %, plastique 10 %, papier/carton 9,3 %, verre 1,36 %, métaux 3,2% et le chiffon et autres 4,14% ([52] Cette composition reflète le mode de consommation des ménages algériens qui est basée dans une grande partie sur les produits frais (fruits et légumes) conjuguée à l'absence de la culture des produits de conserves. [53]

12.5.3 Les ajouts de plastiques :

La valorisation de déchets de plastique, sous forme de granulats dans les matériaux de construction, est une alternative très récente. Celle-ci permet d'une part de répondre au souci d'économie des ressources naturelles en granulats et d'autre part de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage des déchets plastiques Ces déchets représentent un pourcentage important des ordures ménagères et industrielles La valorisation de ces produits a un double effet : elle permet d'éviter à la fois la mise en décharge (risque de pollution. La deuxième forme consiste à broyer les déchets plastiques récupérés dans des broyeurs, les granulats issus ont une forme angulaire présentant 3, 4 ou 5 arêtes et de ces granules, on a trié la forme allongée et cubique [54].

13 Pneumatique :

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine du génie civil .

Depuis 2004, chaque année, l'Algérie importe en moyenne 49,62 milliers de tonnes de pneumatiques en caoutchouc, selon l'Agence Nationale de Promotion du commerce Extérieur. Sachant que chaque pneu neuf vendu génère un pneu usagé, et tenant compte de la perte de masse due à l'usure du pneu une fois usé, on se retrouve avec environ 45,65 milliers de tonnes de pneus usagés, chaque année[56] Les filières classiques de valorisation des pneus usagés qui nécessitent souvent une technologie avancée, sont généralement concentrées dans les pays riches. Le développement de nouvelles filières de valorisation de pneus usagés, reste cependant toujours en grande demande partout dans le monde. [56] Il y a un Quatre origines de déchets pneumatiques être signalées : Les déchets de caoutchouc industriel.

Les déchets de fabrication de pneumatique. Les pneumatiques usagés. Les déchets de rechapage[56] « béton compacté avec des ajouts granulats caoutchoucs » mémoire de fin d'étude, juin 2009.)

13.1 Définition du caoutchouc:

Les élastomères, comme les matières plastiques, font partie de la famille des polymères. Le terme « élastomère » est utilisé aujourd'hui pour désigner d'une façon générale tous les caoutchoucs, c'est -à-dire les substances macromoléculaires, naturelles ou synthétiques, possédant l'élasticité caoutchouteuse.

Le terme « caoutchouc » vient du mot indien caoutchouc (bois qui pleure) et rappelle ainsi l'origine du caoutchouc naturel, précurseur des élastomères d'aujourd'hui. Le caoutchouc à l'état naturel, se présente sous la forme d'une suspension colloïdale de latex secrétée par les plantes à caoutchouc. Les plus importantes de ces plantes sont l'Hévéa basiliens, arbre de la famille des euphorbiacées et d'autres espèces du même genre.

Les caoutchoucs synthétiques sont obtenus par polymérisation (création de macromolécules à partir de molécules de base) et par transformation physiques en présence de catalyseurs.

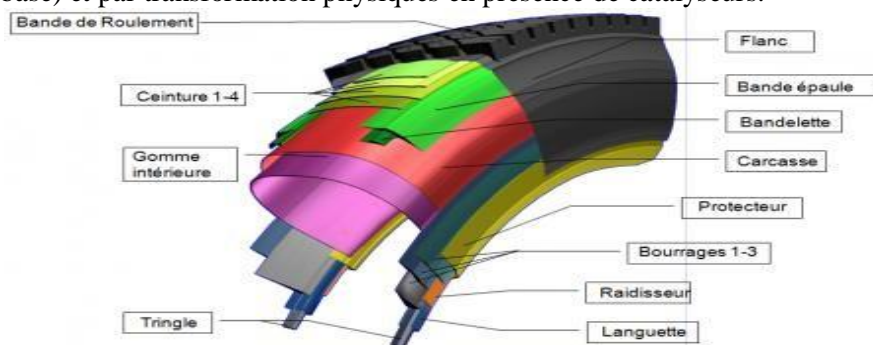


Figure 11 : composition des déchets pneumatique d'un pneu.

13.2 Valorisation des pneus usagés en Génie Civil :

13.2.1 Le tapis de pneus anti vibration :

Le tapis de pneus, composé de deux lits croisés de bandes de roulement de pneumatiques, est intercalé entre le ballast et la couche de forme (ou pose sur les tabliers des ponts ferroviaires) pour atténuer les vibrations provoquées par diverses machines, les trains, les tramways, les rames du métro, Etc.

13.2.2 La construction de récifs artificiels :

Immergés à des profondeurs de dix ou vingt mètres, assemblés et lestés à l'aide de blocs de ciment, les pneus peuvent former des récifs artificiels constituant des zones de calme pour la faune marine. Le Japon et les Etats-Unis ont développé une véritable industrie du récif artificiel ; par exemple, en Caroline du Nord, plus de 500,000 pneumatiques ont été immergés entre 1974 et 1977. En France, cinq récifs artificiels ont été construits à Palavas - les -Flots, à Langrune-Sur Mer, à Arcachon-Sur-Mer, à Golfe-Juan et à Port-la-Nouvelle.

13.2.3 Mur antibruit ACIAL (1992) :

L'ingénieur R. Beyler a proposé un mur antibruit dont la structure absorbante est réalisée avec des pneus usagés enfermés dans un caisson métallique dont une face est perforée de trous. Les essais effectués en 1992 selon les normes AFNOR S 31089 ont donné des résultats supérieurs aux valeurs maximales fixées dans la norme, ce qui classe ce mur antibruit parmi l'un des plus intéressants.

13.2.4 Le pneu sol (1974) :

Classé comme une valorisation originale, le pneu sol est un matériau inventé au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et constitué de pneus entiers ou d'éléments et sols naturels ou artificiels ou de déchets. Depuis 1974, plus de deux cent cinquante ouvrages en pneu sol ont été construits (en France).

13.3 Déchets pneumatiques broyés :

13.4 Poudrettes :

Il s'agit de particules de caoutchouc dont les dimensions sont inférieures à 2 mm . Son coût d'obtention dépend de sa finesse, de son origine chimique et de l'absence ou non de corps étrangers. Les poudrettes sont utilisées comme charges dans des mélanges servant à produire des pièces, ne subissant pas de contraintes mécaniques ou dynamiques élevées. Comme exemple d'utilisation, on a la fabrication de bandages et de roues pleines (caddie, poubelles, tondeuses, brouettes ...), la modification des revêtements routiers (diminution du bruit et de l'aquaplaning du fait d'un drainage en surface) ... etc.



Figure 12 : Aspect des déchets de caoutchouc[58].

14 Granulés :

Il s'agit de particules de caoutchouc d'une taille supérieure à celle des poudrettes . Les granulés peuvent être agglomérés par des résines , colorés ou non , et permettent , par moulage , de réaliser facilement des feuilles ou des plaques ,comme exemple d'utilisation , 28 Valorisation des déchets pneumatiques II on a aires de jeux , les pavés antidérapants , les revêtements pour terrains de sport (surfaces souples , diminution des nuisances sonores)

D'autres types de valorisation de matière, par transformation chimique, sont possibles, telle que la mécaniques), ou la Pyrolyse –Thermolyse.

Les produits issus de cette décomposition, sont des huiles combustibles lourdes et légères, du carbone ... etc. Le développement industriel de ces types de valorisation, est cependant freiné par le coût de mise en œuvre.

14.1 Utilisations des pneus usagés en Algérie :

Le gisement Algérien de pneumatiques usagés est important ; il est de l'ordre pour les véhicules poids lourds de 200000 tonnes /an (19 .millions de pneus). Mais les quantités valorisées sont très limitées, nous notons quelque types d'utilisation. [57] Utilisées en agriculteur pour renforcer les petits barrages et comme Siège dans les jardins

- traductionnelles. Applications de résidus de copeaux de pneus en structure sous chaussée.

Pour la Stabilité d'un talus.

- Rechapage pneus usagés à El Eulma.
- Utilisation pour couvrir les conducteurs électriques.
- Pneu sol, déjà utilisé dernièrement à Alger par une société Italienne.
- Stabilité d'un glissement de terrain

14.2 Valorisation des déchets pneumatiques dans les bétons et les mortiers :

La possibilité de valorisation des déchets pneumatiques dans le béton sous d'agrégats a été l'objet de nombreuses recherches expérimentales. Ces recherches ont avaient pour finalité que l'incorporation des déchets pneumatiques dans les bétons effectuent leurs proportions physico-mécanique aussi bien à l'état durci. Les principales conclusions tirées à parti de ces études c'est que l'incorporation des

particules des caoutchoucs diminue la densité et les paramètres de résistance du béton et augmenter la ductilité de ces matériaux.

15 Granulats végétaux :

Au-delà de leur intérêt environnemental, les granulats végétaux offrent une grande diversité de composition et de caractéristiques techniques. Ce qui leur permet de s'adapter à des exigences et à des utilisations variées. Si leur potentiel d'innovation reste très large, le marché propose aujourd'hui des solutions matures, que ce soit en construction neuve ou en rénovation . [61]

15.1 Généralités sur le chêne liège :

15.1.1 La systématique du chêne liège :

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) que les Grecs appelaient "l'arbre écorce" est une essence forestière de production. Il est également une usine à produire du liège, selon NATIVIDADE (1956) l'espèce *Quercus suber* L., appelé communément le chêne liège, a été décrit pour la première fois par le botaniste suédois LINNE en 1753. Le liège ou écorce du chêne liège est un produit végétal tiré du tissu phellogène ou de l'assise génératrice subéro- phellodermique. Il est formé de cellules mortes aux parois subérifiées Il protège les parties vivantes du tronc et des branches de l'arbre.



Figure 13 représentent le liège.

15.1.2 Définition :

Le liège ou écorce du chêne liège : est un produit végétal tiré du tissu phellogène ou de l'assise génératrice subéro- phellodermique. Il est formé de cellules mortes aux parois subéraies. Il protège les parties vivantes du tronc et des branches de l'arbre



Figure 14 représente les faces interne de liège

15.1.3 Le processus de formation du liège :

La croissance en diamètre de la tige de chêne liège résulte de deux assises génératrices de cellules, dont une que l'on nomme "phellogène", "mère du liège" ou plus scientifiquement " assise génératrice subéro -phellodermique", située entre le liège et le liber L'assises béro-phellodermique produit vers l'extérieur le liège et vers l'intérieur le phelloderme ;l'assise libéro-ligneuse (aussi appelée cambium)

produit quant à elle vers l'extérieur le liber.

15.1.4 La production nationale :

La productivité des forêts est faible par rapport aux potentialités existantes .En effet, si on prend l'exemple du liège qui est considéré comme une ressource stratégique à utilisations multiples (bouchonnerie , parquet, isolation thermique), sa production reste très insuffisante par rapport à l'énorme potentiel de la subéraie nationale. Forêt et développement, un lien indéniable 28 Selon les données fournies par la revue de presse en 2018, le potentiel national est estimé à 4. 397 tonnes entre 2010 et 2017. Il convient aussi de préciser qu'en 1980, le niveau de production du liège a atteint un niveau variant entre 150 000 et 200 000 quintaux par campagne. Cependant, la récolte du liège a connu une augmentation considérable au cours de l'année 2018 chiffrée à 86. 373,6 quintaux, ce qui est jugé comme satisfaisant et encourageant du moment que ça dépasse les productions précédentes. Quant aux exportations de ce produit stratégique, celles-ci ont rapporté au pays plus de 4 millions USD, en 2015. En Algérie.

La naissance d'un tissu industriel spécialisé dans la transformation du liège est relativement ancienne, elle remonte à l'année 1901. À cette époque, la politique économique coloniale visait essentiellement à tirer profit de cette richesse. Les premières exportations de liège ouvré sont passées de 1909 à 1912, de 940 à 2381 [64] Selon la même source, en 1908, des usines modernes et bien équipées voient le jour dans les principales villes du littoral algérien longeant les forêts de chêne-liège : Oran, Alger, Jijel, Annaba, Skikda, Bejaia et Delles. Durant les 10 années qui ont suivi le départ des industriels français et étrangers (1962-1979), l'industrie du liège en Algérie est restée en dehors des programmes de planification de l'époque. Les seules fabriques qui tournaient appartenaient à d'anciens artisans bouchonniers ou à certains industriels français, nationalisées par la suite par l'Etat



Figure 15 Aire de répartition du chêne-liège en Algérie

Tableau 4. Evolution de la production du liège en algérie [67]

Année	Production Qtx
1990	91 261
1991	92 918
1992	128 478
1993	111 824
1994	38 824
1995	32 329
1996	109 491
1997	66 665

1998	162 253
1999	123 378
2000	127 724
2001	100 545
2002	80 553
2003	69 970

15.1.5 Les différentes utilisations du liège :

Depuis longtemps le liège a été utilisé pour boucher des récipients contenant des liquides. Il possède des propriétés exclusives qui en ont fait un partenaire idéal du Vin ; il est souple pour pénétrer dans le goulot, élastique pour reprendre sa forme, adhérent pour se maintenir.

Au-delà du traditionnel bouchon, il faut aussi souligner que le liège est employé en quantité très faible, mais parfois irremplaçable dans de nombreux domaines. Les produits, après transformation, sont principalement destinés aux activités industrielles suivantes :

- La construction en général (isolement thermique et acoustique, revêtement, décorations, Cloisons).
- l'industrie du froid (chambres froides et transports frigorifiques).
- la construction navale (isolation, revêtement, décoration).
- l'industrie de l'automobile (joints).
- l'industrie des transports (isolation thermique, acoustique et vibratoire).
- l'industrie mécanique en général (joints d'étanchéité).
- l'industrie textile et la fabrication de chapeaux;
- l'industrie chimique, pharmaceutique et la parfumerie (bouchage et conditionnement des Produits).
- l'industrie de la pêche (bouées, flotteurs).
- l'industrie de la chaussure (semelles, talons,).
- l'industrie des emballages (granulés et laine de liège).
- la fabrication d'articles de sport (articles de pêche, raquettes, panneaux, balles);
- la chasse (bourre de cartouches).
- La fabrication d'articles de maison (nappes, boîtes de rangement, cadres, divers matériels de bureau.

Tableau 5. Evolution de la production du liège en algérie [67]

Propriétés	Caractéristiques
La légèreté	88% d'air, faible densité (120 à 240 kg/m ³)
Elasticité et Compressibilité	Reprend instantanément son état initial
Coefficient De frottement élevé	Le micro ventouses lui confère une forte adhérence
Imperméabilité	Absorbe moins de 18 à 20% d'eau,
Pouvoir Calorifique	Capacité du liège à générer une chaleur équivalente a celle du charbon végétal, environ 7000Kcal/kg.

Coefficient de « poisson nul »	Réduire le volume du liège vers une direction donnée, il ne se produit aucune déformation perpendiculaire.
Faible humidité d'équilibre	Cette faible humidité génère des conditions défavorable ou développement des microorganismes et par conséquence, il lui confère une durabilité illimitée.
Forte isolation thermique	Limitant la circulation de l'air. Il présente une résistance à la chaleur 30 fois supérieure à celle du béton.
Pouvoir d'absorption	Capacité de retenir à sa surface par le phénomène d'absorption certaines molécules provenant du milieu ambiant.
Absence de toxicité	Du fait de l'absence de toxicité, le liège a pu accompagner l'homme dans sa vie quotidienne.
Amortisseur d'impact	Capacité du liège à bien amortir les

	déformations dues aux impacts directe.
--	--

16 Les copeaux de bois :

Copeaux de bois résineux. Les copeaux de bois sont [69] fabriqués à partir de pin maritime de la forêt des Landes de Gascogne. Le bois est calibré, puis séché. Ce sont des produits 100 % naturels, aucun traitement chimique n'est réalisé. La coloration des copeaux est effectuée avec des colorants d'origine naturelle. Ils sont non polluants et sans danger pour les enfants, les animaux et les plantes [69] Avantages :

- Limitent la pousse des mauvaises herbes évitent le désherbage chimique
- Protègent les végétaux du gel et de la chaleur
- Limitent l'évaporation favorisent les économies d'arrosage
- Peuvent servir à l'aménagement des allées et
- Très décoratifs.



Figure 16 représente copeaux de bois.

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à une synthèse bibliographique succincte des travaux de recherche utilisant les fibres végétales comme renfort dans la matrice du sol. Différentes fibres ont été exploitées afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des sols telles que leur résistance au à la compression et leur potentiel de gonflement et de compressibilité. A travers ces travaux de la littérature nous avons mis en évidence la complexité du renforcement du sol à l'aide des fibres végétales. Cette complexité est liée aux propriétés intrinsèques de chaque type de fibres. Dans le cas des sols compacté nous avons vu que l'ajout des fibres diminue la densité optimale du sol renforcé. En revanche, l'ajout des fibres augmente l'indice CBR ce qui signifie l'augmentation des caractéristiques mécaniques des sols renforcés comme l'angle de frottement et la cohésion.

Chapitre 2 : comportement des matériaux composites hybrides

Introduction :

Les déchets sont de plus en plus variés et leurs quantités ne cessent d'augmenter, ce qui influe négativement sur l'environnement. La valorisation et le traitement de ces déchets favoriseront la protection et la préservation de l'environnement, ce qui nous permettra de s'inscrire dans une politique de développement durable.

Dans le secteur de la construction, Les matières végétales, renouvelables et respectueuses de l'environnement, sont appréciées pour leur légèreté, qui leur confère des propriétés d'isolation

18 L'argile, un ciment naturel

Le « béton », terme générique désignant un matériau constructif composé de granulats agglomérés par un liant, s'applique parfaitement au pisé, qui n'est en réalité rien d'autre qu'un « béton d'argile ».

Les gros grains forment la structure (ou squelette), tandis que l'argile joue le rôle de liant entre les grains (à l'instar du ciment pour le béton). Des terres plus fines peuvent être utilisées pour le pisé à condition de ne pas contenir trop d'argile, qui, en se gonflant et se rétractant, peut provoquer des fissures dans les murs.

Désagrégée et friable, la terre à pisé est humide au toucher, mais ne peut être façonnée à la main par manque de plasticité. Un test de chantier pratiqué pour estimer la teneur en eau et identifier l'état humide consiste à former une boule en comprimant fortement la terre, puis à la lâcher à un mètre de hauteur sur le sol. Si la boule se brise en trois ou quatre morceaux, elle possède la teneur en humidité adéquate pour fabriquer du pisé, si elle s'éparpille complètement, elle est trop sèche et si elle reste agglomérée en un seul morceau, elle est trop humide. Cette terre équilibrée mise en œuvre selon la technique du pisé, par couches successives compactées, se transforme très rapidement en un mur porteur, solide et cohérent, qu'il est inutile d'enduire par la suite.

18.1 Caractéristiques :

18.1.1 Résistance à l'usure du temps, mais sensibilité à l'eau :

Les ouvrages en pisé réalisés aujourd'hui, loin de paraître « artisanaux », offrent au contraire un aspect fini très contemporain. Sur les murs, les couches de terre compactées restent visibles. Caractéristiques de la technique du pisé, ces lignes horizontales créent un dessin, une coloration et une texture uniques, facilement reconnaissables et très appréciés esthétiquement. Le pisé, malgré son apparente simplicité, est cependant plus sophistiqué et long à mettre en œuvre que les autres principaux modes de construction en terre (adobe, bauge et torchis). Ces derniers ne demandent que peu d'outils de préparation et de mise en œuvre, alors que le coffrage nécessaire au pisé est complexe et imposant. Cela fait de lui un procédé constructif considéré aujourd'hui comme haut de gamme dans les pays industrialisés.

Issu d'une lente décomposition de la roche mère sur plusieurs millénaires, la terre à pisé vient au terme d'une transformation physique, biologique et chimique. Contrairement à d'autres matériaux comme le bois, le métal, la pierre ou le béton, elle ne s'altère pas avec le temps.

Elle ne craint pas le feu non plus, qui la consolide en la transformant en terre cuite, matériau encore plus résistant.

18.1.2 Changement de phase et climatisation naturelle :

Afin de renforcer les propriétés mécaniques des ouvrages, le mélange du pisé peut être

stabilisé par un ajout de ciment ou de chaux, dans une proportion d'environ 10 %. La stabilisation chimique n'est cependant nécessaire que dans certains cas et ne doit pas être généralisée. Elle détruit, en effet, les qualités intrinsèques de la terre crue, son caractère respirant, recyclable, etc.

Le recours aux stabilisants est, en revanche, souvent nécessaire pour renforcer certaines parties exposées d'un bâtiment, comme les angles, encadrements, soubassements ou sommets des murs. Des lits de mortier peuvent être aussi parfois disposés entre chaque couche de pisé, en partie externe des murs, pour renforcer la cohésion d'ensemble. Ils se distinguent par les lignes horizontales de couleur plus claire sur les murs.

Si un mur en pisé craint l'eau, il régule cependant parfaitement l'humidité et la vapeur d'eau. Grâce aux argiles qu'il contient, le pisé possède un grand pouvoir d'absorption et d'adsorption, lui conférant un rôle de véritable climatiseur naturel. Le matériau est vivant, il respire. Il absorbe ou restitue l'humidité continuellement, et sa structure évolue avec le temps. La terre peut, d'ailleurs, être comparée à un matériau à changement de phase naturel, contenant de l'eau qui s'évapore et rafraîchit l'air ambiant quand la température monte, et qui se condense et absorbe l'humidité en cas de diminution de température.

18.1.3 Forte inertie thermique... mais faible pouvoir isolant :

Le pisé, très dense (1 700 à 2 200 kg/m³), possède une très bonne inertie thermique, avec un coefficient de déphasage de 10 à 12 h. Sa capacité thermique volumique, de l'ordre de 700 Wh/m³K, prouve son aptitude à stocker l'énergie. Ainsi, en hiver, une paroi accumule la chaleur dans la journée et la restitue lentement pendant la nuit. En été, le mur se rafraîchit la nuit et absorbe la chaleur en journée, participant au confort d'été.

À l'inverse, le pouvoir isolant du pisé n'est pas très important, car il est dense, lourd et contient très peu d'air. Son coefficient de conductivité thermique λ , variant entre 0,5 et 1 W/m.K (en fonction de sa densité et de sa teneur en eau), est bien inférieur à la plupart des isolants thermiques.

Si des solutions d'isolation existent pour les constructions en pisé, il est difficile, par manque de recul, de juger de leur innocuité. Les nouvelles Réglementations thermiques engendrant des demandes massives d'isolation, des chercheurs de l'If star et de l'ENTPE ont mis en garde contre les désordres que cela pourrait occasionner sur le pisé. Lorsqu'une isolation est posée, il est préférable qu'elle soit intérieure. Elle doit être plaquée contre le mur et perspirante, afin d'autoriser les échanges d'humidité et d'éviter les phénomènes de points de rosée. Elle peut être collée directement au mur (enduit épais naturel), rapportée (blocs isolants ou structure bois avec isolant) ou intégrée dans un double mur.

Les matériaux isolants compatibles avec le pisé sont les enduits de terre mélangée à des fibres naturelles (paille, copeaux de bois, chanvre), les laines ou panneaux de fibres végétales ou animales (roseaux, fibres de bois, liège...), la chènevotte ou la ouate de cellulose en vrac, etc. Un mur en pisé étant très massif, il possède également des propriétés acoustiques intéressantes, dont la faculté de limiter la réverbération des sons et d'absorber les vibrations. [70] .

18.1.4 Solution bioclimatique adaptée à la mixité des techniques :

Au-delà de ses qualités esthétiques, hygrothermiques et acoustiques, le pisé présente des atouts environnementaux indéniables. Inépuisable et disponible localement presque partout, la terre nécessite très peu d'énergie pour sa production et son acheminement sur chantier.

Matériau recyclable par excellence, la terre ayant servi à bâtir du pisé n'a pas besoin d'être transformée en fin de vie du bâtiment. Elle peut être réutilisée pour la construction ou

retourner au sol et retrouver son état premier. En outre, c'est un matériau dénué de toxicité, bénéfique pour la qualité de vie et de l'air intérieur. Les évolutions récentes prouvent que la technique du pisé est parfaitement adaptée à une architecture contemporaine et innovante. Les enveloppes monolithiques traditionnelles dotées de petits percements ont laissé place à des constructions plus ouvertes sur l'extérieur, laissant entrer la lumière et les apports solaires en hiver.

Par ailleurs, les caractéristiques thermiques du pisé le rendant très pertinent au sud ou en intérieur comme accumulateur de chaleur, mais peu approprié en orientation nord, son usage tend à évoluer vers la mixité avec d'autres matériaux et systèmes constructifs. Le principe des murs auto stables en pisé, d'une longueur de banche, séparés par des ouvertures de hauteur d'étage, est une solution qui se répand. Elle offre une grande liberté de conception et permet d'être utilisée en association avec des ossatures bois ou des techniques de maçonnerie plus classiques.

Si aujourd'hui, le principal inconvénient du pisé réside dans le temps de mise en œuvre - et donc le coût - il pourrait à terme trouver un potentiel de rentabilité, grâce à l'implication des acteurs de la filière. Ceux-ci tentent de sauvegarder ce savoir-faire, de le diffuser, le revaloriser et le moderniser en améliorant sa mise en œuvre et en expérimentant de nouvelles techniques. Des recherches sont en cours, notamment sur les systèmes de terre projetée (compactage vertical), de terre coulée (sans compactage) et de préfabrication du pisé.

18.2 Les + du béton d'argile

- Produit prêt à l'emploi (uniquement gravillons à rajouter)
- Rapidité d'exécution
- Mélange au malaxeur ou en bétonnière (mini 350 litres)
- Argile à rhéologie contrôlée donc peu d'eau à ajouter au mélange
- Épaisseur et charge importante en une seule passe (10cm maxi)
- Conservation de la permanence des ouvrages

18.2.1 Écologiquement Responsable

- ARGILUS utilise des agrégats exploités sur le site d'exploitation et de l'argile crue n'ayant pas subi de cuisson à haute température.
- Le béton d'argile ARGILUS a pour vocation le respect de l'environnement et un bilan carbone maîtrisé.
- Le béton d'argile ARGILUS ne contient pas d'adjuvant ni de solvant.

18.2.2 Confort Thermique

- Apport d'inertie thermique à l'intérieur de l'habitat due à sa masse
- Effet hygroscopique dû à la terre d'argile contenue dans le béton qui joue le rôle de « climatiseur naturel » en absorbant l'humidité ambiante. Et ensuite en permettant l'évaporation de la vapeur retenue dans la masse d'argile naturelle.
- Ces échanges sont possibles grâce aux capacités de perspiration du béton d'argile qui permet les échanges gazeux avec l'air intérieure.
- Le béton d'argile ARGILUS est un matériau « chaud au contact » contrairement au béton de ciment qui lui reste froid.

18.2.3 Confort Acoustique

- Le béton d'argile forme une paroi légèrement absorbante des sons et des bruits et non réverbérant (ne résonne pas).
- De plus, il est peu sujet aux bruits d'impacts.

18.3 Principales utilisations de la pouzzolane :

Le rôle de la pouzzolane est multiple, et ce malgré un manque d'adhésion des centres de contrôle et d'expertise, notamment pour la proposer comme matériau d'ossature. En effet, le béton à base de pouzzolane présente une durée de durcissement plus élevée, ce qui le rend moins économique pour les constructeurs.

Hormis cet inconvénient, ce matériau est très sollicité dans les domaines suivants :
 assainissement : traitement des fosses septiques et des eaux usées, drains et filtres pour assises de jardins
 agriculture : traitement des sols pour les différentes cultures, drainage et amendement des sols ;réseaux routiers : sablage hivernal et revêtement des routes terrains de sport : aires de tennis, sous-sol de gazon, pistes de course ;bâtiment : chapes de hérissou, parpaings et blocs préfabriqués, lits de dalles et revêtement de sols, bétons allégés
 aménagement extérieur : végétalisation des dalles pour toiture et aménagement paysage
 Mise en œuvre d'une dalle de chaux-pouzzolane Cette dalle est souvent associée à des fondations de type semelle filante et à une pose sur un terre-plein.

Avant d'envisager les travaux, il est nécessaire d'effectuer un hérissou en décaissant le sol jusqu'à une profondeur de 20 à 40 cm.

Deux couches de pierres de diamètre variable constituent ce hérissou. On introduit des gaines dans l'épaisseur du gravier et du sable, pour former la dernière couche, avant de procéder au damage de l'ensemble. Cette opération permet d'accélérer le durcissement de l'ouvrage, avec le passage de l'air en fondations.

Le coulage de la dalle en chaux-pouzzolane intervient après qu'on a protégé le hérissou d'une membrane étanche (géotextile). La suite dépendra du choix du plancher à mettre en œuvre.

Il est donc possible de réaliser un plancher chauffant sur une chape de chaux et d'isolants (polystyrène) avec une finition du sol en terre cuite. Les dosages concernant le gâchage d'un mortier composé de chaux

18.4 L'influence de la pouzzolane naturelle sur la résistance mécanique des mortiers à base ciments composés.

La valorisation des ajouts cimentaires tel que Pouzzolane (ajout actif), fait actuellement partie des développements les plus récents dans la production du ciment, car son utilisation apporte une amélioration sur les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires (mortier et béton). D'une manière générale son utilisation fait réduire la consommation du clinker, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement :

- réduire l'émission du CO2 des opérations de production de ciment
- maîtriser l'impact environnemental des produits sur leur cycle de vie complet.

18.4.1 Description



Figure 17 Boisseau pouzzolane béton de pouzzolane, H.25 x L.40 x l.20 cm [88]

Largeur (en cm)	20
Longueur (en cm)	40
Matière principale	Béton de pouzzolane
Poids du produit nu (en kg)	25
Hauteur (en cm)	25
Usage du produit	Evacuation des fumées de chaudière. ne convient pa
Produit emballé : hauteur (en cm)	25
Produit emballé : largeur (en cm)	20
Produit emballé : profondeur (en cm)	40
Produit emballé : poids (en kg)	25

19 Pierre ponce :

19.1 Un bloc béton à base de pierre ponce :

Innovation majeure de Tarmac lancée en ce début d'année, le Tarma bloc Thermo est un bloc béton à base de pierre ponce. Une nouvelle technique d'isolation répartie dans la maçonnerie avec un pouvoir isolant intéressant.

La capacité d'isolation d'un bâtiment joue un rôle fondamental dans la limitation des déperditions de chaleur et la réduction des dépenses en chauffage. Fruit de sa démarche innovante en matière de développement produit, Tarmac présente Tarma bloc Thermo, dernier né de sa gamme Tarma bloc : un bloc béton à base de pierre ponce et au pouvoir d'isolation important.

La pierre ponce est une roche volcanique à la porosité élevée et à la densité très faible, grâce aux millions de bulles et de vides d'air qu'elle emprisonne de façon homogène. 100 % recyclables, les blocs béton Tarma bloc Thermo sont obtenus à partir de granulats de pierre ponce. Ils adoptent les propriétés de cette roche : isolation, légèreté et résistance mécanique. Associée à un isolant de 100 mm, cette solution offre une résistance thermique du mur 40 % plus élevée que ce qu'exige la RT 2005 et est également optimale pour le traitement des ponts thermiques de plancher.

Tarma bloc Thermo est aussi extrêmement léger à manipuler et présente des tolérances dimensionnelles uniques. Elles permettent aux blocs d'être assemblés avec seulement 1 m d'épaisseur de mortier colle. Ceci facilite et accélère la mise en œuvre des chantiers, notamment la maçonnerie. [71]

Le schiste :

20 Béton de chaux-schiste :

Un produit léger, isolant et respirant Matériau écologique par excellence, le béton de chaux-schiste est largement plébiscité pour la réalisation de dalles désolidarisées situées en rez de

chaussée des maisons individuelles neuves ou à ossature bois.

Composés de chaux et de schiste, les granulats employés rendent ce béton léger, isolant et respirant. Les propriétés mécaniques d'une dalle chaux-schiste assurent des performances thermiques et perspirantes de qualité pour les sols.

20.1 Ses avantages :

- Résistance mécanique supérieure aux bétons réalisés avec des granulats d'origine organique (bois, chanvre...) par nature hydrophile
- Dalle perspirante [72]

20.2 L'influence des schistes calcinés sur la Réaction Alkali-Silice pour une meilleure valorisation en bétons de granulats réactifs :

Pour lutter contre la RAS et le comportement du granulat PR calcaire siliceux de Brunnen en particulier vis-à-vis de la RAS. Parmi les granulats utilisés, le Brunnen a donc fait l'objet d'une caractérisation fine. La présence de silice macaronique voire submicronique de type quartz monocristallin semble être très réactive par sa petite taille et pourrait être responsable de l'expansion des bétons à base de ce granulat. Les SC ont également fait l'objet d'une caractérisation détaillée. Malgré une minéralogie et une structure complexes, de la silice macaronique a été distinguée. L'action des SC par rapport à la RAS a ensuite été étudiée en milieu réactionnel modèle et enfin en milieu béton. Les résultats montrent un effet bénéfique des SC en milieu réactionnel, malgré des conditions non optimales pour mettre en évidence la réaction pouzzolanique. De même, les SC permettent de diminuer les expansions de béton sous le seuil limite toléré dès 17 % de SC pour le silex et à 30 % de SC ou bien avec le ciment CEM II/B-M (S,T) 42,5 R (Robusto 4R-S) pour les calcaires siliceux. Les SC auraient un double effet pour inhiber la RAS par la fixation des alcalins sur les produits de la réaction pouzzolanique mais aussi par la neutralisation de ceux-ci sur sa silice macaronique [73] .

20.3 Dalle chaux schiste :

20.3.1 Les propriétés :

- Les propriétés isolantes des granulats de schistes expansés Granulex® ($\lambda=0,12$) – associées à la fonction régulatrice eau/CO₂ de la chaux réalisent des bétons légers, isolants et respirant qui offrent des caractéristiques mécaniques très supérieures aux bétons réalisés avec des granulats d'origine organique (bois, chanvre, etc..), par nature hydrophile.
- Élément typique de Développement Durable la chaux est le plus ancien liant hydraulique employé par l'homme. Les granulats d'ardoise expansée y participent également car pour réaliser 1 M3 de béton, seulement 600 kg d'ardoise sont prélevés sur la ressource naturelle alors qu'il faut prélever 1.800 kg de granulats ordinaires pour un béton traditionnel. Pour une chape de 100 m² en épaisseur 15 cm, l'économie de prélèvement, de transformation et de transport est de 18000 kg.

Tableau 6.formule indicateur isolation.

Formule indicative Isolation (Chape au sol)

Lambda 0,4 à 0,5	Chaux NHL5	Eau	Sable ordinaire	Granulex® 1220
Pour 1 M3	400 kg	180 l	400 kg	505 kg
Au seau de 10 L	1 sac de 35 kg	1 + ½	1 + ½	8 + ½

les chapes peuvent être armées avec un treillis soudé ou des fibres. L'épaisseur de dalle est généralement comprise entre 10 et 15 cm. Dans le cas de chape d'épaisseur supérieure à 15 cm, elle devra être réalisée en plusieurs coulages de 10 cm maximum en attendant au moins 2 jours et au plus 7 jours entre 2 coulages. Le béton est mis en place à la règle. Des joints transversaux de largeur comprise entre 3 et 5 mm et de profondeur au moins égale au ¼ de l'épaisseur de la dalle doivent être réalisés tous les 3 à 4 m conformément au DTU. Le lissage doit être réalisé 20 à 30 minutes après la mise en place.



Figure 18 Dalle de schiste.

21 Béton de sciure de bois :

Le matériau est basé sur de fortes marques de ciment. Lorsqu'il est mélangé avec du sable, des minéralisants, ainsi que de la sciure de bois, ce matériau de construction est obtenu, qui a une grande polyvalence. Aujourd'hui, une variété de modèles en est produite et également utilisée à des fins d'isolation. Mais le principal domaine d'application, bien sûr, est la construction privée de faible hauteur. Dans le même temps, le béton de sciure de bois est utilisé à la fois pour la construction de bâtiments résidentiels et pour la construction de bâtiments et de structures adjacents.

Les grades M5 et M10 ont une résistance insuffisante pour la construction, étant utilisés à des fins d'isolation. Quant aux marques M15 et M20, elles sont suffisamment solides pour la construction de maisons.

21.1 Technologie de préparation du béton de sciure :

Faire du béton de sciure de bois de vos propres mains n'est pas du tout difficile. L'essentiel est de faire le plein de matières premières et d'appareils pour mélanger le mélange. Pour le travail, vous aurez besoin de:

21.2 (Chapeau de cheminée (chapeau) - caractéristiques de sélection et d'installation)

- récipient pour la préparation de la solution;
- mélangeur ou perforateur de construction avec un accessoire approprié;
- une quantité suffisante de sciure de bois, de ciment, d'argile ou de chaux, de sable de quartz, d'eau.

Une bétonnière peut être utilisée. Pour préparer une solution toute faite, les matières premières peuvent être dosées par pesée, mais il est plus pratique de faire la composition du béton de sciure de

bois par des moyens simples, les proportions du volume dans les seaux par marques peuvent être vues dans le tableau suivant:

Dans le calcul proposé, une quantité constante de sciure de bois est prise comme base. La consommation de tous les autres composants provient de l'objectif d'obtenir du béton de sciure d'une marque particulière et d'une certaine densité. Ainsi, le béton moins dense sert d'isolant thermique; pour la construction de structures de support, il est nécessaire d'utiliser des matériaux de qualité supérieure. Si nécessaire, connaissant le poids spécifique des matières premières, il est possible de recalculer les proportions de béton de sciure pour 1 m³ de la composition finie.

En ce qui concerne la procédure même de préparation du mélange, il y a ici quelques nuances. Tout d'abord, deux compositions distinctes sont préparées:

- un mélange de composants secs, composé de sciure de bois, de ciment et de sable, bien mélangé;
- une solution d'argile ou de chaux dans l'eau.

Le mélange de ces pièces peut être fait manuellement ou dans une bétonnière. La condition est d'obtenir une masse plastique homogène. Il ne doit pas couler et, en même temps, ne doit pas s'effriter lorsqu'il est comprimé. Pour obtenir la meilleure résistance et densité du matériau, ainsi que pour contrer l'apparition de champignons, des insectes, des moisissures, du sel de table, du sulfate d'aluminium, du verre soluble, du nitrate de calcium sont ajoutés à la solution. Les proportions de béton de sciure pour le monolithe et la fabrication des blocs sont les mêmes. **73]**

21.3 La composition du matériau et ses principales propriétés :

Les principales matières premières pour la fabrication du béton de sciure sont:

1. Sciure.
2. L'eau.
3. Sable.
4. Ciment.
5. Chaux.

Les caractéristiques de la composition et de l'utilisation des composants sont les suivantes:

L'eau doit être purifiée et répondre aux exigences de GOST (pour l'acidité, par exemple, et d'autres indicateurs).

- Le ciment est utilisé avec une teneur d'au moins 400. Plus la qualité du ciment est élevée, plus le bloc fini sera dense. C'est le liant principal.
- Le sable est généralement du quartz.
- Sciure de bois - remplisseur. Il est recommandé d'utiliser un produit de transformation de bois de conifère, car le mélange avec un tel matériau de remplissage durcit plus rapidement. La sciure d'épicéa est idéale.

21.4 Composition de béton de sciure :

Beaucoup se posent la question: comment le béton de sciure de bois peut-il être durable s'il contient de la matière organique vulnérable aux effets biologiques? Tout est extrêmement simple.

Afin de neutraliser les effets des sucres solubles dans l'eau, des additifs chimiques sont le plus souvent utilisés. Plus précisément, le matériau bois est prétraité.

Vous pouvez utiliser une solution de chaux à 10%. Il est pulvérisé et laissé agir pendant 3-4 jours, tout en mélangeant constamment les matières premières.

Également utilisé du verre liquide, du sulfate d'ammonium. La recette exacte du béton de sciure de bois n'a pas été établie, par conséquent, les proportions d'ingrédients sont différentes pour chaque fabricant, ce qui garantit directement des différences dans les caractéristiques des produits.**[74]**

Aspects positifs et négatifs des produits :

21.4.1 Les avantages du béton de sciure :

- Le béton de sciure peut très bien être fabriqué indépendamment;
- Le faible poids vous permet d'économiser du temps et de l'argent sur la construction d'une fondation à grande échelle;
- Comme le silicate de gaz ou les blocs de mousse, le béton de sciure est extrêmement facile à traiter. Si nécessaire, vous pouvez facilement en couper l'excédent, afin de l'adapter parfaitement à la maçonnerie;
- Le matériau a une perméabilité à la vapeur élevée, ce qui permet aux murs de "respirer";
- Une faible conductivité thermique et une faible résistance à l'humidité sont obtenues en modifiant le pourcentage de composants organiques et inorganiques;
- Propreté écologique. Tous les composants du béton de sciure sont d'origine naturelle. Sa sécurité est bien supérieure à celle des parpaings;
- Résistance au feu;
- La capacité de travailler de manière autonome sans avoir à impliquer des constructeurs professionnels. Naturellement, pour cela, vous devez respecter les règles;
- Lors de l'isolation d'un bâtiment ou de sa reconstruction avec du béton de sciure de bois, il n'est pas nécessaire de renforcer les fondations;
- Le matériau a une longue durée de vie. Et dans les maisons construites selon toutes les règles, non seulement la chaleur, mais aussi une très bonne isolation phonique

21.4.2 Désavantage:

- Augmentation de l'hygroscopicité;
 - Sensibilité au rétrécissement;
 - La présence d'industries artisanales augmente le risque d'acheter des produits de mauvaise qualité;
 - À long terme pour atteindre la force de la marque, qui peut atteindre 90 jours;
- La géométrie pas très bonne des produits ne permet pas d'éviter les finitions même si le bâtiment est une dépendance [74]

21.5 Faire du béton de sciure de bois de vos propres mains :

Tout d'abord, nous devons décider quel type de bois sera utilisé. Le fait est que lors de la réaction d'un milieu alcalin, qui est du ciment, avec de la sciure de bois, des sucres se forment, ce qui empêche un durcissement rapide. Dans ce cas, le pin et l'épinette saisissent le plus rapidement et le mélèze le plus long.

Pour réduire le temps de prise, il est nécessaire de réduire la quantité de substances hydrosolubles dans la sciure de bois en les gardant au soleil pendant plusieurs mois, ou dans l'eau. Le processus peut être accéléré en traitant la sciure de bois avec une solution de verre soluble ou de chlorure de calcium. Ce dernier est principalement utilisé pour la sciure de bois de conifères, mais le premier est beaucoup plus polyvalent et peut être utilisé avec tous les types de bois.

Cette méthode s'appelle la minéralisation et permet au béton de sciure de sécher en une journée, ce qui permettra le stockage des blocs. Eh bien, après une semaine, ils peuvent être utilisés dans les travaux de construction.

Les proportions dépendent de la résistance du béton de sciure. Plus le dernier matériau est élevé, moins on ajoute d'eau. Vous devez comprendre que la sciure elle-même absorbe beaucoup d'eau. Par conséquent, lors de l'ajout de cette dernière aux marques M5 et M10, environ 350 litres par mètre cube sont nécessaires. Dans le cas des versions robustes M15 et M25, la consommation est réduite à 250 litres pour le même volume. Quant aux autres composants, leur consommation est généralement la

suivante (sciure de bois, sable, ciment, chaux ou argile):

- M5 - 4: 1: 1: 4
- M10 - 4: 4: 2: 3
- M15 - 4: 7: 3: 2
- M20 - 4: 10: 4: 1

Le moyen le plus simple de préparer une solution est de mélanger tous les ingrédients, après quoi de l'eau est progressivement ajoutée à l'aide d'un arrosoir avec un mélange parallèle à l'aide de la même pelle. Selon l'une des technologies alternatives, le mélange de béton est d'abord mélangé avec de la sciure de bois, puis les composants restants et, si nécessaire, de l'eau sont ajoutés. Si vous ne voulez pas tout faire à la main, vous pouvez acheter un mélangeur, mais son coût dépasse 40000 roubles.

Le mélange fini est généralement versé dans des blocs de coffrage pré-préparés. Il est préférable de le faire tremper à l'intérieur avec de l'eau, afin qu'il soit plus facile à enlever plus tard. Lui-même se mange en quatre jours. Eh bien, le séchage des blocs doit être effectué dans un courant d'air, tout en maintenant une petite distance entre les éléments de construction. Les dimensions des blocs, compte tenu du fait que leur fabrication est souvent artisanale et pour ses propres besoins, peuvent être très différentes. Cependant, l'épaisseur n'est généralement pas inférieure à 140 millimètres.

Vous pouvez vérifier la résistance des blocs gelés en les faisant tomber d'une hauteur pouvant atteindre un mètre. La structure du matériau est telle qu'aucune trace ne doit y rester

Tableau 7. Comparaison des propriétés du béton de sciure avec d'autres matériaux[77]

biens	Béton d'argile expansé	Beton de sciure	Bloc de gaz	Beton de polystyrène
Densité moyenne D	400-200	250-800	300-1200	150-600
Niveau de	Jusqu'à 300	50	150	150
Conductivité thermique, W*ms	0,14-0.5	0.007-0.19	0.08-0.4	0.05-0.17
Classe de résistance, V	M1.5-M20	0.5-9.5	1,5-15	0.5-3.5
Absorption de l'eau	18%	15-20%	25%	5%
Rétrecissement	Pas affecté	1mm /m ²	0.3mm/m ²	0.3mm/m ²

22 Le Disse :

22.1 Résumé :

Le Disse (*Ampelodesmos mauritanicus*, famille des Poacées) est une grande graminée répandue dans l'Afrique-du-Nord méditerranéenne et les régions sèches de la Grèce à l'Espagne. En France, on la trouve dans les départements des Alpes-Maritimes, du Var, de la Corse-du-Sud et de l'Hérault. Cette plante était utilisée auparavant dans la réalisation des habitations anciennes de ces régions en raison de ses qualités mécaniques et hydriques. L'utilisation d'une telle plante fibreuse dans une pâte cimentaire offre des résistances aux tractions très intéressantes, qui font de ce matériau léger un excellent remplissage pour les structures soumises aux efforts sismiques. L'objectif de nos travaux était l'élaboration des composites à base de diss dans des matrices cimentaires. Le matériau végétal de base, très fibreux, présente une absorption de l'ordre de 90%. L'utilisation des fibres de diss naturel broyé comme agrégat dans des matrices cimentaires présente un retard de prise assez considérable et des résistances très faibles, alors que les fibres présentent des résistances à la tension considérable. Pour

améliorer la contribution des fibres dans les composites à base cimentaire, nous avons donc procédé au traitement par ébullition des fibres de diss pour extraire les substances causes de la mauvaise liaison entre les fibres et la pâte de ciment. Nous avons constaté que le traitement à l'eau bouillie a été très efficace, et a bien amélioré les propriétés mécaniques du composite. L'augmentation des longueurs et des pourcentages des fibres améliorent la résistance à la flexion et la dureté du composite, mais diminue les résistances à la compression. [79] ont montré lors de leurs travaux sur composites cimentaires à base de copeaux de bois que le traitement thermique du bois pouvait augmenter les résistances mécaniques, la conductivité thermique, ainsi les variations dimensionnelles extrêmes des composites. [80] a utilisé des poussières issues du teillage des fibres de lin comme agrégat dans un composite à matrice cimentaire. Ses travaux ont montré que le traitement à l'eau bouillie des poussières du lin améliore considérablement les résistances mécaniques des composites.

Toutefois la présence d'un végétal au sein d'une matrice cimentaire peut faire appréhender une sensibilité accrue à l'eau : outre des désordres mécaniques, des baisses de performances mécaniques et surtout thermiques sont également à craindre [81]. Le milieu fortement alcalin développé par l'hydratation du ciment provoque en effet des réactions d'hydrolyse et solubilise certains composés comme les

sucres, les hémicelluloses et les pectines[82] . et al [83] et Bilba K et al [84] ont étudié l'influence des sucres sur la prise des composites cimentaires et ont montré que le sucre retarde l'hydratation du ciment. Des fibres de noix de coco ont fait également l'objet d'une étude menée par Asasutjarit C et al [85] pour l'élaboration d'un composite cimentaire à usage de panneaux isolants résistants. Ils ont étudié principalement les paramètres relatifs à la dimension optimale des fibres, leur prétraitement et les pourcentages des éléments constituant le composite. Ils ont trouvé que les dimensions optimales des fibres varient entre 1 à 6 cm, que le traitement à l'eau bouillie et le lavage des fibres améliore les caractéristiques mécaniques, et que la formulation optimale en poids de (ciment : fibre : eau) est 2 :1

La durabilité des bétons légers à base de résidus de bois ont fait été étudiés par Coatanlem P [86], ils ont trouvés que les résidus saturés dans une dilution de silicates de sodium améliore les caractéristiques mécaniques, à cause de la bonne adhésion des résidus de bois et la pâte de ciment.

Les composites à base de fibres naturelles ont vu un développement important pour leurs caractéristiques mécaniques intéressantes, leur pouvoir isolant, et surtout pour le prix de revient intéressant. Des études systématiques sont à prévoir pour chaque type de matériau et son utilisation dans le domaine du bâtiment.

L'étude de la littérature concernant les fibres de Disse semble prouver un manque de valorisation technologique, notamment dans le domaine des composites cimentaires. Or, cette espèce végétale existe à l'état sauvage en quantité importante sur le pourtour méditerranéen et sa nature fibreuse est susceptible d'offrir aux matériaux cimentaires les qualités apportées par les fibres classiques.

Afrique l'effet de la présence de substances hydrosolubles dans la partie lignocellulosique qui affecte la réaction d'hydratation du ciment, qui provoque un retard de la prise et du durcissement du composite a été réduit par l'ébullition des fibres de disse.

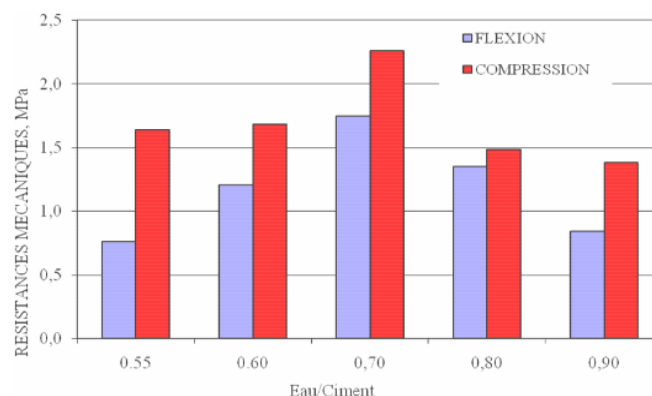


Figure 19 Résistances à la traction et à la compression en fonction du rapport Eau/Ciment pour différentes formulations

Pour les formulations correspondant à $E/C = 0.8$ et 0.9 , nous avons constaté lors du passage des éprouvettes à la table à choc une perte considérable de laitance, ce qui conduit à une erreur sur le rapport fibres/ciment.

Pour les rapports E/C en dessous de 0.8 , les fissures de traction par flexion au milieu de l'éprouvette n'ont pu avoir lieu qu'après le troisième chargement, et la rupture finale n'a pu avoir lieu qu'après le cinquième chargement. Pour la suite de nos essais expérimentaux, nous avons préféré adopter pour le besoin de nos objectifs la formulation $4 : 1 : 0.7$, qui donne des résistances intéressantes, et des comportements plus ductiles que pour les autres formules [78]

23 L'Alfa :

Les fibres végétales, du fait de leur caractère naturel et renouvelable, pourraient constituer une solution d'avenir pour l'industrie de la construction à base de ciment. L'originalité de l'étude est la valorisation d'une fibre naturelle dans une matrice cimentaire. Si de nombreuses études ont été effectuées sur des fibres végétales en France (lin, chanvre, jute, etc.), ce n'est pas le cas de la plante d'alfa que l'on retrouve essentiellement au Maghreb. L'objectif est de mettre au point une formulation pour la fabrication de panneaux de façade.

La fibre d'Alfa est une ressource locale, à valoriser en tant que matière première, pour la production de nouveaux matériaux innovants plus respectueux de l'environnement dans le domaine de la construction. Dans ce cadre, ce stage se portera sur l'étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa avant incorporation dans la matrice cimentaire. Des traitements de surface des fibres d'Alfa seront établis tels que le traitement alcalin, hydrothermal, enrobage minéral, ultrason et enzymatique. Le travail expérimental consistera dans un premier temps à mettre au point les procédures de traitements ainsi que les caractérisations à réaliser. Par la suite, des essais de caractérisation seront établis afin d'étudier l'effet de chaque traitement au niveau des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa.

23.1 Caractérisation thermo-physique des granulats végétaux d'Alfa :

En utilisant de nouveaux granulats végétaux issus d'une plante appelée « Alfa » (*Stippa Tenacissima*). La première phase de ce projet consiste à caractériser ces nouveaux granulats végétaux en termes de propriétés morphologiques, physiques et thermiques. Les résultats obtenus sont très encourageants. En effet, l'Alfa possède une faible porosité, où le diamètre des pores est compris entre 3 et $10\mu\text{m}$. Une faible masse volumique apparente (99kg/m^3) et une porosité totale de l'ordre de 92% . Un coefficient d'absorption faible (56%) par rapport à d'autres particules végétales telles que le chanvre (300%), ce qui promet d'améliorer le temps de prise et les propriétés mécaniques du béton confectionné. Enfin des faibles valeurs de la conductivité thermique (0.058W/Km pour une masse volumique de 120kg/m^3 d'Alfa). [87]



Figure 20 granulats d'alfa après broyage et Béton d'Alfa

23.2 Propriétés physiques :

A cause de leur porosité élevée, la masse volumique apparente des particules végétales sont

généralement faibles par rapport aux agrégats traditionnels.

Cependant, le type et la morphologie de cette matière conduit à des valeurs différentes de leurs masses volumiques apparentes. Dans cette étude, la masse volumique apparente des particules d'Alfa vaut 99.4 kg/m³. Désormais, les particules d'Alfa sont classées dans la gamme des matériaux légers. [87]

24 Qu'est-ce que le Béton Polymère ?:

Egalement connu sous le nom de résine polyester ou béton polymère, le Béton Polymère est un matériau composite formé d'un liant polymère et de charges minérales. ACO utilise du quartz (98% de silice - granulométrie < 8 mm), un matériau de charge d'une qualité supérieure, et la résine polyester comme liant. Cette combinaison lui procure de nombreuses qualités.

24.1 Résistance mécanique :

La qualité principale du Béton Polymère est sa résistance mécanique. Après polymérisation, il atteint une résistance à la compression et à la flexion très importante par rapport à un béton hydraulique standard. Ceci permet de réaliser des éléments plus fins, tout aussi résistants mais surtout beaucoup plus légers. Ainsi, ACO conçoit et fabrique des produits avec une résistance mécanique très importante, par exemple des caniveaux de classe F900.

24.2 Etanchéité – Absorption d'eau – Résistance au gel-dégel :

Parfaitement étanche et faiblement poreux, l'absorption de l'eau du Béton Polymère ACO est inférieure à 0,5%. De plus, les éléments préfabriqués sont en général conçus avec des systèmes d'emboîtement mâle-femelle qui assurent l'étanchéité des connexions tout en facilitant la pose. Cette étanchéité peut être renforcée par l'application d'un joint spécial. Sa non-porosité permet également une bonne résistance aux variations de température (gel- dégel), propriété utile pour un usage à l'extérieur des bâtiments.

24.3 Résistance à l'abrasion :

Le Béton Polymère présente une bonne résistance face à l'abrasion. Cette propriété préserve les capacités hydrauliques des ouvrages tout au long de leur durée de vie, ainsi que toutes leurs autres qualités (étanchéité, solidité, résistance chimique...).

Résistance chimique : Le Béton Polymère ACO offre une excellente résistance à la plupart des agents chimiques courants. ACO a confirmé cette propriété en réalisant des tests selon les recommandations de l'institut allemand pour le bâtiment (DIBt) –

25 Fibres utilisées comme renfort dans les bétons :

Les fibres ne sont pas considérées parmi les constituants de base du béton et sont utilisés dans sa composition pour un meilleur contrôle de fissuration, par un renforcement de la contrainte de traction du béton, considérée comme faible (Vieira, 2015). Plusieurs catégories de fibres sont actuellement présentes sur le marché à savoir : les fibres synthétiques (carbone, polyester, nylon, polypropylène...), de verres (sodocalcique, borosilicaté...), végétales (sisal, jute, noix de coco, palmier et bambou...) et métalliques (fil étiré à froid, inoxydable, galvanisé, ruban en fonte amorphe, tréfilé, tôle découpée...). La nature et l'aspect divers des fibres, fait que ces dernières présentent des propriétés distinctes. Selon les objectifs recherchés, on peut faire la distinction entre les fibres possédant des résistances élevées (fibres de verres, d'acier, de carbone...) et les fibres ayant des résistances faibles (fibres végétales, propylène ...).

26 Les déchets de pneumatiques :

Représentent une source intarissable du fait de la relation directe avec la construction automobile et d'engin divers ; constituant un marché en plein extension ayant un rapport avec la croissance économique et démographique. Le rapport annuel de la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux pneumatiques usagés, étude réalisée pour le compte de l'ADEME [94] indique, qu'en

Europe, le secteur de la production de pneus regroupe 4 200 entreprises et emploie 360 000 salariés. 4,6 millions de tonnes de pneumatiques ont été produits en 2012, soit environ 252 millions de pneus Chapitre I : Généralités sur les fibres et les déchets pneumatiques 14 tourisme, camionnettes et SUV [95] et 9,6 millions de pneus poids lourds pour un chiffre d'affaires de 28,2 milliards d'euro. La production européenne représente 21% de la production mondiale ([96] Les 79% soit 17,3 millions de tonnes de pneumatiques sont produits par le reste du monde, ce qui donne une production mondiale annuelle de l'ordre de 21,9 millions de tonnes. Sachant que le poids moyen d'un pneu pour un véhicule léger est de 7 kg ce qui donne un nombre de 3,13 milliards de pneus.

26.1 Effets des déchets de pneumatiques sur l'environnement :

Le développement et l'accroissement du parc automobile génère chaque année des centaines de millions de pneus usagés de par le monde, causant ainsi de graves préjudices à l'environnement. Avec l'éveil de la communauté internationale nous assistons ces dernières décennies de plus en plus à une évolution de la réglementation, qui encadre et gère les divers problèmes engendrés par les déchets pneumatiques. Néanmoins, une grande quantité de déchets reste sans valorisation, en particulier dans les pays sous développés et émergents provoquant de sérieux problèmes environnementaux. A l'image des incendies provoqués dans des stocks de pneus Si ces derniers sont brûlés le toxique produit endommagera l'environnement et provoque une pollution atmosphérique par l'émission de dioxyde de carbone et de gaz à effet de serre. Comme les pneus sont considérés comme un matériau non biodégradable ils peuvent affecter aussi la fertilité du sol et la végétation [92] D'un autre côté les décharges de pneus sont inesthétiques et constituent des risques importants pour la santé favorisant la propagation des moustiques [93] et des rongeurs se traduisant par une prolifération de maladies.

26.2 Béton de déchets de caoutchouc :

26.2.1 Définition :

Le béton de déchets de caoutchouc est obtenu en incorporant dans la masse de béton des éléments qui sont les déchets plastiques composante de forme et de nature diverses.

26.2.2 Propriété du béton de déchets de caoutchouc :

A. propriétés à l'état frais :Güneyisi et al. ont étudié des propriétés mécaniques des bétons de caoutchouc dont de 0% à 20% de la masse du ciment est remplacée par la masse de fumée de silice (SF). La Figure 5 (a) illustre l'évolution de l'affaissement en fonction du dosage en G.C. et du dosage X% de la fumée de silice SF. Ces auteurs observent que

L'affaissement du béton est diminué avec l'augmentation de caoutchouc. Pour le dosage de 50% de G.C., l'affaissement est presque nul. L'étude réalisée par Khaloo et al. [97] a indiqué une conclusion un peu différente par rapport à d'autres auteurs. En effet, d'après cette étude le béton incorporant des G.C. a une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition Néanmoins, leurs résultats montrent que la procédure ordinaire pour évaluer l'affaissement n'est pas appropriée à ce composite cimentaire. Ils ont donc suggéré qu'il fallait chercher d'autres méthodes pour mesurer correctement l'affaissement du béton incorporant des granulats en caoutchouc.

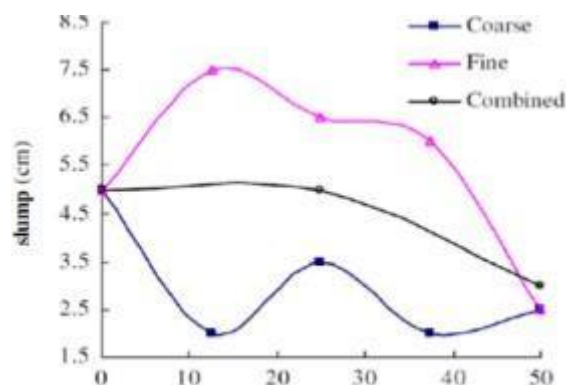


Figure 21 Influence de G.C. sur l'affaissement.

26.3 Propriétés à l'état durci :

26.3.1 Résistance en compression :

La caractéristique essentielle des matériaux cimentaires durcis est la résistance en compression à un âge donné. Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance des propriétés mécaniques est indispensable pour le dimensionnement des ouvrages. Ainsi, l'étude de cette résistance en compression peut permettre d'avoir une idée globale sur la qualité du béton. On verra que la résistance en compression du béton dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, la condition de réalisation et de cure, etc. [100] Dans les matériaux cimentaires, dont une partie des granulats naturels est remplacée par des G.C. de nature, de forme, de densité et en général de propriétés physiques tellement différentes de celles des granulats naturels, de toute évidence il est attendu que ces propriétés du caoutchouc vont influencer la résistance en compression des composites obtenus. Les chercheurs qui ont travaillé récemment sur les matériaux cimentaires incorporant des G.C. ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des G.C. entraînait inévitablement une chute de la résistance en compression. Des observations au vidéo microscope montrent un défaut d'adhérence manifeste et une auréole de transition plus étendue entre la matrice cimentaire et les grains de caoutchouc. La photographie de la Figure.8 montre cet état qui contribue sans doute aussi à l'augmentation de la porosité globale du composite et à la chute de la résistance en compression. [101]

26.3.2 Propriétés de transfert :

Les propriétés de transfert comme la perméabilité aux fluides ou l'absorption d'eau sont des indicateurs de durabilité des matériaux à base cimentaire. Une étude réalisée par Benazzouk et [102] permis d'examiner l'influence de deux types de G.C., le caoutchouc expansif et le caoutchouc compact, sur des indicateurs de durabilité du composite ciment-caoutchouc. Le volume incorporé de chaque type de granulats en caoutchouc est compris entre 0 et 40%. Ces composites sont nommés ERAC et CRAC, respectivement. [100]

26.3.3 Perméabilité :

D'après ces auteurs, dont les résultats sont présentés dans le Tableau I.3, le coefficient de perméabilité à l'air diminue avec l'augmentation du taux de G.C. alors que la porosité augmente. Ils justifient ces constatations a priori contradictoires par le fait que le réseau poreux du composite incorporant des granulats en caoutchouc est plus discontinu. Cette conclusion de [102] qui, en étudiant des bétons mousses incorporant de cendres volantes, ont aussi constaté que malgré une porosité élevée, le réseau des pores plus discontinu entraîne une perméabilité à l'air nettement plus faible] [103] Absorption d'eau S'agissant de l'absorption d'eau, on trouve une convergence entre les résultats de Benazzouk et al. [102] [et ceux de Garros mais avec des explications partiellement communes. Leurs résultats sont illustrés sur les Figure

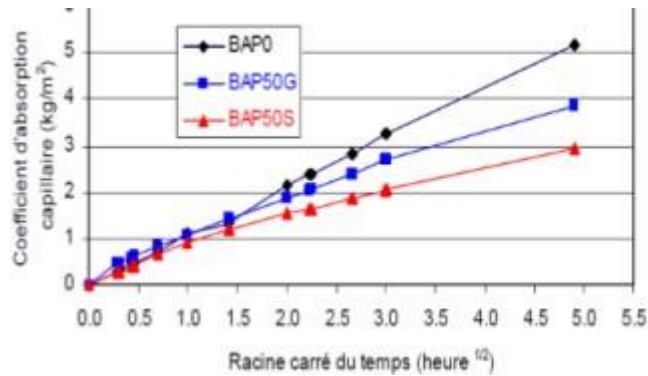


Figure 22 Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C [104]

27 Granulats végétaux :

Les déchets sont de plus en plus variés et leurs quantités ne cessent d'augmenter, ce qui influe négativement sur l'environnement. La valorisation et le traitement de ces déchets favoriseront la protection et la préservation de l'environnement, ce qui nous permettra de s'inscrire dans une politique de développement durable. Dans le secteur de la construction, Les matières végétales, renouvelables et respectueuses de l'environnement, sont appréciées pour leur légèreté, qui leur confère des propriétés d'isolation thermique importantes La production du béton léger à base de déchets de la carrière des granulats concassés et les déchets issus de la fabrication des panneaux de liège expansé joue un rôle très important dans la protection de l'environnement, et permet aussi de réaliser des gains d'énergie considérables à cause de faible conductivité thermique de liège expansée .

27.1 BETON A BASE DES DECHETS DE BOIS :

Les bétons de bois sont des bétons végétaux, ce sont des composites généralement constitués d'une matrice (ciment ou chaux), de granulats naturels (sable et gravillons) ainsi que d'une charge végétale provenant d'une essence de bois et couramment appelée inclusion végétale. Il existe une multitude d'inclusions végétales pouvant servir à la fabrication de composites cimentaires à base végétale. Ces inclusions végétales sont retrouvées sous différentes dimensions (tailles) et formes. Dans la littérature les copeaux de bois provenant de noix de coco, de sisal, d'eucalyptus, balles de riz, mauve, chanvre, sous-produit bois, bagasse et de lin sont souvent employées sous forme de fibres courtes ou longues pour la confection de composites cimentaires. Les inclusions végétales sont également retrouvées sous forme de cendre, des copeaux et de sciure.

27.2 Liège :

Le liège a souvent été connu par sa destination vers la production de bouchons, ainsi que pour quelques applications d'isolement. Dans les deux dernières décennies (1990-2010), le liège a connu une crise suite à l'apparition des alternatives en matières synthétiques, qui sont économiquement plus avantageuses. Récemment, le liège a commencé à retrouver sa position mais comme un matériau innovant convenable au développement durable. Il est employé dans différents domaines tels que l'industrie, le sport, l'environnement, l'aérospatial et le bâtiment.

La composition chimique du liège est complexe et reste toujours considérée comme un domaine de recherche. Cette composition offre au liège la particularité d'être respectueux de l'environnement (naturel, renouvelable et recyclable). Le liège offre une gamme de propriétés physiques et mécaniques avantageuses pour le domaine du bâtiment, à savoir :

Légèreté : Sa faible densité est due à la forte teneur en gaz de ses petites cellules.

27.2.1 Caractéristiques de Liège :

Isolation thermique : grâce à sa légèreté et sa composition unique, le liège est l'un des meilleurs isolants avec une conductivité thermique de l'ordre de 0,045 W/(m.K). Cette dernière est proche à la conductivité thermique de l'air sec qui égale à 0,025 W/(m.K).

Isolation acoustique : le liège est un mauvais conducteur de son, donc un bon isolant acoustique. Chapitre. I Etat de l'art 19

Elasticité - Capacité d'amortissement – souplesse : le liège ne subit aucune déformation permanente sous l'action de compression en raison de sa mémoire élastique. C'est donc un excellent isolant vibratoire.

Imperméabilité aux liquides et aux gaz : l'imperméabilité du liège est due à la contre pression du gaz et aux substances grasses (subérine) existantes dans les cellules. Résistance au feu : ignifuge, il nécessite énormément d'oxygène pour prendre feu. Autant, il se carbonise en surface ce qui contraint la combustion (retardateur naturel de la progression du feu). Sans réaction aux produit chimique : sans réaction avec les produits chimiques, le liège ne produit pas d'émissions toxiques.

Durabilité : grâce à toutes ces qualités, le liège conserve ses caractéristiques dans le temps. (Imputrescible)

Recyclable : grâce à sa durabilité, le liège peut être réutilisé dans différentes applications. [106]

27.3 Propriétés de liège

27.3.1 Propriétés mécaniques :

Le liège présente des propriétés mécaniques plutôt particulières. La nomenclature utilisée pour les directions et les sections en liège est celle qui est généralement utilisée dans la description du bois, selon la nomenclature utilisée dans la littérature et dans la section 1.7.1 (Morphologie du liège), ils seront désignés ci-après par radiale (R) ou non radiale (NR) ; cette dernière correspondant à la direction tangentielle ou axiale. En général, le liège présente un comportement différent en traction et en compression. [91] ont signalé que le module d'Young en compression est sensiblement plus petit par rapport à la traction. Le plus grand module en traction s'explique par la rigidité des plaques ondulées (parois cellulaires), qui augmentent à mesure que l'amplitude des ondulations diminue. En effet, la compression augmente l'amplitude, alors que la traction la diminue **90**

27.3.2 Propriétés physiques :

L'étude des autres propriétés que mécaniques n'a pas été considérable, bien qu'elles soient clairement importantes pour les nombreuses applications actuelles du liège.

La masse volumique et la transition thermique : le liège est caractérisé par une faible masse volumique, cette faiblesse est due principalement à la forte teneur en air des petites cellules. La teneur en air et la taille de la cellule expliquent la mauvaise propriété de transfert de chaleur du liège. La chaleur peut être transmise par conduction (qui dépend de la quantité de solide dans la structure), convection (qui est significative uniquement pour les grands volumes de gaz) et le rayonnement (qui devient moins efficace avec la diminution de la taille de la cellule). Dans le liège, seule la conduction a une importance pour le transfert de chaleur (**90**). La conductivité thermique des parois des cellules.

27.3.3 Transmission du son :

De même, la transmission du son est très faible en raison de la faible masse volumique et de la grande porosité du liège ; la plupart des ondes sonores incidentes sont absorbées et transformées en énergie thermique, ce qui réduit la réverbération, particulièrement significative pour les panneaux de liège expansées cellules de liège sera légèrement supérieure à celui du gaz contenu dans les

27.4 Béton de liège :

Parmi les agro-bétons les plus utilisés récemment dans le domaine de la construction, le béton de liège, connu par sa légèreté

Nous présentons ci-dessous une synthèse de quelques travaux de recherche qui ont abordé le sujet du béton de liège.

1. [107] a évalué plusieurs paramètres du béton de liège (ciment, liège et de l'eau). Il a abouti qu'un serrage par vibration est beaucoup plus adaptés a ce béton et a aussi trouvé que l'augmentation du pourcentage du liège conduit à une diminution de la résistance mécanique à la compression et de la conductivité thermique.

2. ([108] dans ce document, les auteurs ont varié : (1) la provenance du liège, naturel et expansé, (2) la tailles des granulats de liège et (3) le pourcentage de substitution. Le remplacement des granulats de liège a été effectué soit par rapport au sable ou par rapport au gravier soit le sable et gravier en même temps. Les résultats ont montré que plus le taux de remplacement augmente plus la résistance diminue d'une façon remarquable pour les deux types de granulats. Il est à noter que le liège expansé a conduit à des pertes de résistance plus importante.

3. ([109] ont étudié différentes caractéristiques des chapes à base de granulats de liège (ciment, sable, liège et de l'eau). Ils ont trouvé que l'addition du liège affecte les propriétés des chapes par une diminution de la masse volumique, de la résistance à la compression et de la conductivité thermique.

4. ([110] ce travail porte sur les mortiers de liège. Les auteurs ont expérimenté deux doses de substitution en liège, 50% et 75% par rapport au sable. La conclusion révélée de cette étude est que la composition de 75% a permis la réduction de la consommation d'énergie de 29% en comparant avec la consommation d'énergie des briques creuses.

5. ([111] ont étudié un béton à base des chutes de granulats de liège provenant de la fabrication des panneaux d'isolation. Ils ont trouvé qu'il existe un effet significatif de l'ajout des granulats de liège sur la diminution de la densité du béton et sur l'amélioration de l'isolation thermique ainsi que sur la diminution des performances mécanique.

6. ([105] ont trouvé que l'augmentation de la quantité du liège dans un béton (liège, sable, ciment et eau) a tendance à diminuer la densité et à réduire la conductivité thermique et les propriétés mécaniques. Ils ont conclu qu'un béton de liège peut être utilisé comme un isolant thermique ou comme un matériau structural selon sa teneur en liège.



Figure 23 Classes de granulats de liège.

28 Les copeaux de bois Les copeaux de bois :

Utilisés proviennent des déchets de la menuiserie, plus particulièrement, des déchets résultant des travaux de fonçage et des rabotages. Il présente un aspect de forme irrégulière, avec une limite

granulométrique supérieure voisine de 8 mm et une limite granulométrique inférieure voisine de 0.1mm. Toutes ces caractéristiques n'ont aucune importance relative en raison du manque de rigidité et de la géométrie des copeaux. les propriétés physique des copeaux de bois :

a) Densité : la densité des copeaux de bois est généralement inférieure 0.6 kg/l en raison des vides dans sa structure. Cette densité varie fortement selon un certain nombre de paramètres : l'essence, son degré d'humidité, la géométrie. On exprime cette densité normalement pour un taux d'humidité égal à 15 % (la moyenne est entre l'état anhydre et l'état de saturation).

b) Propriétés isolantes : les copeaux de bois au bien le bois d'une façon générale est un mauvais conducteur de la chaleur. Cependant sa conductibilité thermique est très variable en fonction de son degré d'humidité, de sa densité et de l'essence considérée.

Les bétons à base des copeaux de bois se caractérisent par des faibles propriétés mécaniques. Ces caractéristiques limitent principalement leur utilisation à des structures non porteuses, ayant pour objectif d'exploiter leur légèreté. Il est toutefois nécessaire de s'assurer du caractère autoporteur des structures fabriquées par ces bétons, leur permettant de supporter leur poids propre.

Conclusion de chapitre :

L'évolution de la technologie et des exigences du monde actuel impose aux architectes et ingénieurs la conception d'œuvres plus imposantes et plus durables en plus d'être économiques. De plus, la prise de conscience concernant la nécessité de concevoir en respectant les politiques de développement durable et de protection de l'environnement pousse l'homme à chercher des solutions au recours abusif aux ressources fossiles, cause principale de la détérioration de certains milieux écologiques et du réchauffement climatique. Ce dernier phénomène trouve également l'une de ses causes dans la surconsommation en énergie dans l'habitat –en hiver par le chauffage des locaux et en été par la climatisation. De plus, du fait de la vocation « artistique » et « innovatrice » propre à l'architecte, nous nous retrouvons à imaginer des matériaux répondant aux exigences techniques requises pour les matériaux destinés au secteur de l'habitat, qui atténuent le mieux les soucis de nuire à l'environnement et qui présentent un intérêt particule.

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux utilisés et procédés expérimentaux

Introduction

Dans cette partie expérimentale, nous avons élaboré les différentes caractérisations de nos matériaux utilisés au sein de notre étude, au niveau de laboratoire pédagogique de notre université.

Des caractérisations physiques, rhéologiques et mécaniques ont été réalisées, afin d'étudier l'effet de la substitution du sable ordinaire par un sable de l'argile expansée et l'incorporation des granulats de nature végétale et polymère dans les mortiers de ciment, ainsi que la détermination de leurs influences sur le comportement rhéologique et mécanique de nos mortiers.

29 Les matériaux et matériels utilisés

29.1 Matériaux utilisés

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de BOUIRA.

Les matériaux utilisés sont :

- 1) Un ciment **CEM II/A-M (P-L) 42,5 N** : de la cimenterie de Sour El Ghozlane.
- 2) Un sable ordinaire(0/5) concassé de notre région.
- 3) Un sable de l'argile expansée(0/5)du type modulaire
- 3) L'eau potable du laboratoire pédagogique de l'université.

29.2 Ciment

Le ciment utilisé dans notre recherche, est un ciment Portland composé **CEM II/A-M (P-L) 42,5 N** Dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment selon la norme **NA442/2013 [1]**

Les constituants principaux et les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé sont présentés dans les tableaux suivant

Tableau : Les constituants principaux de ciment

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	CaOl	PAF à1000 C°
%	20,06	03,99	03,04	61,57	01,62	00,54	00,26	00,06	<0,001	1,56	7,16

Tableau : Représente les Caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé

Surface spécifique g/cm ²	Consistance Normale (%)	Début de prise (Heure : min)	Fin de prise (Heure : min)
4000	26,11	151	322

29.3 Le sable

Le sable utilise est un granulat fine de classe granulaire s'étendant entre 0et 3 mm c'est un produit concasse de la carrière HAMPLAOUI ABDELKADER (SARL AGRE.ROC.CAR) Sour el GHOZLANE Wilaya de BOUIRA.

29.4 Les granulats des déchets pneumatiques

Les Granulats des déchets pneumatiques proviennent d'une usine de broyage de pneus usage (SARL RECYTECH) située dans la région HACHIMIA Wilaya de BOUIRA, ils sont utilisés

en substitution volumique de l'éprouvette

29.5 L'Argile expansé

29.5.1 La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente a été calculée en utilisant une technique simple.

Premièrement, un récipient en plastique de 760 L de volume a été rempli avec les particules de sable. Ensuite, la masse de cette quantité de sable a été mesurée à l'aide d'une balance électronique (Mettler-Toledo) de précision 626g. Ainsi, connaissant le volume et la masse on détermine la masse volumique apparente des particules

De sable.

La valeur est obtenue ;

$$\text{Masse volumique } \rho = M/V \\ = 626/760 = 1,25 \text{ g/cm}^3$$

M : masse d'échantillon (sable)

V : volume d'échantillon+l'air

29.5.2 Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

La valeur est obtenue ;

$$\text{Masse volumique absolue} = M / (V - V_1) \\ = 626 / (880 - 500) \\ = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

V₁ : volume de l'eau (880ml).

29.5.3 La densité :

La densité, notée 'd', s'exprime par :

$$D = \text{la masse volumique d'échantillon/la masse volumique l'eau} \\ D = 3.1/1000 = 0.0031 \text{ g/ml. (avec , la masse volumique de l'eau est prise égale à } 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \text{)}$$

29.5.4 La teneur en l'eau :

La teneur en l'eau massique est déterminée en laboratoire par pesée et séchage en étuve, à 105°C, pendant 24 heures (NF P94-050). Dans ce cas nous ne pouvons pas car la substance est dans un état sans eau.)



Figure 24 Sable (0/5)



Figure 25 : eau de robinet



Figure 26 : ciment



Figure 25 moules prismatiques de dimensions (4x4x16 cm³)



Figure 28 Main écope



Figure 29 : balance

30 Caractérisations physiques des matériaux utilisés

La masse volumique apparente du ciment Premièrement, un récipient en plastique de 760 L de volume a été rempli avec les particules de ciment. Ensuite, la masse de cette quantité de sable a été mesurée à l'aide d'une balance électronique (Mettler-Toledo) de précision 940g. Ainsi, connaissant le volume et la masse on détermine la masse volumique apparente des particules de ciment. La valeur est obtenue ;

$$\begin{aligned} \text{Masse volumique } a_{pe} &= M/V \\ &= 940/760 = 1,23\text{g/cm}^3. \end{aligned}$$



Figure 26 argile 0.3



Figure Figure 27: Etapes de détermination de la masse volumique apparente

30.1 Masse volumique absolue de ciment

La masse volumique absolue du ciment varie entre **2,8 à 3,2 tonnes** par mètre cube. La masse volumique absolue (*encore appelée masse spécifique*) d'un matériau étant le rapport entre la masse du matériau et le volume de matière pleine sans aucun vide entre et dans les grains (volume absolu de la matière), vu le manque du matériels nécessaires pour en mesurer, selon la littérature nous avons considéré la masse volumique absolue du ciment $3.1\text{g}/\text{cm}^3$.

30.1.1 La densité

30.1.2 La densité notée 'd' s'exprime par

30.1.3 $D = \frac{\text{la masse volumique d'échantillon}}{\text{la masse volumique l'eau}}$

$$D = \frac{3.1}{1000} = 0.0031 \text{ g/ml}$$

30.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé

Les caractéristiques physiques de sable donne ou tableau suivante

Tableau : les Caractéristiques physiques de sable

Classe granulaire	0/5 mm
Masse volumique apparent	1.45 g/cm ³
Masse volumique absolue	2.55 g/cm ³

30.3 Caractéristiques physiques des déchets pneumatiques

30.3.1 La masse volumique

La masse volumique : est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume on distingue deux types de masse volumique : apparente et absolue

30.3.2 La masse volumique apparente : NF P 18-554 [2]

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides dans les grains ainsi que les vides entre les grains.

30.3.3 Principe de mesure

La mesure de la masse volumique apparente d'un granulat consiste à verser le granulat «sec» dans un récipient de volume connu en le disposant, sans tasser, par couches horizontales successives, d'arasé la dernière couche par un mouvement de va et vient à l'aide d'une règle (figure III.3). La masse volumique apparente, notée "Mapp", est donnée par l'expression :

$$\rho_{app} = \frac{\text{la masse des granulats secs}}{\text{volume du récipient}} = \frac{M}{V_{app}}$$

Avec :

M = masse des granulats contenus dans le récipient,

V = volume du récipient.

Volume de récipient : (forme cylindrique)

D=16.2 cm

H=25.2cm

$$v = S \times H = \frac{D^2 \times H \times \pi}{4}$$
$$v = \frac{16.2^2 \times 3.14 \times 25.2}{4} = 5191.588 \text{ cm}^3$$

Tableau 8: Masse volumique apparente des granulats des déchets pneumatiques

Classe granulaire (mm)	N° d'essai	M (g)	V _{app} (cm ³)	ρ (g/ cm ³)	ρ moyenne (kg/ m ³)
Gamme (0/2.5)	1	2340	5191.588	0.45	448
	2	2340		0.45	
	3	2320		0.446	
Gamme (2.5/5)	1	2480	5191.588	0.477	477
	2	2470		0.475	
	3	2490		0.479	

D'après les résultats récapitulés dans le tableau ci-dessus, nous avons observé que la masse volumique apparente des granulats pneumatiques, notamment la gamme (0/2.5 mm) est légèrement inférieure à la masse volumique apparente de la gamme (2.5/5 mm), ce qui explique que les dimensions et la forme des granulats pneumatiques manifestent à la variation des vides inter-granulaires.

30.4 La masse volumique absolue des déchets pneumatiques : NF P 18-555

La masse volumique absolue : est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains

Principe de la mesure : Pour déterminer la masse volumique absolue de granulats des déchets pneumatique, nous avons utilisé la méthode dite de l'éprouvette graduée, dont nous exposons ci-après le principe.

Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau. Peser un échantillon sec "M" de granulats 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 V2 (figure).

La masse volumique absolue se déduit alors à partir de l'expression suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{\text{la masse des granulats secs}}{\text{le volume absolu}} = \frac{M}{V_{abs}} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$



Figure 28 : détermination de la masse volumique absolue des granulats pneumatiques

Après le versement des granulats pneumatiques dans l'eau, nous avons visualisé une quantité des granulats qui se flotte, en parant la visibilité du ménisque, en effet nous avons opté à prendre la masse volumique absolue des granulats pneumatiques selon la fiche

technique du fournisseur.

Tableau 9 : les caractéristiques physiques des granulats pneumatiques

Classe granulaire en (mm)	La masse volumique absolue (g/cm ³)
Gamme (0/2.5)	1.155
Gamme (2.5/5)	0.94

Après le versement des granulats pneumatiques dans l'eau, nous avons visualisé une quantité des granulats qui se flotte, en parant la visibilité du ménisque, en effet nous avons opté à prendre la masse volumique absolue des granulats pneumatiques selon la fiche technique du fournisseur.

Classe granulaire en (mm) La masse volumique absolue (g/cm³) Gamme (0/2.5) est donc :

1.155.g/ml.

L'eau est utilisée comme corps de référence pour la densité des liquides et des solides. Dans ce cas, la masse volumique de l'eau est prise égale à 1 000 kg•m⁻³ (ou à 1 kg•dm⁻³, ou à 1 kg/L, ou encore 1 g•cm⁻³).

d /La teneur en eau : La teneur en eau massique est déterminée en laboratoire par pesée et séchage en étuve, à 105°C, pendant 24heures (NF P94-050). Dans ce cas nous ne pouvons pas car la substance est dans un état sans eau.

30.4.1 Masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides al 'intérieure des grains.

La valeur est obtenue ;

Masse volumique absolue ($\rho_{\text{abs}}(\text{sable}) \approx =M / (V-V1)$

=1420/(1000-500)

=2.84g/ cm³

V1 : Volume de l'eau



Figure 29 détermination la masse volumique absolue de sable

30.4.2 La densité

La densité, notée ' d', s'exprime par :

$$D = \frac{\text{la masse volumique d'échantillon}}{\text{la masse volumique l'eau}}$$
$$D = \frac{2.84}{1000} = 0.00284 \text{ g/ml.}$$

L'eau est utilisée comme corps de référence pour la densité des liquides et des solides. Dans ce cas, la masse volumique de l'eau est prise égale à $1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ou à $1 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, ou à 1 kg/L , ou encore $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

31 EAU :

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier. Cette eau ne doit pas contenir d'impuretés nocives comme les chlorures, les sulfates, les matières organiques, les nitrates, les sels de (Na) sodium et de potassium (K)...etc.

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet disponible au laboratoire de génie civil de l'université de BOUIRA



Figure 30 représente mesure de l'eau

32 L'analyse granulométrique :

Consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,063 et 125 mm**. On appelle :

- REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.



Figure 31 représente le tamisage des granulats

33 MATÉRIEL UTILISÉ :

- Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.
 - La norme actuelle (EN 933-2) préconise, pour l'analyse granulométrique, tamis suivante en (mm):0/5.
- Argile, ciment, sable, la sciure de bois, et les déchets pneumatiques.

34 Préparation d'un mortier ordinaire :

34.1 Confection du mortier normal de référence :

Pour atteindre l'objectif, nous allons confectionner un mortier de référence sans additions et sans adjuvants, dont la composition est inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1, avec une quantité d'eau ajustée afin d'obtenir une consistance de référence. Les procédures suivies pour la préparation des mortiers, la confection, des éprouvettes, de stockage, et les mesure des résistances en compression vont être réalisées conformément à la norme EN 196-1.

4.2. Constituants du mortier normal :

Pour préparer un mortier en mélangeant du (1/2) ciment, du (2/3) sable et de l'eau, adaptez les dosages en fonction de la surface du éprouvette 4cm*4cm*16cm vous aurez besoin de :

<p>- ciment 450Kg/m³ -sable 1350Kg/m³ - E/C (dosage en ciment /dosage en eau totale sur matériaux secs) =0.5 E=0.5*C=0.5*450=225ml. (Ou/ kg.m-3)</p>
--

Des corrections peuvent être apportées à la quantité d'eau E si les granulats sont humides après un stockage en extérieur ou en raison de la surface spécifique des granulats .La correction est à apporter au dosage d'eau si la dimension maximale des granulats est différente de 10 mm.

Dans cette application; la correction à apporter est de +10% sur le dosage en eau

4.3. Les procéder à l'opération de malaxage selon le protocole suivant :

34.2 Elaboration des mélanges :

La préparation du mortier va être réalisée en utilisant un malaxeur d'une capacité de 5 litres composé d'un récipient et d'un batteur en acier inoxydable, pouvant fonctionner à une vitesse lente de 140 tours par minute et une vitesse rapide de 285 tours par minute. L'eau et le ciment avec ou sans additions sont introduits dans le récipient à l'arrêt, puis le malaxeur est mis en marche à vitesse lente pendant 60 secondes, puis à vitesse rapide pendant 30 secondes ; le sable étant introduit les premières 30 secondes. Pendant l'arrêt du malaxeur pendant 90 secondes, un raclage manuel des parois du récipient est effectué pendant les premières 15 secondes d'arrêt, puis le malaxeur est remis en marche à vitesse rapide pendant 60 secondes.



Figure 32:les procéder à l'opération de malaxage.

Caractérisation rhéologique de mortier ordinaire :

Beaucoup d'essais ont été proposées, mais pratiquement il est possible de caractériser les propriétés rhéologiques d'un BAP au moyen d'essais simples dont les plus fréquemment utilisés sont présentés ci-après :

34.3 Essai d'étalement (Slump Flow) :

La consistance de référence a été évaluée en mesurant l'étalement du mortier à l'état frais sur une table à secousses (figure.3.a). Le mortier frais étant placé dans un cône de diamètre inférieur : **100 mm**, diamètre supérieur : **70 mm** et de hauteur : **60 mm** (figure.), en deux couches compactées à l'aide d'une tige métallique. Après enlèvement du cône, la table subit **30 secousses en 30 secondes** et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange sur deux directions perpendiculaires (figure.3.b); la

classification du mortier en termes d'étalement se fait selon les recommandations du (tableau.3).



Figure 33 appareil de l'essai étalement table a secousse



Figure 34 Mesure de l'étalement pour les mortiers.

34.4 Essai d'étalement modifié (J-Ring) :

L'essai consiste faire écouler le béton au travers de barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage (fig.2.e). Le BAP satisfait pleinement aux performances recherchées lorsqu'il s'écoule de manière uniforme au travers de cet anneau et lorsque la répartition des granulats parait homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau.

Le calcul de l'étalement à la table à secousse se fait par la formule suivante :

$$E\% = 100(D_r - D_i)/D_i, \text{ Avec : } D_r = \text{diamètre final et } D_i = \text{diamètre initial}$$
$$D_r = 10.4 \quad D_i = 14.6$$
$$E\% = 100(14.6 - 10.4) / 14.6 = 28.76$$



Figure 35 Etalement (MGDP)

L'ouvrabilitéEtalement à la table à secousse(%)	Etalement à la table à secousse(%)
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal (plastique)	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	> 100

Tableau 10 taux d'étalement à la table à secousse

35 Confection et conservation des corps d'épreuves :

Pour le mortier ayant acquis la consistance de référence, nous allons préparer 3 éprouvettes (40 mm x 40 mm x 160 mm).

La mise en place des mortiers ordinaires dans les moules est effectuée en deux couches qui subissent sur une table à chocs 60 secousses en 60 secondes par couche.

La conservation des moules est dans une chambre humide pendant 24 heures à une température de 20 °C et plus de 95 % d'humidité relative. Après démoulage, les éprouvettes vont être conservées en immergeant dans l'eau à une température de 20 ± 2 °C, jusqu'à l'échéance de l'essai.



Figure 36 Vibration à la table de secousse et coulage des éprouvettes (4x4x16 cm³) à base de (MGDP).

36 Étude expérimentale de la formulation des mélanges mortiers argile :

Le mortier d'argile sa composition est 100% naturelle, il est constitué d'argile extra-fine séchée, broyée et tamisée 0/5 et ciment. il est prête à l'emploi.

Caractéristique physique :

36.1.1 La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente a été calculée en utilisant une technique simple.

Premièrement, un récipient en plastique de 760 L de volume a été rempli avec les particules de sable. Ensuite, la masse de cette quantité de sable a été mesurée à l'aide d'une balance électronique (Mettler-Toledo) de précision 626g. Ainsi, connaissant le volume et la masse on détermine la masse volumique apparente des particules

De sable.

La valeur est obtenue ;

Masse volumique a p p=M/V

$$=626/760=1,25 \text{ g/cm}^3$$

M : masse d'échantillon (sable)

V : volume d'échantillon+l'air

36.1.2 Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides al'intérieure des grains.

La valeur est obtenue ;

$$\text{Masse volumique absolue} = M / (V - V_1) = 626 / (880 - 500) = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

V_1 : volume de l'eau (880ml).

36.1.3 La densité :

La densité, notée ' d', s'exprime par :

$$D = \frac{\text{la masse volumique d'échantillon}}{\text{la masse volumique l'eau}}$$

$$D = 3.1 / 1000 = 0.0031 \text{ g/ml. (avec , la masse volumique de l'eau est prise égale à } 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \text{)}$$

36.1.4 La teneur en l'eau :

La teneur en l'eau massique est déterminée en laboratoire par pesée et séchage en étuve, à 105°C, pendant 24 heures (NF P94-050). Dans ce cas nous ne pouvons pas car la substance est dans un état sans eau.)

37 Préparation d'un mortier d'argile :

Pour préparer un mortier d'argiles en mélangeant du ciment ,d' argiles de l'eau ,adaptez les dosages en fonction de la surface du éprouvette 4cm*4cm*16cm vous aurez besoin de :

-ciment 450kg en m²

-Argile (la masse de sable diffère de la masse de l'argile, et cela est dû à sa légèreté).

On calculer selon la masse volumique :

$$\begin{aligned} \text{(Sable)} & 2.84 \text{ g/ml} \quad \underline{\quad\quad} \quad 1350 \text{ g} \\ \text{(Argile)} & 1.64 \text{ g/ml} \quad \underline{\quad\quad} \quad x \\ X &= (1.64 * 1350) / 2.84 = 779.5 \text{ g} \\ E/C &= 0.5 \\ E &= 0.5 * C = 0.5 * 450 = 225 \text{ ml} \end{aligned}$$

37.1

37.2 Procédés de réalisation mélanges mortiers/argiles :

La préparation du mortier va être réalisée en utilisant un malaxeur d'une capacité de 5 litres composé d'un récipient et d'un batteur en acier inoxydable, pouvant fonctionner à une vitesse lente de 140 tours par minute et une vitesse rapide de 285 tours par minute. L'eau et le ciment sans additions sont introduits dans le récipient à l'arrêt, puis le malaxeur est mis en marche à vitesse lente pendant 60 secondes, puis à vitesse rapide pendant 30 secondes ; mortier d'argile étant introduit les premières 30 secondes. Pendant l'arrêt du malaxeur pendant 90 secondes, un raclage manuel des parois du récipient est effectué pendant les premières 15 secondes d'arrêt, puis le malaxeur est remis en marche à vitesse rapide pendant 60 secondes.

37.3 Caractérisation de l'ouvrabilité du mortier argile expansée

La consistance de référence a été évaluée en mesurant l'étalement du mortier d'argile à l'état frais sur une table à secousses). Le mortier d'argile frais étant placé dans un cône de diamètre inférieur : 100 mm, diamètre supérieur : 70 mm et de hauteur : 60 mm en deux couches compactées à l'aide d'une tige métallique. Après enlèvement du cône, la table subit 30 secousses en 30 secondes et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange sur deux directions perpendiculaires la classification du mortier en termes d'étalement.



Figure 37 essai d'étalement de mortier argile.

Calcul de l'étalement à la table à secousse se fait par la formule suivante :

$E\% = 100(D_r - D_i)/D_i$, Avec : D_r = diamètre final et D_i = diamètre initial.

$D_r = 21 \text{ cm}$ $D_i = 10.4 \text{ cm}$

$E = (21 - 10.4) * 100 / 10.4 = 82.6\%$

37.4 Confection et conservation des corps d'épreuves :

Pour le mortier argile ayant acquis la consistance de référence, nous allons préparer de 3 éprouvettes (40 mm x 40 mm x 160 mm).

La mise en place des mortiers ordinaires dans les moules est effectuée en deux couches qui subissent sur une table à chocs 60 secousses en 60 secondes par couche.

La conservation des moules est dans une chambre humide pendant 24 heures à une température de 20 °C et plus de 95 % d'humidité relative. Après démoulage, les éprouvettes vont être conservées en immergeant dans l'eau à une température de 20 ± 2 °C, jusqu'à l'échéance de l'essai.



Figure 38 Vibration à la table de secousse et Démoulage des éprouvettes

Dans cette 2eme partie expérimentale nous avons réalisé au niveau de laboratoire pédagogique de notre université, vise à étudier l'influence de l'introduction des granulats à base des déchets pneumatique recycle et cuire de bois avec des pourcentages varie de (15% ;7.5% ; 10%) sur les propretés physico-mécanique pour deux matériaux différent :ciment et mortier Nous exposons dans cette chapitre toute les matériaux utilise et leur caractéristique, les essais réalise avec votre appareillage, les formulations adopte et finalement traiter les résultats trouver

Les matériaux et matériels utilisés

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de BOUIRA. Les matériaux utilisés sont :

- 1) Un ciment CEM II/A-M (P-L) 42,5 N : de la cimenterie de Sour el Ghozlane
- 2) Un sable (0/3) concasse de la région de Sour el GHOZLANE
- 3) Granulats des déchets pneumatique gamme (0/2.5) mm
- 5) L'eau potable du laboratoire pédagogique de l'université
- 6) Plâtre marque KNAUF [FLEURUS]
- 7) cuir de bois **0.3mm**



Figure 39 représente sciure de bois

Formulations des composites à base des granulats pneumatiques et cuire de bois

Dans notre investigation expérimentale nous avons procédé à l'élaboration type de composites à base d'une matrice hydraulique et les fractions (0/2.5 mm) des déchets pneumatiques et cuire de bois : 1 eme type l'incorporation des granulats pneumatiques et cuire de bois dans un mortier ordinaire. Les différents mélangés à base des granulats des déchets pneumatiques et cuire de bois ont été élaboré, en incorporant les différents taux volumiques (7.5%,10% et 15%) dans le mortier ordinaire.

Cuire de bois :

d détermination de la masse volumique absolue : Après le versement cuire de bois dans l'eau, nous avons visualisé une quantité des granulats qui se flotte, en parant la visibilité du ménisque, en effet nous avons opté à prendre la masse volumique absolue des cuire de bois selon la fiche technique du fournisseur.

Masse volumique absolue est : 500g/ml.



Figure 40 détermination de la masse volumique absolue de cuire de bois

classes granulaire des déchets pneumatiques	Les mélangés préparé	identification
0/2.5 mm	M T	Mortier témoins
	M G D P C B 15%	mortier avec une 15% des déchets pneumatique ET CUIR DE BOIS
	M G D P C B 7.5%	mortier avec une 7.5% des déchets pneumatique et cuir de bois
	M G D P C B 10%	mortier avec une 10% des déchets pneumatique et cuir de bois

Tableau 11 Différentes formulations à base du mortier et déchets pneumatiques et cuir

de bois

37.5 Procédés de réalisation de différents composites à base de (MGDPCR) :

Après Pesage tous les composants du mortier pour chaque formulation le malaxage ont été effectués à l'aide d'un malaxeur d'une capacité de 5 litres composé d'un récipient et d'un batteur en acier inoxydable, pouvant fonctionner à une vitesse lente de 140 tours par minute et une vitesse rapide de 285 tours par minute Les étapes de malaxage sont Introduction les composants solides et secs dans le malaxeur (ciment, sable, granulats □ de caoutchouc ; cuire) puis malaxage pendant trois (3) minutes à vitesse lente (1) afin d'assurer une bonne dispersion des G.D.P. parmi les éléments traditionnels du mortier. Introduction du l'eau et faire le malaxage pendant 2 minutes à vitesse lente. □ arrêter le malaxeur, on ajout le cuire de bois pré mouiller et bien sécher en mélange bien après démonter le batteur, puis racler les parois et le fond du récipient de □ façon qu'aucune partie de mortier n'échappe au malaxage Après remontage du batteur reprendre le malaxage pendant 2mn a vitesse rapide ce mélange a été effectuer pour les 3 pourcentage (7.5% ;10% ;15% ;)

Note : cuire de bois a été pré mouillé avant l'ajouter au mélange.



Figure 41 pré-mouillage de la cuire de bois

37.6 Les étapes de coulage des éprouvettes sont :

1er étape : graisse les moules par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage

2ème étape : rempli la moitié du moule que doit être placé sur la table à choc, puis vibrez les toutes 60 secousses pendant 60 secondes (60 coups/min) afin d'éliminer les vides

3ème étape : rempli totalement le moule puis vibrez le tout une deuxième fois 60 secousses en 60 secondes

4ème étape : l'arasement la face supérieure des éprouvettes qui doit être lisse est bien fini



Figure 42 représente graissage des moules. Figure 43 remplissage et le vibrage des moules

37.7 Conservation et démoulages des éprouvettes ;

Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées à l'aire libre (20°C).



Figure 44 démoulage et Conservation des éprouvettes

38 Essai de caractérisation rhéologique des mortiers

38.1 Essai de maniabilité :

Étalement à la table à secousses NF EN 1015-3 [71] Pour réaliser l'essai d'étalement du mortier à l'état frais sur une table à secousses. Le mortier frais étant placé dans un cône de diamètre inférieur : 100 mm, diamètre supérieur : 70 mm et de hauteur : 60 mm, en deux couches compactées à l'aide d'une tige métallique. Après enlèvement du cône, la table subit 30 secousses en 30 secondes et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange sur deux directions perpendiculaires les essais sont faits pour chaque pourcentage indiqués (7.5% ; 10% ; 15;)



Figure 45 Remplissage du cône Etallement (MGDPCB)

38.2 Formulations des composites à base des granulats pneumatiques et cuire de bois et

38.3 Argile :

Dans notre investigation expérimentale nous avons procédé à l'élaboration type de composites à base d'une matrice hydraulique et les fractions (0/2.5 mm) des déchets pneumatiques et cuire de bois : 1^{eme} type l'incorporation des granulats pneumatiques et cuire de bois dans un mortier ordinaire. Les différents mélangés à base des granulats des déchets pneumatiques et cuire de bois ont été élaboré, en incorporant les différents taux volumiques (7.5%,10% et 15%) dans le mortier a base d'argile

38.4 Argile expansée

L'argile utilise est de 0.5 diamètre après le calcul de masse volumique absolue : comme suite : Après le versement cuire argile 0.5mm dans l'eau, nous avons visualisé une quantité des granulats qui se flotte, en parant la visibilité du ménisque, en effet nous avons opté à prendre la masse volumique absolue argile selon la fiche technique du fournisseur. 779.5 g/ml

38.5 Procédés de réalisation des différents mélanges cuire de bois/granulats pneumatiques/argile :

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules. 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, déchets pneumatiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité de l'argile dans le récipient du malaxeur.
- 5- Introduire la quantité du déchet pneumatique et cuire de bois dans le récipient du malaxeur
- 6- Malaxage des composants durant 20 secondes.

38.6 Sciure de bois :

Détermination de la masse volumique absolue : Après le versement cuire de bois dans l'eau,

nous avons visualisé une quantité des granulats qui se flotte, en parant la visibilité du ménisque, en effet nous avons opté à prendre la masse volumique absolue des cuire de bois selon la fiche technique du fournisseur.

Masse volumique absolue est : 28.8 g/ml

39 Procédés de réalisation de différents composites à base de (MGDPCR) :

Après Pesage tous les composants du mortier pour chaque formulation le malaxage ont été effectués à l'aide d'un malaxeur d'une capacité de 5 litres composé d'un récipient et d'un batteur en acier inoxydable, pouvant fonctionner à une vitesse lente de 140 tours par minute et une vitesse rapide de 285 tours par minute Les étapes de malaxage sont Introduction les composants solides et secs dans le malaxeur (argile granulats □ de caoutchouc ; cuire) puis malaxage pendant trois (3) minutes à vitesse lente (1) afin d'assurer une bonne dispersion des. parmi les éléments traditionnels du mortier. Introduction du l'eau et faire le malaxage pendant 2 minutes à vitesse lente. □ arrêter le malaxeur, on ajout le cuire de bois pré mouiller et bien sécher en mélange bien après démonter le batteur, puis racler les parois et le fond du récipient de □ façon qu'aucune partie de mortier n'échappe au malaxage Après remontage du batteur reprendre le malaxage pendant 2mn a vitesse rapide ce mélange a été affecter pour les 3 pourcentage (7.5% ;10% ;15% ;)

Note : cuire de bois a été pré mouiller avant l'ajouter au mélange

39.1 Essai de caractérisation rhéologique des mortiers :

39.1.1 Essai de maniabilité :

Étalement à la table à secousses NF EN 1015-3 [71] Pour réaliser l'essai d'étalement du mortier à l'état frais sur une table à secousses Le mortier frais étant placé dans un cône de diamètre inférieur : 100 mm, diamètre supérieur : 70 mm et de hauteur : 60 mm, en deux couches compactées à l'aide d'une tige métallique. Après enlèvement du cône, la table subit 30 secousses en 30 secondes et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange sur deux directions perpendiculaires.



Figure 46 mesure de étalement

Conclusion du chapitre :

Dans cette partie nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette recherche ainsi que leurs différentes caractéristiques physiques. Le mode opératoire, ainsi que l'optimisation des mélanges des mortiers et les composite à base de (P/GDP) et cuire de bois sont présentés d'une manière détaillée. Des corps d'épreuves en mortiers et en (P/GDP) légers à base des granulats utilisés ont été élaborés, confectionnés et caractérisés sous un chargement de compression uni-axiale et de flexion 3-points. Les différents résultats obtenus seront présentés, illustrés et analysés dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 : Présentation Et Interprétations Des Résultats Expérimentaux Et Discussion.

Introduction :

Ce chapitre est totalement consacré à la présentation, interprétation et discussion des différents résultats expérimentaux des essais réalisés sur les deux composites.

40 Résultats des essais mécaniques de mortier ordinaire .:

40.1 Essais mécaniques :

Comme nous avons déjà procédé dans le cas des essais mécaniques sur les éprouvettes de plâtre. Rappelons à l'âge requis, les éprouvettes sont retirées de leur milieu de conservation, elles sont brisées en deux moitiés par flexion et chaque moitié est soumise à l'essai de compression

40.2 Essais de flexion :

Les résistances à la traction du mortier durci sont prévues à 07,14 et 28 jours sur des éprouvettes prismatique (4X4X16 cm³) en utilisant une machine de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN.



Figure 47 : essai de flexion et mode de rupture.

Tableau 12. Résultats des essais mécaniques (flexion).

types	éprouvette	Masse(g)	Résistance à la flexion (MPa) (7 Jours)		Résistance à la flexion (MPa) (14 Jours)	
			F (kn)	σ (kn)	F (kn)	σ (kn)
Mortier ordinaire	1	562	1.9	4.5	1.7	4
	2	562	1.4	3.3	1.5	3.6
	3	562	1.5	3.5	1.4	3.3
Mortier Argile expansée	1	399	1.5	3.5	2	4.8
	2	387	1.6	3.7	2	4.8
	3	327	1.7	3.9	1.7	3.9

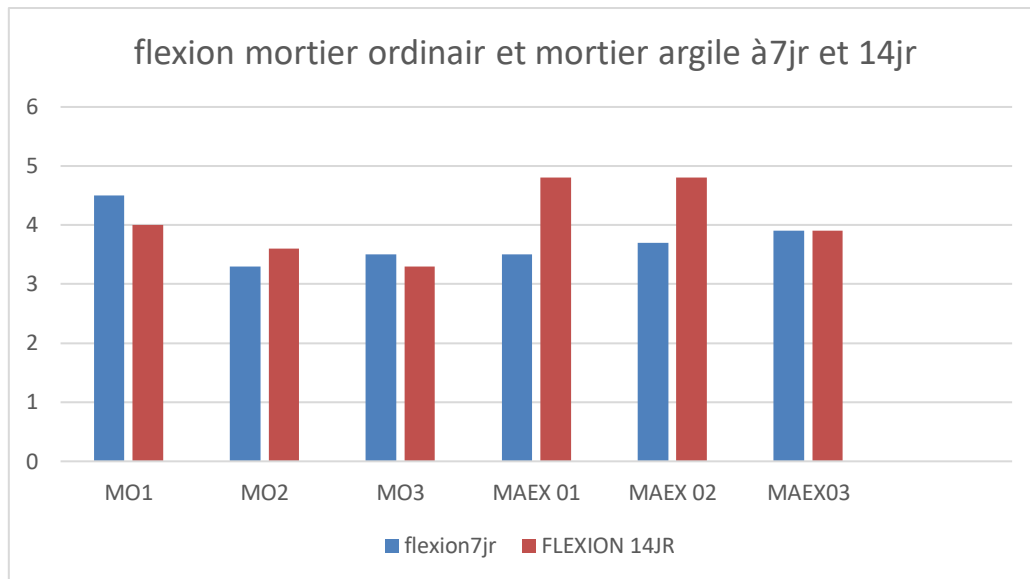


Figure 48 graphe représente résultats d'essai de flexion de mortier ordinaire et argile

40.2.1 Analyse des résultats :

A partir des valeurs données dans le tableau 12 .et l'histogramme des résistances en Flexion des différents mélanges étudiés en fonction du temps illustré par la figure 48 Observe : la résistance de mortier ordinaire vis-à-vis flexion diminue dans les 7^{eme} et 14 jours

La résistance de mortier argile expansée vis-à-vis flexion diminue dans les 7^{eme} et 14 jours d'après le graphe et le tableaux

40.3 Essais de compression :

Les résistances en compression sont prévues à 7,14 et 28 jours sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion, en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 3000 KN. La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.



Figure 49 machine essai de compression



Figure 50 mode de rupture

Tableau 13. Résultats des essais mécaniques (compression).

types	éprouvette	masse	Résistance à la compression (MPa)				Résistance à compression(MPa)			
			(7 Jours)				(14jr)			
			F(kn)		σ (kn)		F(kn)		σ (kn)	
Mortier témoin	1	562	49.5	49.4	30.9	30.9	38.6	37.6	24.1	23.5
	2	562	36.5	38.2	22.8	23.9	41.3	44.8	25.8	28
	3	562	34.9	37	21.8	23.1	46.8	53.2	29.2	33.2
Mortier Argile expansée	1	399	32.7	33.9	20.7	21.2	50	43.8	31.3	27.4
	2	387	36.2	28.9	22.6	18.1	52.4	54.1	32.7	33.8
	3	387	38.6	29.4	49.1	18.4	43.1	80.4	26.9	50.2

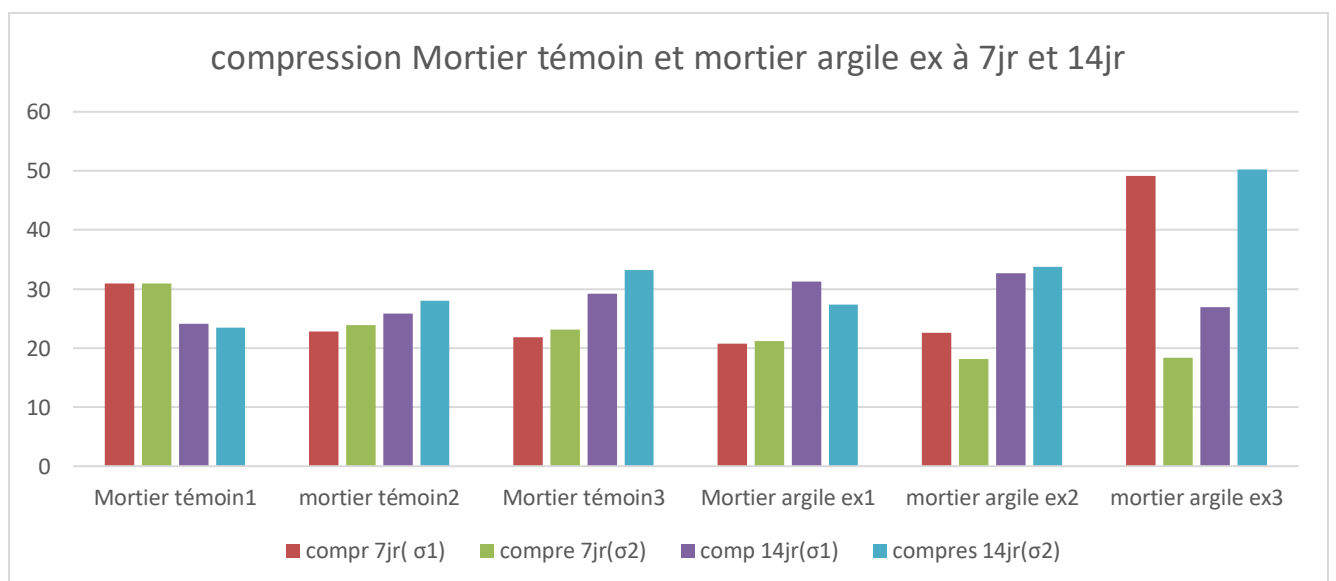


Figure 51 graphe représente résultats compression mortier témoins et mortier argile

expansée

40.3.1 Remarque :

Les mêmes remarques formulées précédemment sont valables aussi pour les résultats En compression. Donc selon les résultats de tableau la résistance diminue dans les 7 premier jrs mais augmente dans les 14 jours pour le mortier témoins (ordinaire et argile expansée) Selon le graphe pour mortier témoins 1 contrainte augmente dans le 7 jrs et diminue dans les 14 jrs
Pour mortier témoin 2 contrainte 14 jrs augmente et 7 jrs diminuent
Mortier témoin 3 la contrainte au 7eme jrs reste diminue et 14 jrs augmente
Pour mortier argile expansée 1 contrainte de 14 jrs plus grande que 7 jrs
Pour mortier argile expansée 2 la même chose
Pour mortier argile expansée 2 contrainte au 7eme et 14 jrs augmente
Ce qui nous conduit a déduire que

40.3.2 Interprétation des résultats :

Les facteurs essentiels qui participent dans la réduction des caractéristiques mécaniques Sont :

- la faible adhérence entre la pâte de ciment et les granulats pneumatiques et sciure de bois, ce qui crée

Des hétérogénéités dans les matériaux étudiés et augmente la porosité.

- La faible rigidité des granulats pneumatiques avec sciure de bois.

La réduction de la classe granulaire des déchets pneumatiques et sciure de bois engendre une perte de la résistance mécanique.

40.4 Essais réalisés à l'état sec de mortier ordinaire avec déchets pneumatique et Sciure de bois:

40.4.1 Essais de flexion :

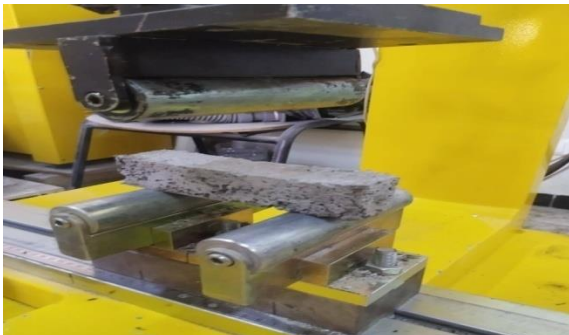


Figure 52 mode de rupture



Figure 53 essai de flexion.

Tableau 14. résultats de essai flexion de mortier ordinaire avec déchet pneumatique et sciure de bois.

mélange	Résistance a la flexion (MPa) 7j		Résistance a la flexion (MPa) 14j	
	F (KN)	CONTRAINTE (MPa)	F (KN)	CONTRAINTE (MPa)
Mortier avec 7.5 % GP+CDB			1	2.4
Eprouvette 1	1.2	2.7		
Eprouvette 2	0.8	1.8	0.9	2
Eprouvette 3	0.7	1.5	1	2.5
Mortier avec 10% GP+CDB	0.4	0.9	0.4	0.9
Eprouvette 1				
Eprouvette 2	0.3	0.8	0.4	0.9
Eprouvette 3	0.3	0.8	0.4	0.9
Mortier avec 15% GP+CDB	0.3	0.7	0.4	0.9
Eprouvette 1				
Eprouvette 2	0.3	0.8	0.4	0.9
Eprouvette 3	0.4	0.8	0.4	0.9

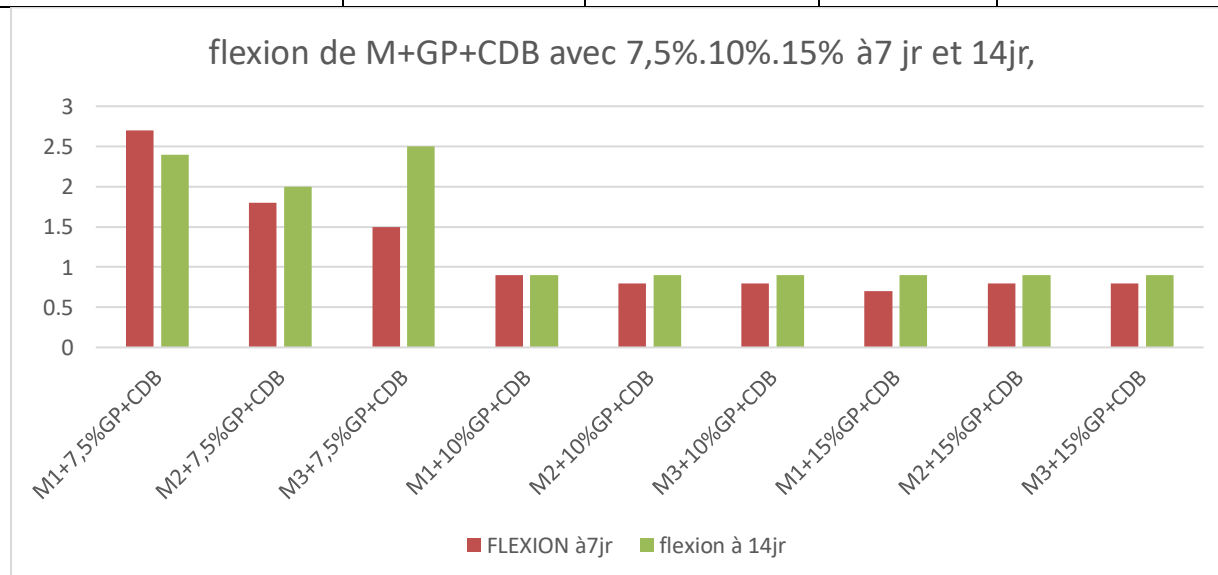


Figure 54 graphe représente résultats essai de flexion de mortier ordinaire avec GP et CDB

40.4.2 Analyse de résultats :

A partir des valeurs données dans le tableau on observe : Une réduction de la résistance à la

flexion suite à l'augmentation des pourcentages des granulats pneumatiques de diamètre (0/2.5) et cuire de bois (0.3) Pour les différents pourcentages, (7.5% 10% 15%)

Selon le graphe **mortier pourcentage7.5 (M1+7.5GP+CDB) (M2+7.5GP+CDB) (M3+7.5GP+CDB)** résistance dans les 7 jours diminue .14 jours augmente

Pour mortier pourcentage10 (M1+10GP+CDB) (M2+10GP+CDB) (M3+10GP+CDB) résistance diminue para port le pourcentage 7.5 mais reste presque stable dans les 7 et 14 jrs pour pourcentage 10

Pour mortier pourcentage15 (M1+15GP+CDB) (M2+15GP+CDB) (M3+15GP+CDB).ce diminue para port pourcentage précédent de même manière.

40.5 Essais de compression :



Figure 55 machine de compression et essais de compression et mode de rupture

Tableau 15. résultats essais de compression de mortier ordinaire avec déchet pneumatique et sciure de bois.

Mélange	épro uett es	Résistance à la compression(MPA) 7j				Résistance à la compression (MPA) 14j			
		F (KN)		CONTRAINTE (MPA)		F (KN)		CONTRAI NTE (MPA)	
/	/								
Mortier avec 7.5 % GP+CDB	1	15.8	15.3	9.9	9.6	15.6	9.8	15.9	10
	2	13.8	13.3	8.6	8.3	15.8	9.9	15.8	9.9
	3	12.3	13.5	7.7	8.6	13.6	8.5	15	9.4
Mortier	1	7.9	/	5	4	8.2	5.2	8.2	5.2

avec 10% GP+CDB	2	8	7.9	5	4.9	8.2	5.1	8.1	5.1
	3	8	8	5	5	8	5	8	5
Mortier avec 15% GP+CDB	1	7.8	7.9	4.9	4.9	7.8	4.9	8	5
	2	7.8	7.9	4.9	4.9	8.1	5.1	7.9	5
	3	7.8	7.8	4.9	4.9	8.1	5.1	8.3	5.9

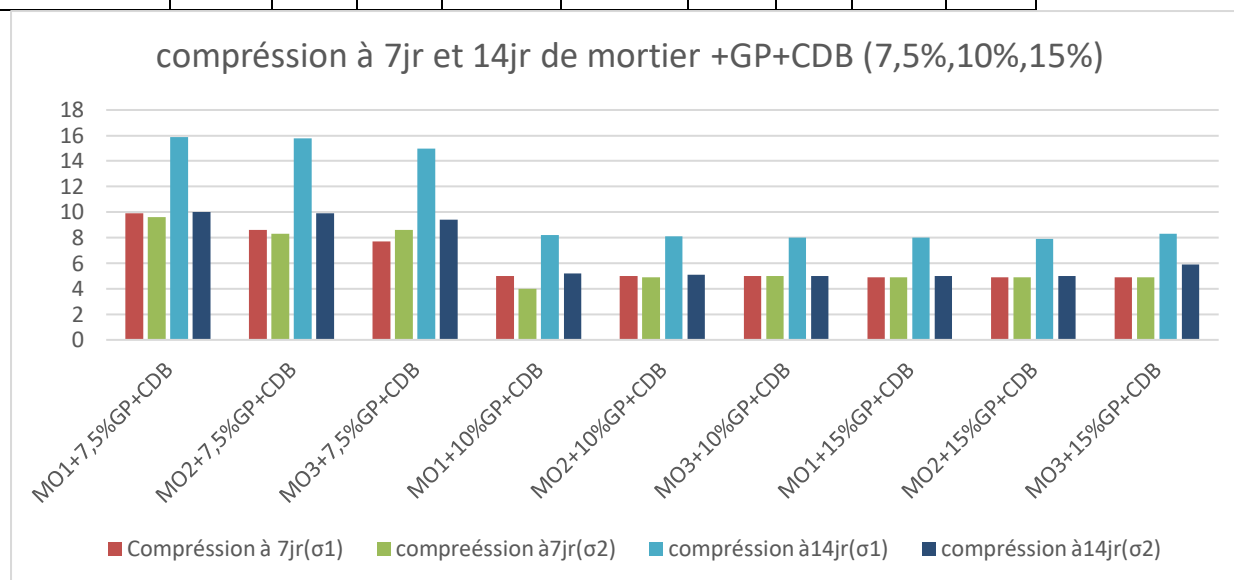


Figure 56 graphe représente résultats essai compression de mortier ordinaire +GP+CDB

40.5.1 Remarque :

Les mêmes remarques formulées précédemment sont valables aussi pour les résultats En compression selon le tableau résistance ce diminue dans les 7 et 14 jours pour tous le pourcentage suite a augmentation des masse de ces derniers

Selon le graphe pour pourcentage de **7.5 (MO1+7.5GP+CDB) (MO2+7.5GP+CDB)(MO3+7.5GP+CDB)** au 7 jrs reste stable mais petite para port au 14 jrs en remarque quelle augmente

Pourcentage 10 (MO1+10GP+CDB) (MO2+10GP+CDB) (MO3+10GP+CDB).la résistance se diminue para port au pourcentage précédent selon 14 et 7 jour

Pourcentage 15 (MO1+15GP+CDB) (MO2+15GP+CDB) (MO3+15GP+CDB) crs résultats presque les même comme le pourcentage de 10

40.6 Essais réalisés à l'état sec mortier argile expansée avec déchets pneumatique et Sciure de bois

40.6.1 Essais de flexion

Les résistances à la traction du mortier durci sont prévues à 07,14 et 28 jours sur des éprouvettes prismatique (4X4X16 cm³) en utilisant une machine de résistance à la flexion

perm



Figure 57 essai flexion

Tableau 16. résultats de essai flexion de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois.

Mélange	éprouvettes	masse	Résistance a la flexion (MPa) 7j		Résistance a la flexion (MPa) 14j	
			F (KN)	CONTRAINTE (MPA)	F (KN)	CONTRAINTE (MPA)
/	/	/				
Mortier argile expansée avec 7.5 % GP+CDB	1	274	0.6	1.5	1.2	2.8
	2	279	0.7	1.6	0.7	1.7
	3	270	0.7	1.5	0.7	1.7
Mortier argile expansée avec 10% GP+CDB	1	240	1.2	1.2	0.5	1.2
	2	237	1.2	1.2	0.6	1.5
	3	257	1.3	1.3	0.6	1.4
Mortier argile expansée avec 15% GP+CDB	1	219	0.4	0.9	0.4	1
	2	233	0.4	0.9	0.4	1
	3	248	0.4	0.9	0.4	1

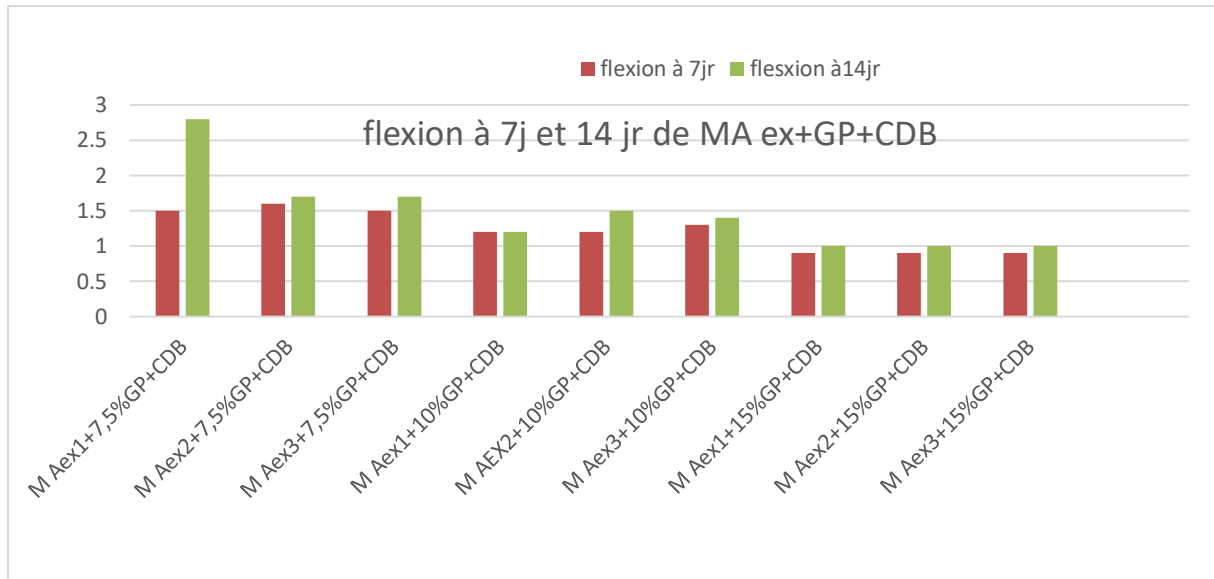


Figure 58 graphe résultats de essai flexion de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois

40.6.2 Analyse se résultats :

A partir des valeurs données dans le tableau on observe : Une réduction de la résistance à la flexion suite à l'augmentation des pourcentages des granulats pneumatiques de diamètre (0/2.5) et cuire de bois (0.3) avec argile Pour les différents pourcentages, (7.5% 10% 15%)

Selon le graphe mortier **pourcentage7.5 (MAEX1+7.5GP+CDB) (MAEXP2+7.5GP+CDB) (MAEXP3+7.5GP+CDB)** résistance dans les 7 jours stable et petite parra port au .14 jours augmente

Pour mortier pourcentage10 (MAEX1+10GP+CDB) (MAEXP2+10GP+CDB) (MAEXP3+10GP+CDB) résistance diminue para port le pourcentage 7.5 mais reste presque stable dans les 7 et 14 jrs pour pourcentage 10

Pour mortier pourcentage15 (MAEXO1+15GP+CDB) (MAEXP2+15GP+CDB) (MAEXP3+15GP+CDB).ce diminue para port pourcentage précédent de même manière.

40.6.3 Essais de compression .:



Figure 59 représente avant et après mode de rupture à essai de compression.

Tableau 17. résultats de essai compression de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois.

Mélange	épreuves	masse	Résistance a la compression(MPA) 7j				Résistance a la compression (MPA) 14j			
			F (KN)		CONTRAINTTE (MPA)		F (KN)		CONTRAINTTE (MPA)	
/	/	/								
Mortier argile expansée avec 7.5 % GP+CDB	1	274	10.9	12.1	6.8	7.5	16.3	10.2	17.3	10.8
	2	279	11.2	12.2	7	7	11.8	7.4	12.6	7.9
	3	270	//	//	7.6	7.6	13.8	8.7	13.3	8.3
Mortier argile expansée avec 10% GP+CDB	1	240	10.3	10.4	6.5	6.5	10.2	6.4	10.4	6.5
	2	237	9.8	10.4	6.1	6.5	10.6	6.8	10.3	6.4
	3	257	10.6	11.1	6.6	6.9	10.3	6.4	10.7	6.7
Mortier argile expansée avec 15% GP+CDB	1	219	8.1	8.4	5.1	5.3	8.2	5.1	8.3	5.2
	2	233	8	8.1	5	5.1	8.8	5.1	8.6	5.3
	3	248	7.9	8.4	5	5.3	8.8	5.1	8	5

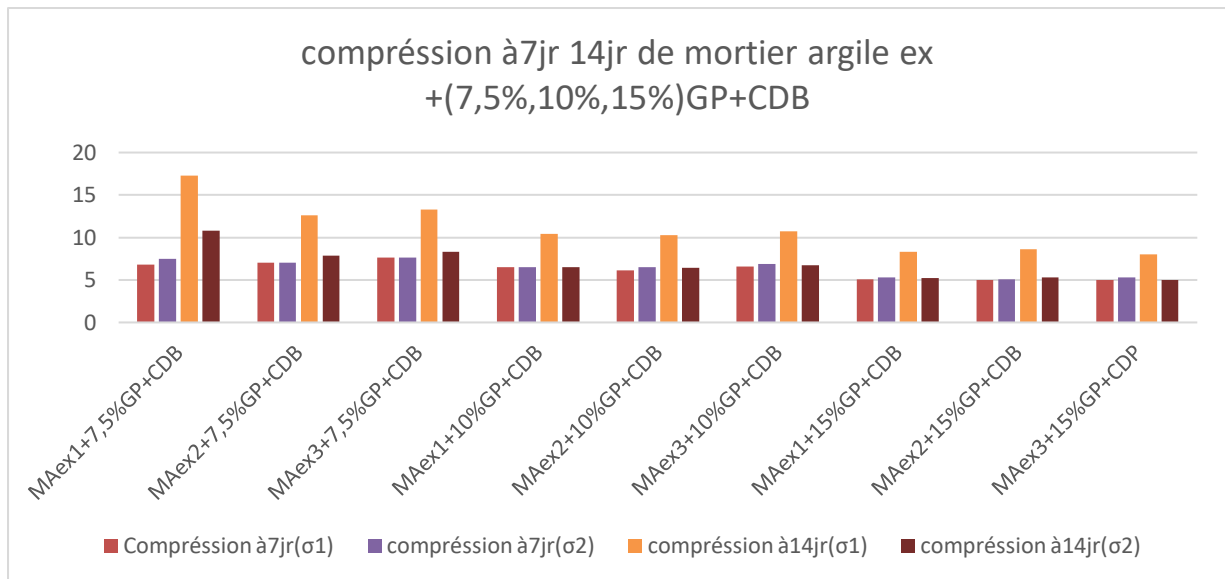


Figure 60 graphe résultats de essai compression de mortier argile expansée avec déchet pneumatique et sciure de bois

40.6.4 Remarque :

Les mêmes remarques formulées précédemment sont valables aussi pour les résultats en compression. Selon le tableau résistance ce diminue dans les 7 et 14 jours pour tous le pourcentage suite a augmentation des masse de ces derniers

Selon le graphe pour pourcentage de **7.5** (**MAEXP1+7.5GP+CDB**) (**MAEXP2+7.5GP+CDB**)(**MAEXP3+7.5GP+CDB**) au 7 jrs reste stable mais petite para port au 14 jrs en remarque quelle augmente

Pourcentage 10 (**MAEXP1+10GP+CDB**) (**MAEXP2+10GP+CDB**) (**MAEXP3+10GP+CDB**).la résistance se diminue para port au pourcentage précédent selon 14 et 7 jour

Pourcentage 15 (**MAEXP1+15GP+CDB**) (**MAEXP2+15GP+CDB**) (**MAEXP3+15GP+CDB**) crs résultats presque les même comme le pourcentage de 10

Conclusion chapitre :

Conclusion de chapitre :

Les différents résultats des essais réalisés nous permettent de mieux comprendre les comportements physico-mécaniques des matériaux étudiés. Les conclusions préliminaires formulées sont :

- L'introduction des granulats pneumatiques et sciure de bois dans la composition des matériaux entraîne une perte de la masse. cette réduction est beaucoup plus importante pour le mortier que pour le mortier argile.
- La résistance mécanique diminue plus pour le matériau 'mortier' que pour le mortier argile,
- La réduction des résistances est due essentiellement à la porosité observée dans les deux matériaux composites (mortier et argile) engendrée par l'incorporation des granulats pneumatiques ;
- Enfin, le comportement mécanique peut-être amélioré en limitant les dosages et en augmentant la classe granulaire.

Conclusion générale :

L'étude technique en génie civil vise à identifier toutes les contraintes ayant un impact direct sur les éléments structuraux et la structure elle-même, principalement la justification de la stabilité et la rigidité, le dimensionnement, l'économie, et la durabilité. L'estimation des sollicitations est une étape cruciale pour l'optimisation dimensionnelle et la justification des éléments structuraux.

L'utilisation des matériaux légers dans la construction n'est pas nouvelle en soit. Telque ces matériaux induisent la diminution des sollicitations au niveau des éléments structuraux, ainsi que la réduction du poids total de l'ouvrage, en outre, sont dotés par des performances spécifiques telles que l'isolation thermique et acoustique, et qui permettent une conception moderne à faible coût.

Dans notre étude expérimentale nous avons opté pour l'utilisation des granulats des mortier d'argile et le mélange de sciure de bois et déchets pneumatiques comme alternatifs aux granulats minéraux classiques pour la réalisation de nouveaux matériaux composites légers à base d'une matrice hydraulique notamment le mortier ordinaire et l'argile, les granulats légers utilisés dans notre recherche ont été choisis selon leur faible densité et leurs caractéristiques physico-mécaniques spécifiques. Ces matériaux composites légers sont dotés par le caractère d'isolation qui induit la diminution de la consommation d'énergie au niveau des bâtiments.

Afin d'optimiser les taux des constituants de nos composites à base des granulats des déchets pneumatiques et sciure de bois, il est donc primordial de connaître les propriétés des constituants de ces composites, à cet effet, l'étude expérimentale réalisée nous a permis de déterminer les caractéristiques physiques des granulats pneumatiques et sciure de bois. En effet, il a été conclu qu'ils se caractérisent essentiellement par leur faible masse volumique absolue qui varie respectivement entre (940 à 1155 kg/m³) et (500 kg/m³), qui est largement inférieure par rapport à la masse volumique des granulats ordinaire (2500kg/m³). Ainsi que la détermination de la formulation appropriée qui permet d'obtenir des mélanges pour mortiers légers et (P/GDPet GSB) dotés par des caractéristiques mécaniques intéressantes, en présentant une faible masse volumique. Les essais mécaniques au laboratoire effectués sur les différentes éprouvettes ont permis de déterminer la résistance à la compression et à la flexion des différents composites réalisés.

A titre indicatif, d'après les résultats expérimentaux obtenus, nous avons déterminé les caractéristiques mécaniques des spécimens du mortier et mortier argile, notamment à la flexion 3-points sur des éprouvettes prismatiques de (4x4x16 cm³) qui donnent à 14 jours ;
($\sigma_{f,max}$ = 4 MPA) pour mortier ordinaire de gamme 0 /5.

($\sigma_{f,max}$ = 4.8 MPA) pour mortier d'argile de gamme 0 /5.

($\sigma_{f,max}$ = 2.5 MPA), ($\sigma_{f,max}$ = 0.9 MPA), ($\sigma_{f,max}$ = 0.9 MPA) pour déchets pneumatique de la gamme (0/2.5mm) et sciure de bois de la gamme 0 /3 des composites à base du mortier ordinaire respectivement de pourcentage(7.5 ,10,15) .

Et ($\sigma_{f,max}$ = 2.8 MPA) ,($\sigma_{f,max}$ = 1.5 MPA)et ($\sigma_{f,max}$ = 1 MPA) respectivement pour la gamme (0/2.5mm) de DPet (0 /3mm) de sciure de bois des composites à base d'argile .

Afin de tirer des conclusions encore plus précises, il serait intéressant en perspectives de :

Bibliographie références :

- [1] Tasserie .M ; Bideau .D ; Optimisation Physicochimique d'un matériau expansé ; Université de Rennes 1, Rennes, France ; thèse de doctorat ; sciences des matériaux ; 1991.
- [2] Venuat. M; Du béton mousse au béton de polystyrène ; 1983
- [3] Ouadi R. ; Conception d'un panneau sandwich isolant-porteur ; Thèse de doctorat en Sciences appliquées; 1991, Villeurbanne, INSA
- [4] Short A , Kinniburgh W; Lightweight concrete; CR books; 1968.
- [5] Arnould .M Et Virlogeux .M. « Granulats et bétons légers » Presse de l'école nationale des Ponts et chaussées, Paris, 1986
- [6] Malhotra .V ; Matériaux complémentaires en cimentation pour le béton ; centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie ; Ottawa 1989.
- [7] Ke .Y, Beaucour .Al, Ortola .S, Dumontet .H , Cabrillac .R ; Comportement mécanique Des bétons de granulats légers : étude expérimentale et modélisation ; 24ème rencontre AUGC Montpellier; juin 2006.
- [8] Ke .Y, Beaucour .Al, Ortola .S, Dumontet .H; « Influence of volume fraction and Characteristics of lightweight aggregate concrete on the mechanical properties of concrete », Construction and Building Materials, vol. 23, 2009, p. 2821-2828.
- [9] Ke .Y, Ortola .S, Beaucour .Al, Dumontet .H , « Identification of micro structural characteristics in lightweight aggregate concretes by micromechanical modeling including the interfacial transition zone (ITZ) », Cement and Concrete Research, vol. 40, 2010, p. 1590-1600.
- [10] Zhang .M-H & Gjorv .O-E; Characteristics of lightweight aggregates for high-strength concrete, ACI Materials Journal; 88(2):150-158 ; 1990.
- [11] Bederina .M , Marmoret .L , Mezreb .K , Khenfer .M-M, Bali .A Et Queneudec .M ; Effect of the addition of wood shavings on the thermal conductivity of sand concretes: experimental study and modeling ; construction and building materials ; 21:662-668 ; 2007.
- [12] CHEN B Et LIU J ; Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber ; cement and concrete research ; vol34 : N°12 , P59-63 ; 2004 .
- [13] Benazzouk .A, Douzane .O, Langlet .T, Mezreb .K, Roucoult .J-M Et Queneudec .M ; Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes ; cement and concrete composites research ; vol29 : N°10 , P732-740 ; 2007 .
- [14] Benazzouk .A, Douzane .O, Mezreb .K, Laidoudi .Bet Queneudec .M ; Thermal conductivity of cement composites containing rubber wastes particles : experimental study and modeling ; construction and building materials ; vol22, P573-579 ; 2008
- [15] Zhang M-H Et Gjorv O-E; Penetration of cement paste in to lightweight aggregate; Cement and Concrete Research; 22(1):47-55; 1992.
- [16] Lydon ; Résistance à la compression du béton avec granulats légers en fonction du dosage en ciment;1982.
- [17] Bentur .A; Prevention of autogenous shrink-age in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates; Cement and Concrete Research, 31:1587-1591; 2001.[
- [18] Nguyen .L-H, Beaucour .A-L, Ortola .S, Noumowé .A; Béton de structure à Propriétés
- [19] (Mohamed Ben AhmedPublié dans El Watan le 13 - 01 – 2008)
- [20] selon NF EN 13501-1).
- [21] (selon NF EN 206-1 et Eurocode 2).*
- [22] (selon NF EN 14063-1)
- [23] (www.academia.edu)*

- [24] (<http://www.lafarge-france.fr>).
- [25](soin-du-corps.ooreka.fr)
- [26] (www.encyclo-ecolo.com/Pouzzolane)
- [27]pouzzolanesdesdomes.com)
- [28] (www.a2bpouzzolanes.com)
- [29](www.gammvert.fr
- [30](www.samse.fr)] .
- [31] [Benmalek, Bouguerra, Ledhem, Dheilily et Queneudec ; 1999]
- [32]. [Al Rim, Ledhem, Douzane, Dheilily et Queneudec ; 1999]
- [33]. [Bederina, Laidoudi, Goullieux, Khenfer, Bali et Queneudec ; 2009]
- [34]. [Houssais, Benmalek, Ledhem et Queneudec 2000]
- [35]. [AIT TAHAR et BOUAZIZ ; Août 2010 ; Annales du BTP]
- [36]. (www.mon-droguiste.com)
- [37] Afrique SCIENCE 04(2) (2008) 231 -245 Mouloud MERZOUZ et Mohamed Fouzi HABITA. 232 Abstract
- [38] (<http://dspace.univ-tlemcen.dz>)
- [40] (www.laterlite.fr)*
- [41] [M. CONTANT, 2000].***
- [42] (<http://www.lafarge-france.fr>)
- [43] (www.a2bpouzzolanes.com).
- [44] (www.gammvert.fr)
- [45] NF EN 13 055-1
- [46](Ho Thi 2008). (Hanana et al. 2015, Marrakchi et al. 2011). (<http://dspace.univ-tlemcen.dz>)
- [47](Algérie 2 Laboratoire LME (Ex. LPTRR), Université de Médéa, Algérie)
- [48]Source (paprec.com).
- [49](contournement de Bou Smail).
- [50](EBOT MANGAA et al, 2007, cité par DJEMACI, 2011).
- [51](BEN AMMAR, 2006 cité par DAHMANE, 2012)
- [52] AND, 2007).
- [53] (DJEMACI, 2012)
- [54](researchgate.net Laboratoire Géo-Matériaux Environnement et Aménagement. Université Mouloud Mammeri BP°N° 17 R.P. 15000 Tizi-Ouzou Algérie.)
- [55] (lelementarium.fr).
- [56](: Habib trouzine et al. « Problématique des pneumatique usagés en algérie »)
- [57] (moussai boubaker, seghiri mohamed,
- [58] .(ministère de l'industrie de la petit et moyenne entreprise et de la promotion de l'investissement « Etude d'un Projet Industriel de Fabrication d'articles en caoutchouc pour automobiles »).
- [59] .(Ammar Benazzouk, Omar Douzane « Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment
- [60] (Ammar Benazzouk, Omar Douzane « Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier.
- [61] (frédéric Gluzicki acresse.fr).
- [62] NATIVIDADE (1956)
- [63] :Cours METNA, 2017.
- [64] Qx(MARC, 1930 ; GAUTIER, 1930cité par DEHANE, BOUHRAOUA,
- [65] Source DGF(2003)in GABIS et Boukerb (2009).
- [66] CARRASQUINHO, 1987
- [67] source :Ministère de l'Agriculture (2005)in ADADRIR et CHIKHI (2014)

- [68] IPROCOR (1999) et ALIECOR (2008).
- [69] ECOBIOTEX - Copeaux de bois.).
- [70] Ouaddah Chaib 1 Mohamed Mouli 2 Missoum Hanifi Miloud Hamadache Soufiane Benosmane Fodil Dif
- [71] (Par Christine Raynaud, le 26 avril 2009).
- [72] (www.bhrbeton.com/societe/).
- [73] Alexandra Bourdot)
- [74] (buildex.techinfus.com/fr/)
- [75] (buildex.techinfus.com/fr/)
- [76] (buildex.techinfus.com/fr/)
- [77] (buildex.techinfus.com/fr/)
- [78] Afrique SCIENCE 04(2) (2008) 231 - 245 ISSN 1813-548X Mouloud MERZOUZ et Mohamed Fouzi HABITA. 231
Elaboration de composite cimentaire à base de diss « Ampelodesma Mauritanica MERZOUZ Mouloud* et HABITA Mohamed Fouzi Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar, B.P 12 Annaba, Algérie
- [79]Ledhem A et al
- [80]Aamar Daya E.H
- [81].Piementa et al
- [82] (Simatupang). Garci Juenger M.C et al [83] et Bilba K et al [84] ont étudié l'influence des sucre
- [86],Coatanlem P
- [87],2Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique UMR 6183, Saint-Nazaire, Centre de Recherche sur la Matière Divisée, FRE 3520, Orléans,
4ISET Ksar-Hellal. Unité de recherche de textile. Ksar-Hellal, Tunisie.
mohamed.harbaoui@univ-nantes.fr
, marwen.bouasker@univ-orleans.fr
- [88] (www.leroymerlin.fr)
- [89] Fabtherm 1(batiproduits.com)
- [90] (Gil, 2009).
- [91] Rosa et Fortes, 1991)
- [92] (Kumaran et al.,2008).
- [93] (Meyer, 2009)
- [94] (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)
- [95] (Sport Utility Véhicule)
- [96] Ernst et Young, 2014).
- [97] Hobbs D,W,"The dependence of the bulk modulus, Young's modulus, creep, shrinkage and thermal expansion of concrete upon aggregate volume concentration», Mat,Struct, 4: 107- 114, 1971,]
- [98]
- [99]
- [100] Benazzouk A et QuéneudecM."Effet du caractère cellulaire des granulats sur le comportement d'un composite ciment-caoutchouc aux cycles de gel/dégel", Proceedin of CNR IUT Roanne, publication de l'Université de St-Etienne, ISBN 2 86272 2200, Tome 2, pp, 477– 87, 2001.).
- [101] Kerasley E, P, et Wainwright P,J,"Porosity and permeability of foamed Concrete ", Cement Concr Res, 31: 805–12, 2001,
- [102] DUPAIN, R, LANCHON, R, J, C, SAINTARROMAN «granulats, sols, ciments et bétons caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition casteilla–25, ruerouge-75005 Paris 1995a

[103] NF EN 12350-7, « Essai pour béton frais, Partie 7 : Teneur en air occlus », AFNOR,1999.

[105] Boussetoua H et coll., 2017),

[106] [Sotehi N, 2010], [C. Manuel - Amorim - Vivexpo 2012], [A. Pintus - AGRIS - Vivexpo 2012] (Silva S P., 2005)

[107] Aziz M A et coll., 1979)

[108] Branco et coll, 2007)

[109] (Moreira A et coll., 2014

[110] Chadi Maalouf et coll, 2015),

[111] Ziregue A et coll., 2016),

Les mots clés :

1/ MO : mortier ordinaire

2/ GP+CDB : granulats pneumatique + cuire de bois

3/ MAEXP : mortier argile expansée

4/ M : mortier

5/ GP : gnulats pneumatique

6/ CDB : cuir de bois