REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème
Etude de comportement mécanique et de durabilité d'un mortier résineux à base des granulats légers

---

Présenté par

CHERATI Aicha

OUZANI Latifa

Proposé et Dirigé par

M^{me} HERIHERI Ouided

Promotion Juin 2021

Remerciement

Tout d'abord merci à DIEU qui m'a donné tout le courage, la force et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenonsà exprimer nos immenses et profondes gratitudes à toutes celles et tous ceux qui ont de près de loin contribué à l'élaboration de ce travail, et en particulier :

notre encadreur : Mme. HERIHIRI Ouided, pour nos avons permis de nous impliquer concrètement dans ce sujet d'actualité et d'importance, pour sa direction éclairée, sa disponibilité, et sa patience, pour la précieuse aide qu'elle nous avons promulguée tout au long de ce travail, nous luis sommes très reconnaissant pour ses apports et pour la confiance qu'elle nous avons témoignée.

Nous tenons à remercier Mr.BOUKSANI Omar, pour Ses remarques pertinentes,ses aides, ses conseilsinstructifs et ses lectures intensives nous ont permisd'améliorer notre travail.

Nous tenons à remercier aussi les responsables du laboratoire de génie civil pourleur aide.

Nous tenons à remercier aussi: Entreprisenationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles de Sig, Laboratoire de travaux public de Médéa et la cimenterie de Meftah (Groupe GICA).

Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du départementdu Génie de la matière et l'ensemble des enseignants qui en fontpartie.

En fin je tiens à remercier tous ceux qui contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail,nous leur dirons merci.

Dédicace

Je dédié ce lapidaire travail :

À mes très chers parents qui m'ont de

ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie,

etmon père qui a sacrifié toute sa vie.
Merci mes parents

À mes très chers frères.

À tous mes amis et mes collègues.

En fin, je remercie ma binôme AICHA qui a qui a partagé avec moi les bons et les mauvais moments.

LATIFA

Dédicace

Je dédié ce lapidaire travail :
À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

Qu'Allah me les garde.

À mes chers frères et sœurs.

À toute ma famille.

À mon mari et ma belle famille

À mes très chères amies et surtout à mon binôme LATIFA qui aContribué bué à la réalisation de ce
Modeste travail.

AICHA

ملخص

تستخدم راتنجات الايبوكسي اليوم على نطاق واسع كمادة رابطة من أصل البوليمر. لها خصائص ممتازة تجعلها لا غنى عنها في العديد من مجالات النشاط. تساهم هذه الدراسة في تطوير مادة جديدة: ملاط راتينج الإيبوكسي المعتمد على الركام الخفيف.

هدفنا هو تطوير مركبات راتنجات الايبوكسي بجرعتين 20 و 30٪ ، ثم دراسة الخصائص الفيزيائية الميكانيكية والحرارية والمتانة لملاط الراتنج الخفيف. تم اختيار نوعين من الركام الخفيف (حبيبات الفلين الموسعة وجزيئات التراب الدياتومي) لاستبدال حجم الرمل ، بنسب تتراوح من 20٪ ، 40٪ ، 60٪ ، 80٪ و 100٪ بشكل منفصل ثم ثلاثة خلائط من النوعين من الركام بمحتويات مختلفة (30٪ فلين ممتد ، 30٪ دياتومايت) ؛ (20٪ فلين ممتد 40٪ دياتومايت) و (40٪فلين ممتد و 20٪ دياتومايت). أظهرت النتائج التجريبية أن استبدال هذه الركام خفيف الوزن في الملاط بجرعة 30٪ راتنجات الايبوكسي مفيد للأخير ويحسن بعض هذه الخواص مثل العزل الحراري.

الكلمات المفتاحية: راتنجات الايبوكسي ، الخواص الفيزيائية ، الركام الخفيف

Abstract

Epoxy resins are widely used today as a binder of polymer origin. They have excellent properties which make them indispensable in many fields of activity. This study contributes to the development of a new material: epoxy resin mortar based on light aggregates.

Our goal is first to develop epoxy resin composites with two dosages 20 and 30%, then to study the physico-mechanical, thermal and durability properties of light resinous mortars. Two types of light aggregates (expanded cork grains LE and particles of diatomaceous earth D) chosen for the volume substitution of the sand, with percentages varying from 20%, 40%, 60%, 80% and 100% separately then three mixes two types of aggregates (LE and D) with contents (30% LE, 30% D); (20% LE 40% D) and (40% LE with 20% D). The experimental results revealed that the substitution of these lightweight aggregates in the mortar with the dosage of 30% epoxy resin is beneficial for the latter and improves some of these properties such as thermal insulation.

Key words: epoxy resin, physical properties, lightweight aggregates.

Résumé

Les résines époxy sont largement utilisées de nos jours comme liant d'origine polymère. Elles possèdent d'excellentes propriétés qui leur permettent d'être indispensables dans de nombreux domaines d'activités. Cette étude contribue à la mise au point d'un matériau nouveau: le mortier de résine époxy à base des granulats légers.

Notre objectif consiste d'abord, à élaborer des composites de résine époxy avec deux dosages 20 et 30%, ensuite l'étude des propriétés physico-mécaniques, thermiques et de durabilité des mortiers résineux légers. Deux types de granulats légers (grains de lièges expansés LE et les particules de la diatomite D) choisis pour la substitution volumique du sable, avec des pourcentages varient de 20 % ,40% ,60%, 80% et 100% séparément ensuite trois mixages des deux types de granulats (LE et D) avec des teneurs (30% LE, 30% de D) ; (20% LE 40% de D) et (40% de LE avec 20% de D). Les résultats expérimentaux, ont révélé que la substitution de ces granulats légers dans le mortier avec le dosage de 30% de résine époxy est bénéfique pour ce dernier et améliore certaines de ces propriétés comme l'isolation thermique.

Mots clés : résine époxy, propriétés physiques, granulats légers.

Table des matières

Remerciement
Dédicace
ملخص
Résumé
Abstract
Listes des figures
Liste des tableaux
Symboles et abréviation
INTRODUCTION GENERALE ……..... 01

Chapitre I : Syntheses bibliographique

I.1.Introduction ……..... 03
I.2.Mortiers résineux ……..… 05
I.2.1.Domaines d'utilisations de mortier résineux ……..... .. 06
I.3.Les composantes de mortiers époxy ……...……..…...…..... 07
I.3.1.Epoxy……..……..... 07
I.3.1.1.Les matrices thermoplastiques ……..... 07
I.3.1.2.Les matrices thermodurcissables……..... 08
I.3.2.Le sable ……..... 10
I.3.2.1.Le sable siliceux …..…….... 10
I.3.2.2 Le sable siliceux dans le monde…….……..... 11
I.3.2.3 Le sable siliceux en Algérie ……..... 11
I.3.2.4.La production algérienne……..... 12
I.3.2.5.Applications du sable siliceux……..... 12
I.3.3.Les granulats lèges……..…… 12
I.3.3.1.Le liège expansée……..... 13
I.3.3.1.1.Historique…….……..... 13
I.3.3.1.2.Structure alvéolaire du liège……..... 14
I.3.3.1.3.Composition chimique……..... 17
I.3.3.1.4.Préparation du liège..... 17
I.3.3.1.5.Propriétés du liège ……..... 18
I.3.3.1.6.Les principaux domaines d'utilisations du liège……..... 20
I.3.3.2 La diatomite ……..... 21
I.3.3.2.1 Origine de la diatomite ……..... 21
I.3.3.2.2 Définition…….....…… 21
I.3.3.2.3 Les phases de traitement de la diatomite ……...… 23
I.3.3.2.4.Les propriétés du diatomite…….....….. 24
I.3.3.2.5.Influence de la performance des matériaux sur la chaleur et l'humidité..... 24
I.4.Propriétés des mortiers résineux à l'état durci…… 25
I.4.1.Effet de la résine époxy……..... 25
I.4.1.1.Résistance à la traction par flexion…….. 25
I.4.1.2.Résistance à la compression……..... 26
I.4.1.3.Résistance aux milieux agressifs ……..... 27
I.4.1.3.1.Résistance à la traction par flexion ……..... 27
I.4.1.3.2.Résistance à la compression……..... 28
I.5.Conclusion……..... 28

Chapitre II : Matériaux et Essais

II.1.Introduction……. 27
II.2.Programme expérimental…….……. 27
II.2.1.Matériaux utilisées…… 27
II.2.1.1.Le liant…….. 27
II.2.1.1.1.La résine……..... 27
II.2.1.1.2.Le durcisseur……..... 27
II.2.1.2.Les granulats…….. 28
II.2.1.2.1.Le sable…… 28
II.2.1.2.2.Les granulats lèges ……..…..... 30
II.2.2. Mode de préparation du béton de résine ……..... 32
II.2.2.1.La procédure de formulation……..... 32
II.2.2.2.Equipement nécessaire :……..... 35
II.2.2.3.Mode de préparation du mortiers résineux…… 36
II.2.3.Les essais……... 42
II.2.3.1.Les essais effectués sur les granulats…… 46
II.2.3.1.1.Les masses volumique..... 47
II.2.3.1.2.Equivalent de sable..... 41
II.2.3.1.3.Granulométrie…..... 42
II.2.7.1.4 L'absorption..... 43
II.2.7.1.5Mesure du PH de la diatomite..... 43
II.2.7.1.6Surface SpécifiqueBlaine(SSB)……..... 44
II.2.7.1.7Mesure du l'infrarouge des granulats legers……..... 45
II.2.7.2. Les essais effectués sur le mortier……..... 47
II.2.7.2.1. La masse volumique à l'état durci……. 47
II.2.7.2.2. Essai de traction par flexion …… 48
II.2.7.2.3. Essai de résistance à la compression……... 48
II.2.7.2.4. Essai d'absorption d'eau par capillarité……... 49
II.2.7.2.5.Essai de la porosité…… 49
II.2.7.2. 6.Essai de la conductivité thermique ……. 50
II.2.7.2.7Approche de durabilité ……. 50
II.3.Conclusion…… 50

Chapitre III : Résultat et Interprétation

III.1. Introduction …… 55
III.2.L'optimisation du pourcentage de résine (sable et résine)……..... 55
III.2.1. La consistence…… 55

57
III.2.2. La densité……
III.2.3 La résistance…….. 58
III.3. L'optimisation du squelette granulométrique…… 58
III.3.1. Effet de la substitution des granulats légers sur la densité…… 58
59
III.3.2.Effet de la substitution des granulats légers sur la résistance ……
III.3.4. Effet de la substitution des granulats légers sur la conductivité thermique… 62
III.4. Approche de la durabilité…… 63
III.4.1.Absorption capillaire …… 63
III.4.2. Porosité…… 64
III.4.3. Etude du comportement des composites au contact d'une eau acide ……. 65
III.5.Conclusion……..... 66

CONCLUSIONS GENERALES…… 67

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Figure I.1: La production mondiale de sable siliceux.……..…….…..... 11

Figure I.2:Répartition mondiale des subéraies**.**……..…….…….…... 14

Figure I.3: Structure et composition du liège.……..…. 15

Figure I.4: Structure microscopique du liège.……..…..…... 15

Figure I.5: Formation du liège.…….…….…..... 16

Figure I.6: Le cycle de production du liège.…….…… 17

Figure I.7: Absorption d'eau en fonction du temps**.**……...…….…..... 18

Figure I.8: Evolution de la résistance à la traction à 28 jours.…….…..... 19

Figure I.9: La résistance en traction en fonction de la masse volumique apparente**.**……. 19

Figure I.10: Principaux gisements de diatomite dans le monde. **.**……...…... 23

Figure I.11: Les principales phases de traitement de la diatomite.…… 23

Figure I.12: La variation temporaire de la température et de l'humidité relative à la surface intérieure du mur. **.**……. 25

Figure I.13:courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en traction par flexion trois point**. .**……...…… 26

Figure I.14:effet du temps de maturation sur la résistance à la compression.……. 27

Figure I.15:contrainte de flexion en fonction des solutions de 10% et 15% (HCL, NACL, NAOH) mortier résineux**.**……..……..….. 27

Figure I.16: contrainte de compression en fonction des solutions de 10% et 15% (HCL,NaCL ,NAOH) mortier résineux**.**…….. 28

Chapitre II :Matériaux et Essais

Figure II.1 : EpoxyProtop 1000**.**……..…… 27

Figure II.2 : résine époxy**.**……. 28

Figure II.3 :silice traité fin(0.063-0.63)mm**.**……. 28

Figure II.4: Analyse granulométrique de silice fin**.**…….. 29

Figure II.5. Liège de Jijel expansé**.**……. 30

Figure II.6.: Analyse granulométrique de liège**.**……. 30

Figure II.7. Diatomite**.**……..... 31

Figure II.8.Séchage des matériaux à 105°C…….. 37
Figure II.9. Broyage du diatomite…… 37
Figure II.10. Malaxage de résines(durcisseur et époxy)…….. 37
Figure II.11. Les mélanges à l'état sec…….. 38
Figure II.12. ML pendant le malaxage…… 38
Figure II.13 . Remplissage des moles…… 39
Figure II.14. Moule de siliconeet Forex……..... 39
Figure II.15. Le récipient…… 40
Figure II.16. Les éprouvettes et le pycnomètre…… 41
Figure II.17. Procédure de mesure de l'équivalent de sable…….. 42
Figure II.18. Analyse granulométrique…….. 42
Figure II.19. Procédure de mesure l'absorption....…… 43
Figure II.20. Procédure de mesure le PH de la diatomite…….. 44
Figure II.21. Procédure de mesure SSB …… 45
Figure II.22. Spectromètre infrarouge …… 46
Figure II.23. Diagramme de DRX liège ……. 46
Figure II.24 Diagramme de DRX diatomite…… 47
Figure II.25. Mesure de la masse …….. 47
Figure II.26. Eprouvette après la traction ……..... 48
Figure II.27. Dispositif de compression ……. 48
Figure II.28. Essais de l'absorption capillaire……. 49
Figure II.29. Essais de la porosité…….……. 49
Figure II.30. Essais de la conductivité thermique…… 50
Figure II.31. Les acides…….. 51
Figure II.32. Variation de PH…… 52
Figure II.33. Les matériaux utilisé dans le mortier époxy…… 53
Figure II.34. Les déférents Essais des granulats et mortiers à l 'état durci…….. 54

Chapitre III : Résultat et interprétation

Figure III.1 : Mélange de 100% diatomite avec : a.20% résine; b.30 résine et c.40% résine……. 55

Figure III.2 : Mélange de 100% Liège avec : a.20% résine; b.30 résine et c.les éprouvettes de 30% R…… 56

Figure III.3 : Mélange liège diatomite avec 20% résine……..... 56

Figure III.4 : mélange de liège et diatomite et 30% résine…….. 57

Figure III.5 : La densité en fonction du dosage en résine…… 57

Figure III.6 : La contrainte en fonction du pourcentage de la résine époxy ……. 58

Figure III.7. La masse volumique en fonction du pourcentage des granulats……... 58

Figure III.8. La masse volumique des mélanges……. 59

Figure III.9. La résistance à la compression en fonction du pourcentage des granulats légers……. 59

Figure III.10. La résistance à la compression des mélanges…… 60

Figure III.11. La résistance traction par flexion en fonction des pourcentages des GL…….……. 60

Figure III.12. La résistance traction par flexion des mélanges…… 61

Figure III.13. Comportement du mélange de 100% de liège expansé en traction par flexion…….…… 61

Figure III.14. La conductivité thermique en fonction des GL…….. 62

Figure III.15. La conductivité thermique des mélanges……. 62

Figure III.16. L'absorption capillaire en fonction de pourcentage de GL……..……. 63

Figure III.17. L'absorption capillaire des mélanges……..……. 64

Figure III.18. La porosité en fonction des granulats légers…….. 64

65

Figure III.19. La porosité des mélanges……..……

Figure III.20. L'absorption de HCL dans les mortiers de résine……... 66

Figure III.21. L'absorption de H_2SO_4dans les mortiers de résine…….…… 66

Chapitres I : Synthèse Bibliographique

Tableau I.1: Domaines d'application des mortiers de résiné..... 06

Tableau I.2:les avantages et inconvénients des résines époxydes**. .....** 09

Tableau I.3: Caractéristiques moyennes des matrices thermodurcissable (TD) non renforcées.**.....** 10

Tableau I.4: Pourcentages massiques des différents constituants du liège**.....** 17

Tableau I.5:les principaux domaines d'utilisations du liège**.....** 20

Tableau I.6: Caractéristiques générales des adjuvants de filtration distomatiques**.....** 22

Tableau I.7:les propriétés hygrothermiques des matériaux..... 24

Chapitre II :Matériaux et Essais

Tableau II.1: Les propriétés du sable utilisé..... 29

Tableau II.2: Composantes chimique du diatomite (ENOF de Sig)..... 31

Tableau II.3: Composantes chimique de la diatomite (Cimenterie de Meftah)..... 31

Tableau II.4: Caractéristiques physique de liège et diatomite..... 32

Tableau II.5 : Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 20%..... 33

Tableau II.6: Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 30%..... 34

Tableau II.7: Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 40%..... 34

Tableau II.8: Procédure de malaxage..... 36

Symboles et abréviations

S	sable
LE	liège expansé
D	la diatomite
MR	mortier résineux
BR	Béton Résineux
MR	Mortier Résineux
MAP	Mortier Additionné par des Polymères
BAP	Béton Additionné par des Polymères
TD	des résines thermodurcissables
TP	de polymères thermoplastiques
NE	Normes Européenne
NF	Normes française
ES	équivalent de sable à piston
ESV	Equivalent de sables à vue
Rc	Résistance mécanique à la compression
Rt	Résistance mécanique à la traction par flexion
HCl	Acide chlorhydrique
H_2SO_4	Acide sulfurique
GL	Granulats legers

INTRODUCTION GENERALE

L’utilisation du béton hydraulique en milieu industriel est remise en question par la dégradation physico-chimique excessive des matériaux employés. Les dégradations les plus significatives encourues peuvent être à l’origine de fissurations, de délaminage, de désagrégation ou d’érosion de surface, de corrosion des armatures, …. Afin d’améliorer la tenue des bétons et mortiers aux agressions chimique, la matrice cimentaire peut être remplacée, dans certains cas, par une Béton de Résine ou Béton Résineux”[1].

Les bétons de résine sont de plus en plus utilisés dans divers domaines surtout en génie civil. Ils sont principalement utilisés dans les dallages industriels ; tel que les usines des produits chimiques et pharmaceutiques. Ces bétons de résine commence à bénéficier une part plus importante du marché de bâtiment industriels.

En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique à la traction que le béton de ciment Portland, ces bétons de résine peuvent économisés jusqu'à 50 % de matériaux[2]. De façon générale, les bétons de résine résistent bien à l'action des produits chimiques et autres agents corrosifs, absorbent très peu l'eau, résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel - dégel. Ainsi, La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent plus de la nature du polymère utilisé, des conditions de conservation (temps (âge), température et hydrothermie) et des conditions d’exploitation [3].

L'objectif de ce travail est de formuler des composites de polymère à base de la résine époxy d’une part, et l’incorporation des granulats légers dans le but d’allégir ces composites d’autre part. Dans ce contexte, trois dosages de résine sont utilisés, afin d’examiner le plus efficace de point de vue consistance et selon les critères physico-mécanique. Puis, et après avoir le dosage le plus adéquat, cinq pourcentages de granulats légers (Liège et diatomite) sont adoptes : 20; 40; 60; 80 et 100% par le remplacement volumique des granulats naturels. Enfin, et vue que l’importance de la durabilité dans le domaine de la construction, on s’intéressera à l’étude du comportement de nos composites au contact d’une eau acide.

INTRODUCTION GENERALE

Ce mémoire est constitué de trois chapitres, d'une introduction générale et d'une conclusion.

Le Chapitre I présente une revue de la littérature sur les mortiers résineux et étudie principalement les propriétés physico-mécaniques ; leurs compositions ; ainsi que les propriétés résultant de l'effet de l'incorporation du granulat léger.

Dans le Chapitre II on présente, les données expérimentales sur les matériaux utilisés dans notre travail, le programme des essais réalisés avec l'explication de leurs procédures d'une façon briefe, et la méthode de formulation.

Le Chapitre III présente les résultats et la discussion des résultats des essais effectués sur les mortiers résineux, et sur les mortiers résineux avec les particules de diatomite et les grains de liège.

I.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes mélanges des mortiers époxy et les granulats lèges, ainsi que leurs applications potentielles dans le domaine du génie civil et l'étude du comportement et la durabilité.

I.2. Mortiers résineux

La recherche et le développement des bétons et mortiers modifiés par des polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980 ,
Le mortier ou béton de résine sont des matériaux fabriquées en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère, ils sont classés généralement en trois catégories selon le processus technologique de fabrication .**[4]**

- Béton ou Mortier Additionné par des Polymères « MAP ou BAP ».
- Béton ou Mortier Imprégné par des Polymères « MIP ou BIP »
- Béton ou Mortier Résineux « BR ou MR ».

I.1.1. Domaines d'utilisations de mortier résineux

Tableau I.1. Domaines d'application des mortiers de résiné [5]

Domaine d application	**Exemple**
Domaine bâtiments	-production du mortier résinée artificiel(polymérique) -industrie de façades -panneaux -appuis de fenêtres -table de travail -Haut de table -Equipements techniques sanitaires
Travaux de drainage et hydraulique	-systèmes de drainage -le réseau de canalisation
L'agriculture et horticulture	-les réservoirs d aliments pour les bétails -en horticulture,les bacs des plants
Revêtement des chaussés et planchers	-protection des surfaces des chaussées -la réparation du pont -matériaux décoratifs en leur ajoutant des charges colorées
L'industrie	-l'introduction des éléments porteurs en mortier de résine -renforces supportant les bains isolateurs, grâce a la qualité anti-virus mortier résine meilleure - les mortier résine des bases pour des tours.
Isolant phonique	-système d isolation phonique -Ecrans phoniques en autoroute

I.2. les composantes de mortiers époxy

I.2.1. Epoxy

La matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation.

Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés, dans le cas des matériaux en carbone des températures de 2 200°C peuvent êtres atteintes, On utilise actuellement surtout des résines thermodurcissables (TD) que l'on associe à des fibres longues, mais l'emploi de polymères thermoplastiques (TP) renforcés de fibres courtes se développe fortement.**[6]**

I.2.1.1. Les matrices thermoplastiques

Les polymères utilisés sont essentiellement des thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques. Un renforcement à l'aide de fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle.les principales matrices TP utilisées (possédant tous une tenue en température supérieure à 100 °C, hors POM) sont les suivantes:**[6]**

- Polyamide (PA) : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures ;
- Polytéréphtalate éthylénique et butylénique (PET, PBT) : bonne rigidité, bonne ténacité ;
- Polycarbonate (PC) : tenue au choc ;
- Polysulfure de phénylène (PPS) : résistance à l'hydrolyse ;
- Polyoxyméthylène (POM) : bonne tenue à la fatigue ;
- Polysulforés (PSU et PPS) : bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage,tenue au chaud ;
- Polypropylène (PP) : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible.

On utilise des thermoplastiques thermostables (tenue en température > 200 °C et bonnes propriétés mécaniques), en particulier les suivants:

- Polyamide-imide (PAI) ;
- Polyéther-imide (PEI) ;
- Polyéther-sulfone (PES) ;
- Polyéther-éther-cétone (PEEK).

I.2.1.2. Les matrices thermodurcissables

Les résines thermodurcissables ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Après polymérisation par chaleur s'appliquant en présences d'un catalyseur, ces résines mènent à une structure géométrique qui ne peut être détruite que par un apport important d'énergie thermique, ainsi les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques et particulièrement des propriétés thermomécaniques qui sont beaucoup plus élevées que les résines thermoplastiques.[6]

Ces propriétés plus élevées les résines thermodurcissables sont les plus employées actuellement dans la mise en œuvre des matériaux composites. Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage : [6]

- Les résines polyesters insaturées (Polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques etc.) .
- Les résines époxydes.
- Les résines de condensations :(Phénoliques, aminoplastes, etc.)

Les résines époxydes résultent de la polyaddition de l'épichlorhydrine sur un polyalcool et constitue la résine type des composites hautes performances HP. On distingue deux classes de résines en fonction du durcissement à chaud ou à froid et de la tenue en température (120-130 °C, ou 180-200 °C)le tableaux suivant présente les avantages et inconvénients des résines époxydes. **[6]**

Tableau I.2.les avantages et les inconvénients des résines époxydes [6]

Avantages	**Inconvénients**
Tenue mécanique, thermique, chimique et fatigue Faible retrait (1 à 2 %) Excellente adhérence sur fibres Auto-extinguibilité Mise en œuvre facile, sans solvant.	Prix élevé Sensibilité à l'humidité et aux UV Vieillissement sous température Sensibilité aux chocs Temps de polymérisation

Les résines époxydes sont largement utilisées dans les adhésifs et les revêtements grâce à leur dureté, leur bonne adhérence et leur résistance, elles sont remarquables pour leur haut degré de réactivité vis a vis de nombreux réactifs, elles se combinent aux molécules à hydrolithe labile tels que les amines , les anhydrides d'acide et les acides carboxyliques . Leur réticulation en présence de durcisseurs conduit à des matériaux thermodurcissables doués de propriétés particulières élargissant leur domaine d'application . Les propriétés physiques, mécaniques et électriques du réticulât dépendent des conditions du processus de réticulation de la résine. Par conséquent, l'étude cinétique de la réticulation est non seulement importante pour mieux comprendre la structure propre, mais elle donne aussi les éléments qui permettent d'optimiser les conditions de travail lors de la transformation. [7]

Les propriétés mécaniques des principaux types de matrices organiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau I.3. Caractéristiques moyennes des matrices thermodurcissables non renforcées[7]

	Masse spécifique (kg/m3)	**Module Elasticité (Gpa)**	**Résistance Traction (Mpa)**	**Module d'allongement Rupture (%)**	**Tenue à la Température en Continu (°C)**
Vinylester	1.1	3.4-3.5	70-85	2-5	100-140
Polyamide	1.4-1.5	4-20	30-40	<1	250-300
Polyester	1.2	2.9-3.1	50-60	2-3	120
Phénolique	1.3	3.8-7	50	1-1.5	120-150
Epoxyde	**1.1-1.4**	**3**	**50-120**	**3-8**	**150-200**

I.2.2 .Le sable

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5 mm. Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable.

Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées.

La composition du sable varie d'un endroit à l'autre selon la nature des roches. Dans l'industrie du verre, de la fonderie et d'autres domaines, le sable recherché est celui qui a une grande teneur en silice, un bon classement et des grains arrondis ou subarrondis : sont appelés sables siliceux ou sables industriels. **[8]**

I.2.2.1 Le sable siliceux

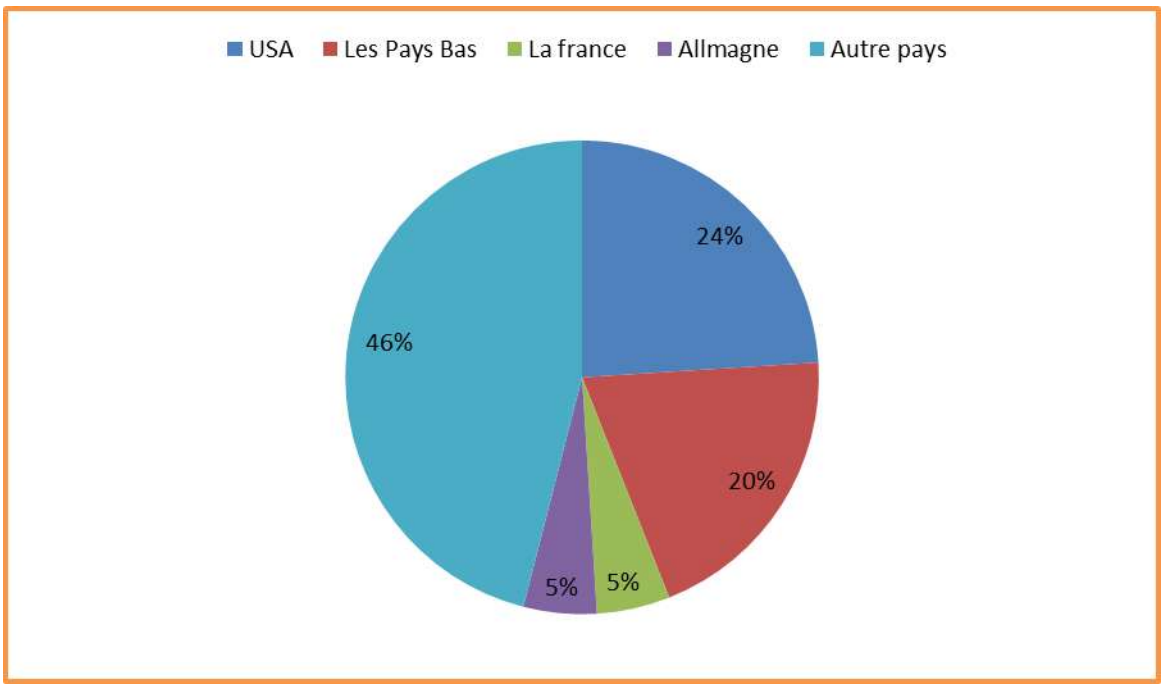
Pour les mortiers époxy et autre utilisation à besoin de gisements de sable qui possède une très haute teneur en silice dépassant 98 %, un bon classement, et des grains arrondis ou

subarrondis ; ces sables peuvent être lavés, traités, tamisés et purifiés pour répondre aux exigences des consommateurs.**[8]**

I.2.2.2 Le sable siliceux dans le monde

La production mondiale de sable siliceux pour l'industrie, de l'ordre de 120 Mt/an, est dominée par les USA (24%), les Pays-Bas (20%), la France, l'Allemagne et l'Autriche produisant environ 5% chacun,une trentaine de pays ont une production supérieure à 1 Mt/ an.

Les réserves mondiales sont importantes et représentent plus d'un siècle au rythme de production actuelle.



FigureI.1. La production mondiale de sable siliceux [8]

I.2.2.3 Le sable siliceux en Algérie

On trouve en Algérie des gisements importants de matériaux siliceux, notamment dans l'ouest du pays, où ils sont liés aux dépôts de sables éoliens. Ce sont surtout ces gisements qui sont exploités pour la production du verre.**[8]**

I.2.2.4 La production algérienne

La production de sable siliceux, en Algérie, est assurée par 12 sablières, dont 6 relèvent du secteur privé, reparties sur 08 wilayas.

En 2008, la production a atteint 498 035 tonnes. Le secteur privé domine cette activité avec 341 048 tonnes, soit un taux de 68,4%.

A ce jour, au niveau du cadastre minier, 53 titres miniers en vigueur sont enregistrés pour le sable siliceux, 51 titres miniers concernent l'exploitation et deux pour la prospection, répartis sur 22 wilayas.**[8]**

I.2.2.5 Applications du sable siliceux:[8]

- Pépinières
- Mise en place de gazon artificiel
- Pour les chats
- Fabrication de verre
- Filtres à eau de piscines, central thermique, etc..
- Installations sportives comme les terrains de golf, football, tennis, etc…
- Formulation de détergents et peintures.
- Fabrication de béton, ciment, additifs spéciaux, pour une utilisation courante en maçonnerie.
- Sablage.
- Elaboration de résine, époxy et polymères.
- Revêtement de sol équestres, piste, carrière.
- Usines de traitement des eaux.
- Revêtements.

I.2.3 Les granulats lèges

Les granulats légers sont des matériaux poreux. Avant de présenter ces matériaux, nous allons définir deux grandeurs qui caractérisent leur légèreté :

les granulats utilisés dans le domaine de la construction peuvent être subdivisés en trois catégories :**[9]**

- le granulat courant : granulat minéral et granulaire ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle comprise entre 2 000 et 3 000 kg/m3 ;
- le granulat lourd : granulat minéral et granulaire ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle supérieure ou égale à 3 000 kg/m3.
- le granulat léger : granulat d'origine minérale ayant après séchage à l'étuve, une masse volumique réelle inférieure ou égale à 2 000 kg/m3 ;
- Il existe deux familles de granulats légers :
- le granulat léger naturel qui ne subit aucune transformation autre que mécanique. C'est par exemple le granulat de pierre ponce, de diatomite de tufs volcaniques etc;
- le granulat léger artificiel résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autre. C'est par exemple le granulat d'argile expansée, de schiste expansé, de cendre volante frittée etc.

I.2.3.1 Le liège expansée

I.2.3.1.1Historique

Le liège est un matériau vivant et naturel, provenant d'une variété de chêne-liège qui reconstitue son écorce dés quelle est prélevée chaque année. L'arbre produit une épaisseur de liège variant de 1 à 10 mm selon l'âge déjà acquis par l'écorce elle-même. Chaque accroissement annuel est séparé du précédent par une ligne brune bien déterminée. Du point de vue thermique et acoustique le liège est un très mauvais conducteur. Sa première utilisation en tant qu'isotherme remonte très tôt dans l'Antiquité dans la fabrication de ruchers. En ce qui concerne sa place dans la construction, on retrouve quelques traces des premiers emplois comme isolant thermique, parmi les populations primitives d'Afrique du Nord qui l'utilisaient en plaque et mélangé avec de l'argile pour la construction des murs de leurs habitations. L'habitat naturel du chêne-liège est le pourtour du bassin méditerrané occidental (présent depuis plus de 60 millions d'années). L'aire naturelle de la subéraie mondiale est d'environ 2687000 hectares repartis principalement sur sept pays (Figure I.2). Les principales subéraies algériennes sont situées essentiellement en zone sub-humide au nord, et entre l'Algérois et la frontière Tunisienne, ou elles s'étendent de la mer jusqu'à 1200 m d'altitude.**[10]**

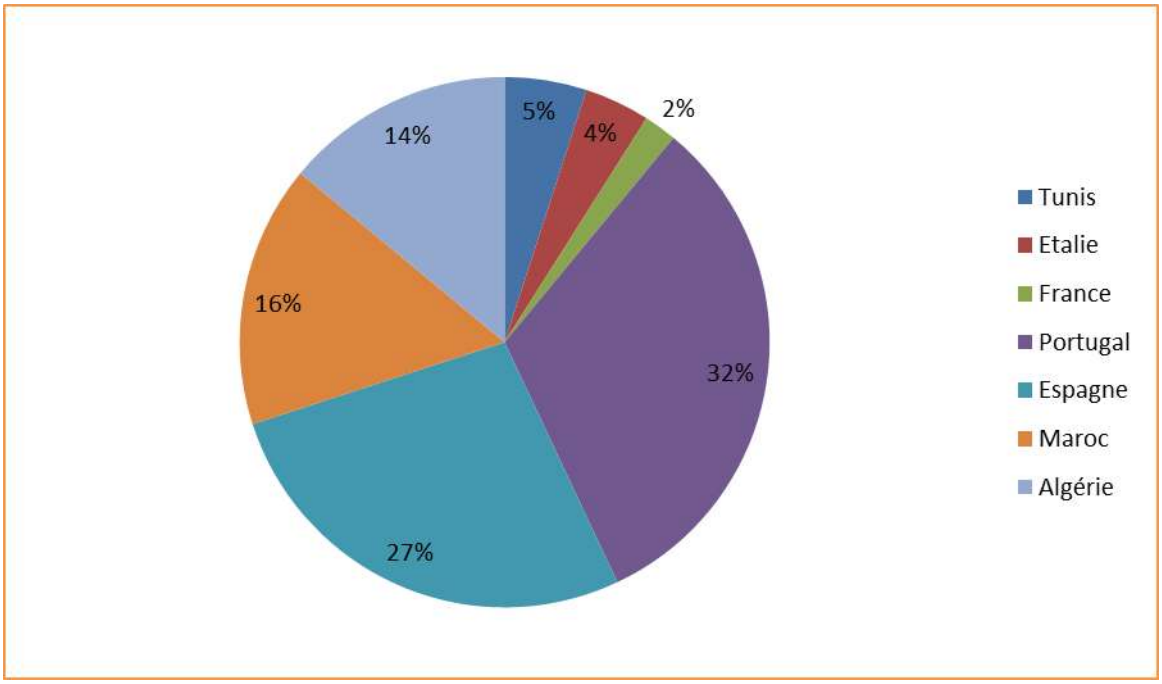


Figure I.2.Répartition mondiale des subéraies

I.2.3.1.2Structure alvéolaire du liège

L'assise génératrice cambiale du chêne liège donne naissance vers l'intérieur à un bois très dur, riche en larges rayons ligneux, pauvre en zone poreuse et en vaisseaux, et vers l'extérieur, à un liber mince et riche en tanin. Entre liber et liège fonctionne une seconde assise génératrice externe, subero-phellodermique, donnant vers l'extérieur, un tissu élastique mort, assurant le rôle de protection **[10]** :

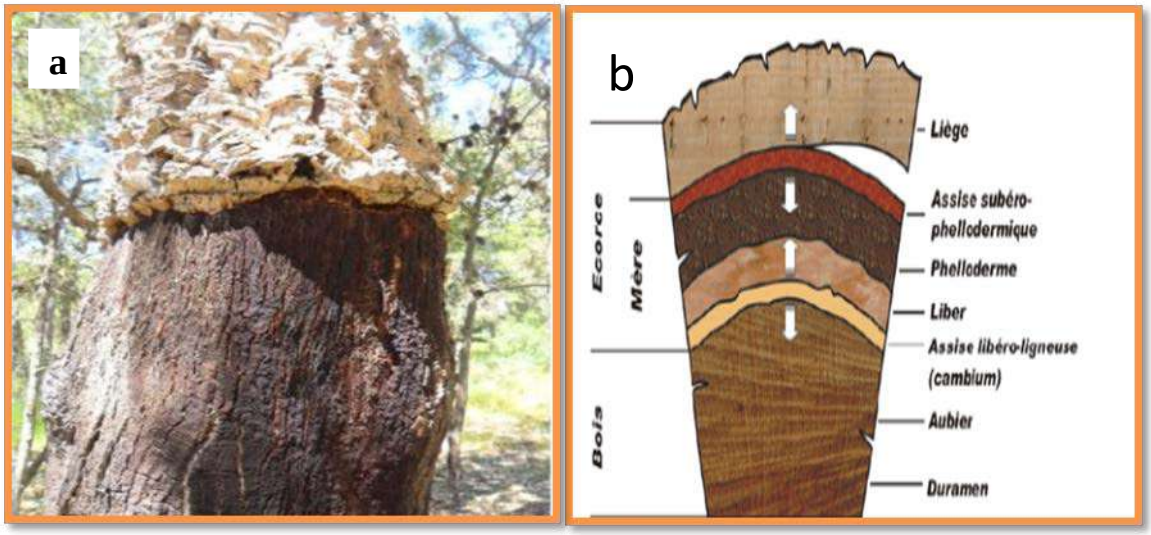


Figure I.3. Structure et composition du liège

Le liège est un tissu végétal composé de micro cellules, ayant en général une forme polyhydrique. Si on l'examine au microscope, nous avons l'impression de regarder un gâteau de miel (Figure I.4).**[10]**

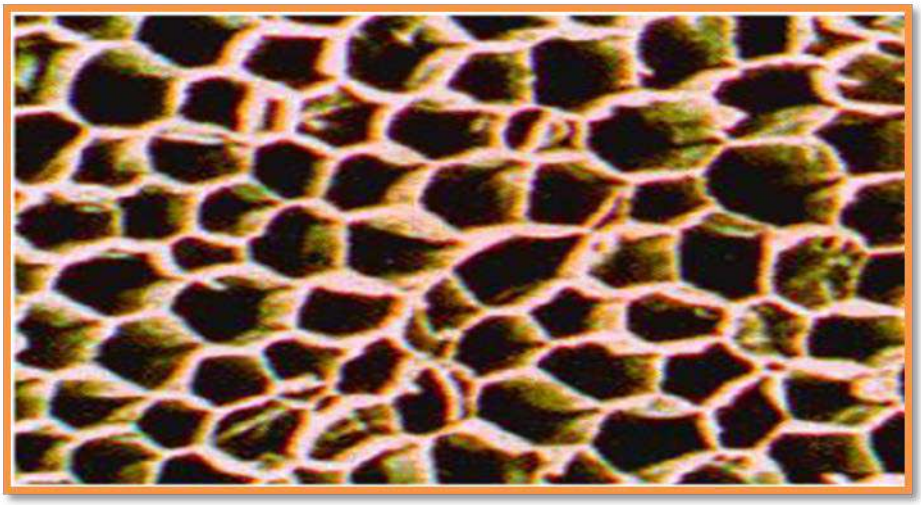


Figure I.4. Structure microscopique du liège

.

On estime que 1 cm3 de liège comporte entre 15 et 40 millions de cellules qui sont disposées en rangées régulières. En coupe transversale elles présentent un contour polygonal. Les parois séparant les cellules sont minces (Figure I.5),

légèrement aplaties dont les dimensions sont de l'ordre de 20 à 30 mm, elles semblent composées de cinq feuillets, deux internes de nature cellulosique, une intermédiaire lignifié, et deux externes subérifiés .

Le tissu subéreux est traversé radialement par des lenticelles qui sont des pores remplis de cellules riches en tannins et à forte lignification. Les lenticelles sont perméables aux gaz et aux liquides et elles sont souvent envahies de micro-organismes saprophytes. Ces parois ayant une épaisseur de 1 à 2 millièmes de mm, sont remplis de gaz d'une composition proche de l'air mais plus faible en CO2.Ce gaz comprimé hermétiquement par des parois souples explique les qualités mécaniques et physiques du liège.**[10]**

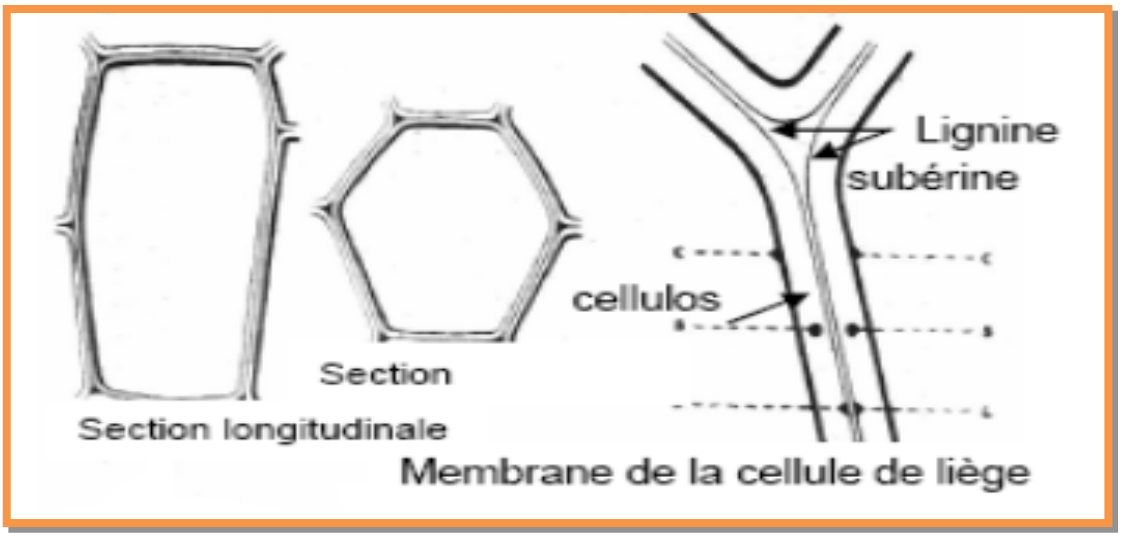


Figure I.5. Formation du liège

I.2.3.1.3 Composition chimique

TableauI.4. Pourcentages massiques des différents constituants du liège [11]

Liège naturel	Constituants(%)
Subérine	45-46
Lignine	24-25
Polysaccharides	10-12
Extractible	8-10
Cendre	3-5
Cires	4-6
Tannins	3-5
autres	2-3

I.2.3.1.4 Préparation du liège

L'organigramme suivant présente le cycle de production du liège :

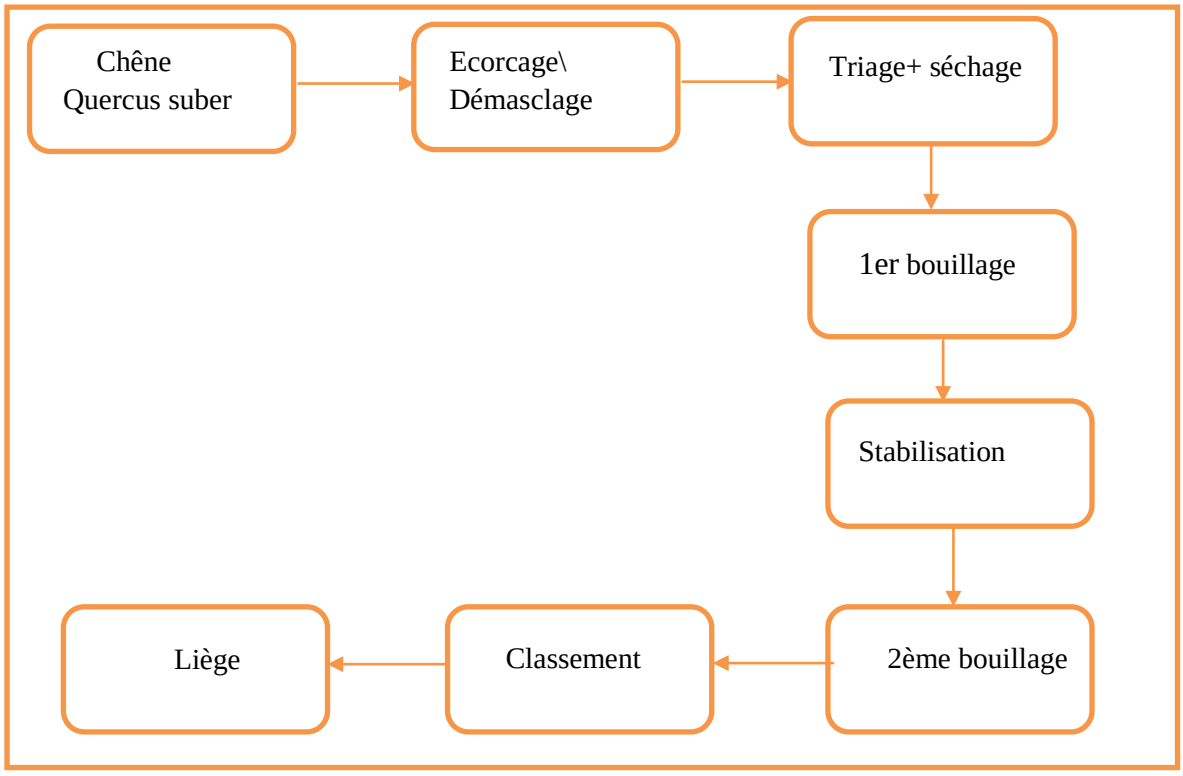


Figure I.6. Le cycle de production du liège [10]

I.2.3.1.5 Propriétés du liège

Le liège a des plusieurs Propriétés **[10]**:

-Elasticité-Compressibilité Souplesse ,Il est comprimé rapidement dans sa limite élastique, et prend presque instantanément 85 % de son volume initial,

- Légèreté ,sa faible densité est variable avec la qualité du liège

- Adhérence, elle est permise par la force d'expansion d'une matière élastique et par la présence de micro ventouses.

- Imperméabilité, qui est due non seulement à la contre-pression exercée par le gaz des cellules, mais aussi à la présence dans les membranes du liège d'une forte proportion de substances grasses (subérine, cerné, ...). Le liège absorbé moins de 18 à 20 % d'eau si son volume augmente (au bouillage),), résultant essentiellement de la dilatation des gaz contenus dans ces cellules

-Durabilité ,Du fait de sa faible perméabilité il résiste aux agents extérieurs

-Faible conductivité phonique et thermique, . La conductibilité thermique interne du liège en planche est de 0.2963 W/m. K,

- Mauvaise combustibilité car il lui faut beaucoup d'oxygène pour brûler. De plus il carbonise en surface et cette couche empêche la propagation du feu

Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés(Arg) et de cendres volantes frittées (Cv), granulats du liège 4/8 mm, densité apparente dans la figure suivante.**[11]**

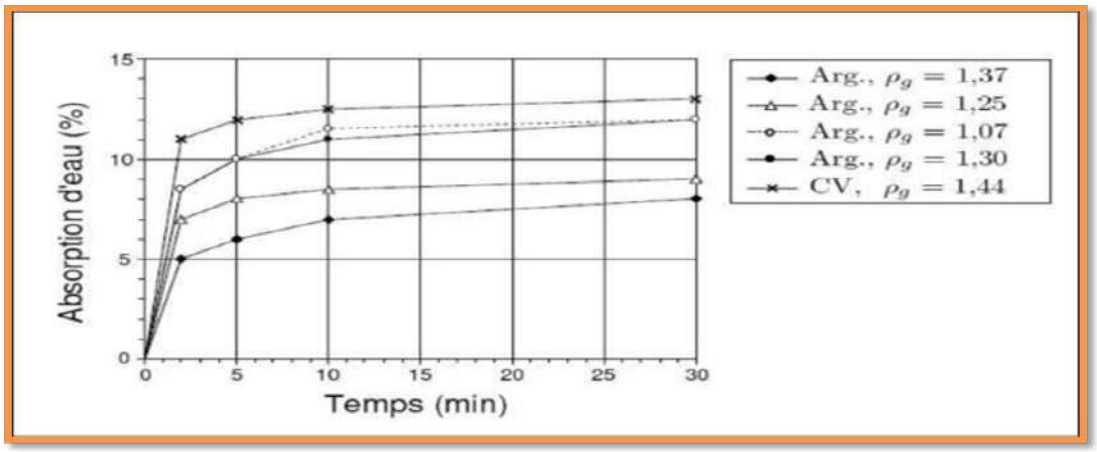


Figure I.6. Le cycle de production du liège [10]

Avec l'ajout de liège, une chute très rapide de résistance en traction du béton témoin (T) présente 57 % pour le BL 3/8-1 et 55 % pour BL 8/15-1, dans l'environnement de l'eau, La figure suivante présente l'évolution de la résistance à la traction à 28 jours en fonction de rapport VL/V.

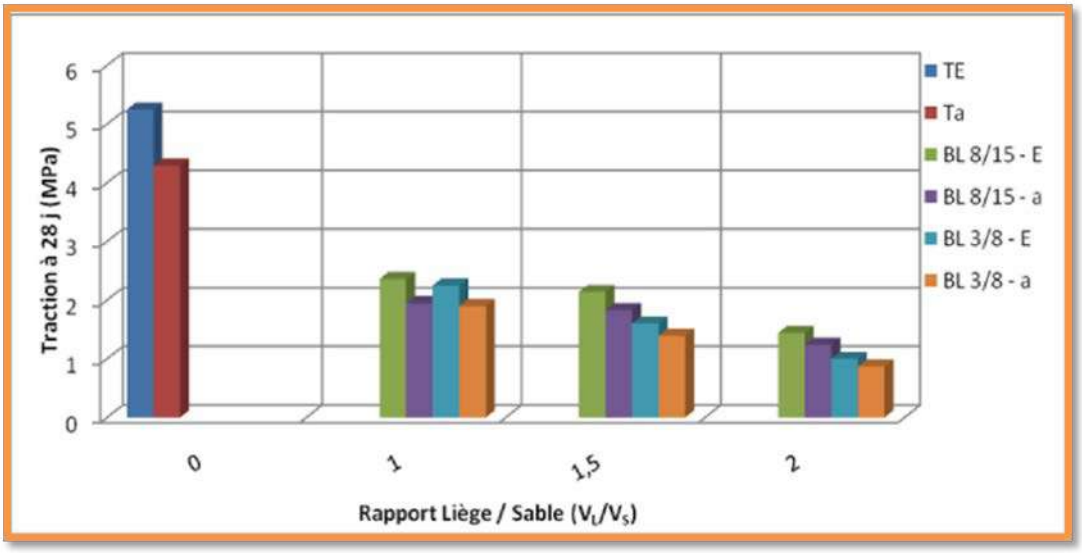


Figure I.8. Evolution de la résistance à la traction à 28 jours [12]

La résistance à la traction diminue lorsque la masse volumique du béton diminue, ceci est tout à fait logique car la résistance à la traction est, comme pour les bétons classiques, une fonction croissante de la masse volumique[12]

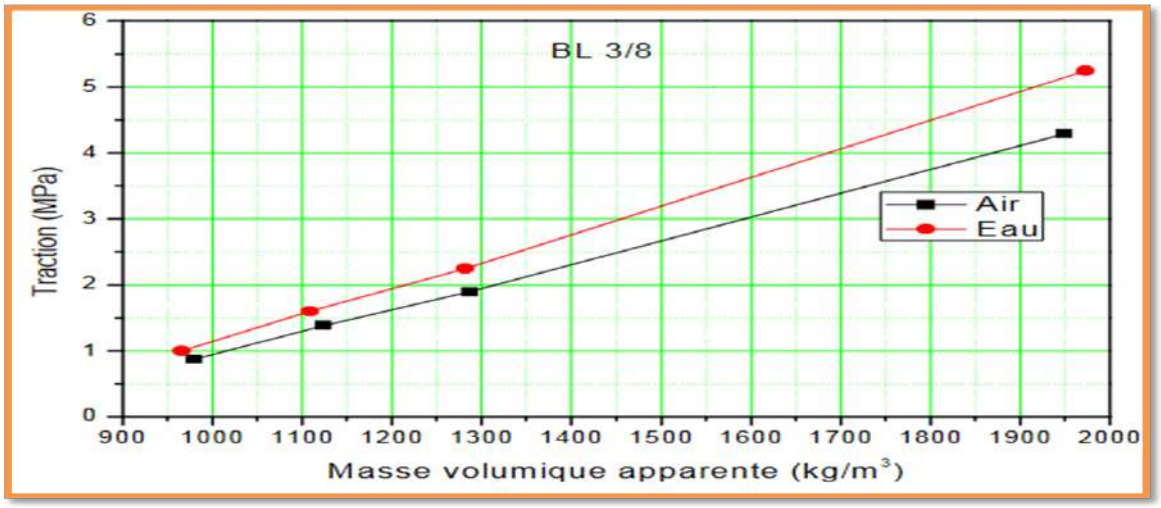


Figure I.9. La résistance en traction en fonction de la masse volumique apparente[12]

I.2.3.1.6 les principaux domaines d'utilisations du liège

les principaux domaines d′ utilisations du liège cite dans le tableaux sous dessous **:**

TableauI.5.les principaux domaines d′ utilisations du liège**[10]**

Domaine	**Description**	**Propriété**
Cristallerie	Ponçage au liège	Abrasive du liége
Construction	Ponçage de marbre, granite isolation d'espaces restreints isolation thermique , phonique	Produite abrasif Encombrement réduite Pouvoir retardant au fau
Construction navale	Gaines de ventilation Revêtements avec caoutchouc	Isolant thermique Imputrescible Antidérapant
Aérospatiale	Isolation épaisseur 3-15mm	Ecran thermique
Nucléaire	Capsule a isotope radioactif	Doublage contre choc
Mécanique	Jauge de flottaison Joints mixtes avec caoutchouc Joints d ′étanchéité	Flottabilité ,résistance aux Agents chimiques Elasticité Compressibilité
Maroquinerie	Sacs, nécessaire de bureau ,portefeuilles	
Bouchage	Pharmacie , bouteille d huile ,tonneaux	
Loisirs	Balles ,joutes ,raquette de tamis jeu de fléchettes	

I.2.3.2 La diatomite

I.2.3.2.1 Origine de la diatomite

Utilisées depuis l'Antiquité comme adjuvant minéral dans certaines poteries ou dans la fabrication de briques légères, les terres à diatomées vont connaître un développement économique important à partir de la seconde moitié du XIXe siècle. À cette époque, les progrès techniques d'observation microscopique vont largement contribuer à une meilleure analyse des gisements de diatomite, permettant ainsi une meilleure prospection et des découvertes plus aisées de nouveaux gisements. De nouvelles applications vont rapidement apparaître et la technique de la calcination va permettre de créer de nouveaux produits utiles à l'industrie **.[13]**

I.2.3.2.2 Définition

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse biogénique, de couleur claire, légère et poreuse, meuble ou consolidée, constituée entièrement ou essentiellement de squelettes de diatomées fossilisés. Les termes "terre à diatomées" et "kieselguhr" sont synonymes de diatomite. "Diatomite argileuse" et "argile à diatomées" désignent des roches moins riches en diatomées. "Moler" (ou "terre de moler") est un nom accepté internationalement pour qualifier une diatomite argileuse d'origine danoise, pouvant contenir jusqu'à 30 % d'argiles smectitiques. Les termes "farine fossile", "silice fossile", "terre d'infusoires", "poudre à polir", tripolite", "poudre de tripoli", "farine de montagne", "ceyssatite" (de Ceyssat, Puy-de-Dôme) et "randannite" (de Randanne, Puy-de-Dôme), anciennement employés pour désigner des roches diatomitiques, sont à présent obsolètes.**[14]**

Les produits diatomitiques commercialisés sont de quatre types :

- diatomite naturelle (séchée, broyée et épurée)
- diatomite calcinée, dite "rose" ;
- diatomite calcinée en présence d'un fondant, ou activée, dite "blanche" ; - coproduit de fabrication (mélange de diatomite naturelle et d'impuretés).

Tableau I.6. Caractéristiques générales des adjuvants de filtration diatomitiques [14]

Type de produit	**Refus à 150mesh (%)**	**Diamètre moyen des pores (µm)**	**Perméabilité (Darcyé)**	**Humidité (%)**	**Ph**
Naturel	1-2	1,5-2,5	0,057-0,062	1-3	7-8
Calciné	2-7	2,5-5	0,068-0,53	0,5-1	7
Activé	6-40	7-22	1,2-30	0,1	10

Les gisements de diatomite sont principalement classés en deux catégories**[14]**:

- Gisements marins: lies à des zones côtières en relation avec des mécanismes de remontées de courants froids et de nutriments ,
- Gisements continentaux: associes à des dépressions topographiques essentiellement lacustres plus ou moins étendues et souvent en contexte volcanique (maar, cratère, lac de barrage associé à une coulée de lave.

D'après Breese et Bodycomb (2006), Renaudie (2006) et Pellegrino et al. (2018)LesPrincipaux gisements de diatomite dans le monde**[14]**:

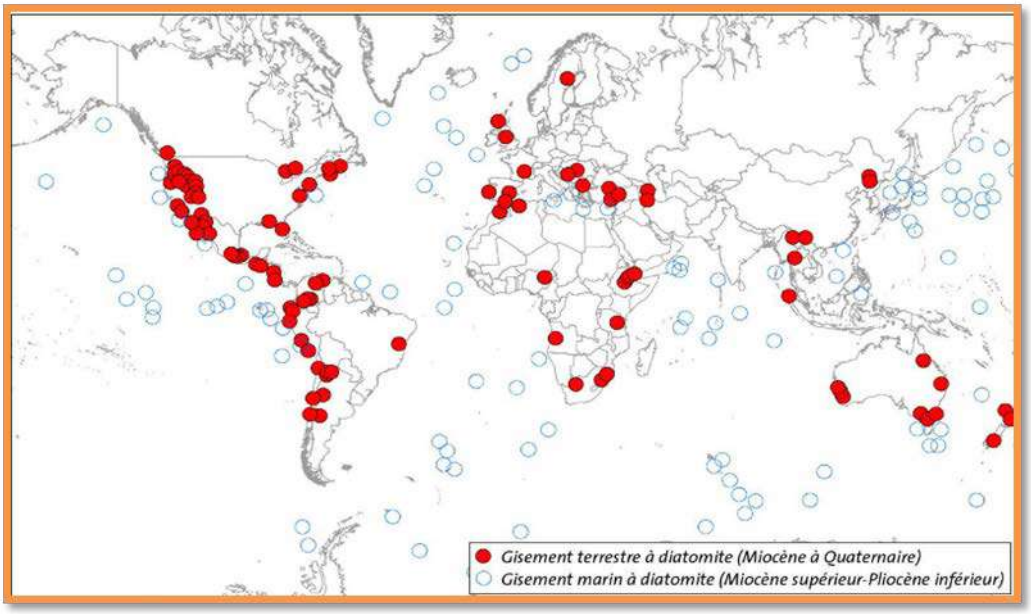


Figure I.10. Principaux gisements de diatomite dans le monde[14]

I.2.3.2.3 Les phases de traitement de la diatomite

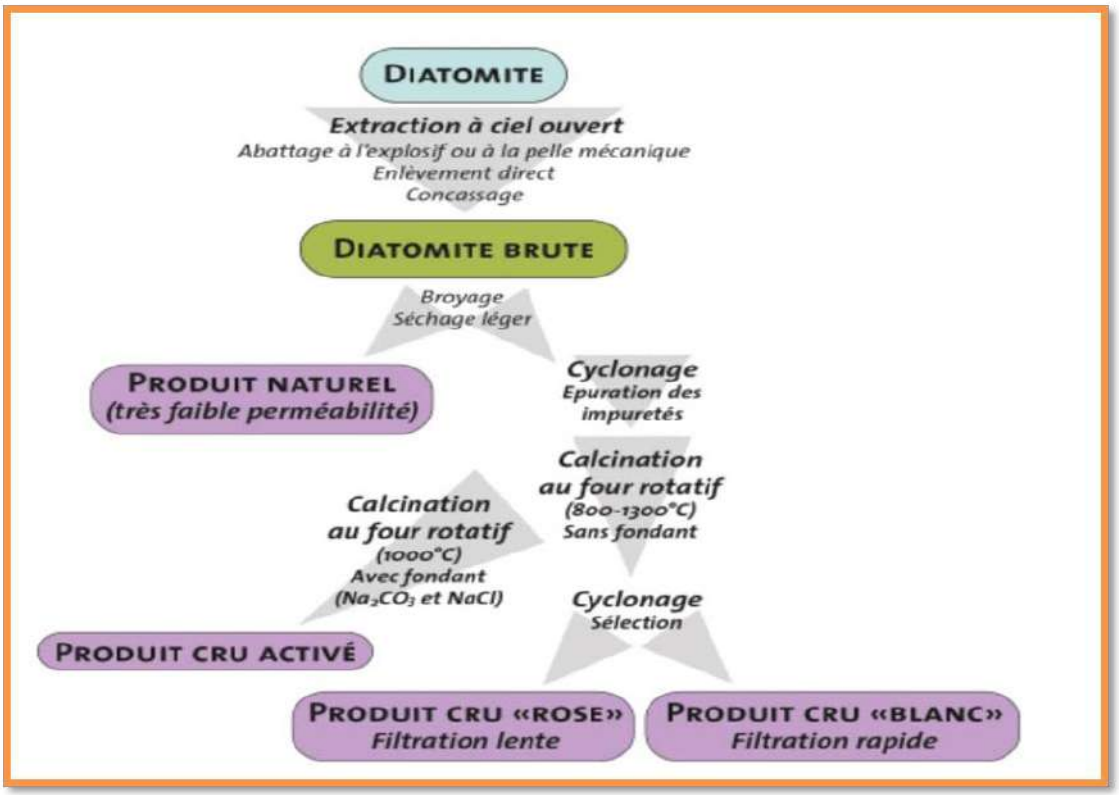


Figure I.11. Les principales phases de traitement de la diatomite [14]

I.2.3.2.3 Les propriétés du diatomite

cette structure confère aux produits diatomitiques les propriétés suivantes**[13]:**

- densité apparente faible : généralement comprise entre 0,08 et 0,50 à l'état sec
- porosité élevée : (volume des pores -espaces inter- et interstices intrafrustules- de l'ordre de 85-95 %
- faible conductivité thermique : 0,07àO,2kcal/m-h-°C
- grande surface spécifique : pouvant varier de 3 à 38 m2/g selon les types de produits
- forte capacité d'absorption des liquides :jusqu'à 3 à 4,5 fois son propre poids
- dureté (échelle de Mohr) : 4,5 à 6,0 en particules et 1,5 en masse, d'où un pouvoir faiblement abrasif.

Tableau I.7.les propriétés hygrothermiques des matériaux [15]

Paramètres	ρs **[Kg/m³]**	**Cp [J/Kg K]**	λ **[W/m k]**	**[Kg/MPa] $\times 10^{-3}$ s**
Diatomite	650	1436	0,097	0,00295
Air	1,23	1006,43	0,026	0,0562
Brique	1600	840	0,682	0,0026
Mortier	230	920	0,6	0,000385
EPS	20	1500	0,04	0,000187

Ou: $[Kgm3]$/est la densité des matériaux.

$[JKgK]$/est la capacité thermique.

$[WmK]$/est la conductivité thermique.

$[Kg/(msPa)]$est la perméabilité.

I.2.3.2.4 Influence de la performance des matériaux sur la chaleur et l'humidité

L'influence de la performance hygroscopique de deux matériaux hygroscopique sur la chaleur et l'humidité dans la paroi sous les conditions climatiques de la ville de Tlemcen est analysée et comparée pendant24 heures (Figure I.12) **[15]**

Comme la montre la figureI.12, il existe une différence évidente de la fluctuation de la température et de l'humidité relative à la surface intérieure de la paroi avec isolation et sans isolation. Les deux matériaux ont la capabilité de stabiliser la température et l'humidité relative, une petite différence est remarquée entre le EPS et la diatomite due aux caractéristiques hygroscopique et thermique pour chaque matériaux.L'écart des deux variantes pour les deux matériaux isolants est calculé, on trouve que la température pour le EPS varie par un écart de 2.3 °C, et pour la diatomite varie par 2.5 °C, pour l'humidité relative on trouve un écart de 0.072 pour le EPS et 0.07 pour la diatomite.[**15]**

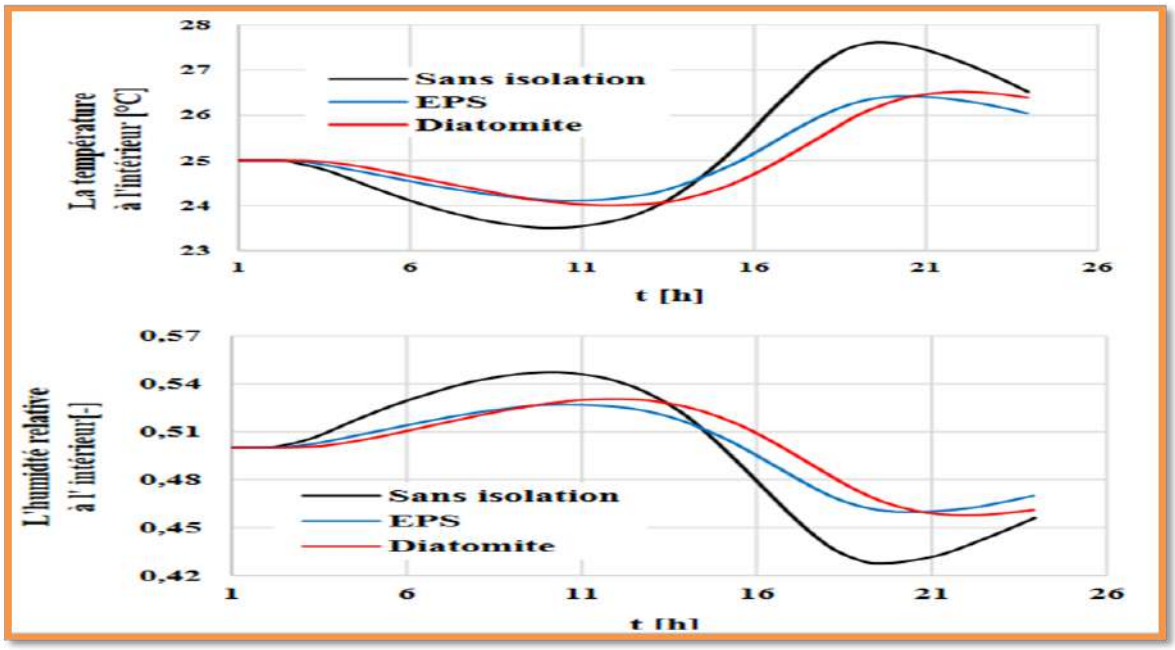


Figure I.12. La variation temporaire de la température et de l'humidité relative à la surface intérieure du mur [15]

I.3. Propriétés des mortiers résineux à l'état durci :

I.1.2.1.Effet de la résine époxy :

a. Résistance à la traction par flexion:

[Jung et al] montré dans une étude avec 20% de résine époxy dans mortier à une résistance à la traction par flexion relativement élevée de 21,72 MPa **[5] [16]** .

[Golestaneh]ont formulés des mortiers résineux à base d'époxy .La résistance à la traction par flexion a 20% de résine et 200% de charge. Pour cet échantillon, la résistance à la traction par flexion sont respectivement 22,5 et 16,2MPa.**[5] [17]**.

[Elalaoui .]Ont étudié l'optimisation de formulation d'un mortier de résine époxy à 7 jours, la résistance maximale à traction par flexion obtenue pour un pourcentage de polymère égal à 13% est de 26 MPa .**[5] [18]**.

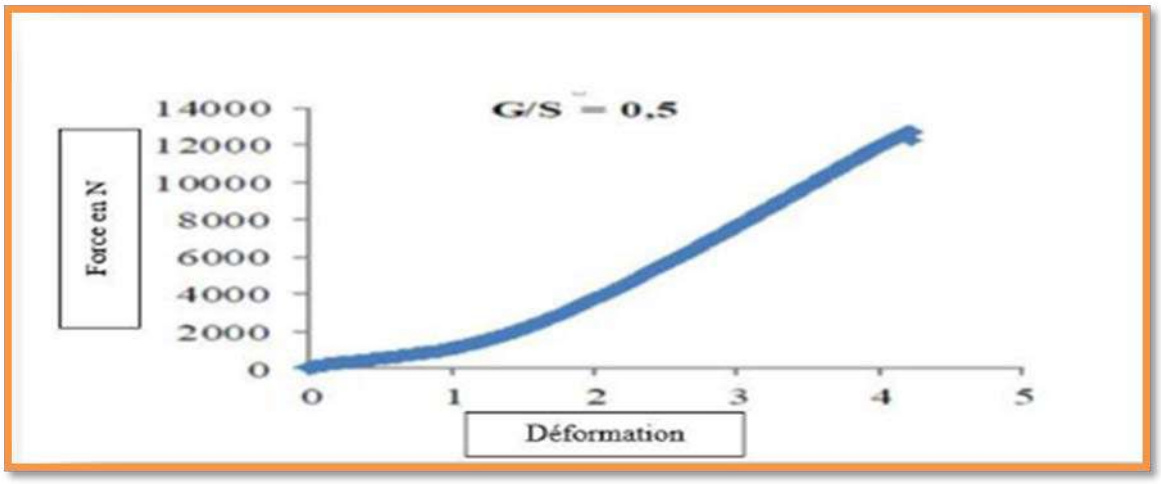


Figure I.13. courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en traction par flexion[5]

b.Résistance à la compression:

Le dosage optimal de la résine pour maximiser la résistance mécanique propriétés ont donné des résultats différents en fonction du type spécifique de résine et d'agrégat utilisés. On observe qu'initialement, la force augmente avec l'augmentation du dosage de résine, mais, après avoir atteint le sommet, le même diminue ou reste inchangé avec une nouvelle augmentation de la teneur en résine. Les résines époxy offrent une meilleure résistance mécanique que le polyester, l'ester vinylique, le furanne et le méthacrylate résinent, mais leur coût inhérent est élevé**. [5]**

propriétés du mortier polyester peuvent également être améliorées au niveau du mortier époxy par addition de micro-charges et agents de couplage au silane. Le dosage de la résine rapportée par divers auteurs se situe pour la plupart dans la gamme des 10 à 20% en poids de mortier polymère. Dosage plus élevé de résine est recommandé lors de l'utilisation d'agrégats fins, en raison de la grande surface de ces matériaux. Plus des chercheurs ont rapporté la force maximale pour la résine dosage compris entre 12 et 16% en poids de mortier polymère. [Haider et al.11] Le pourcentage du liant (Résine époxy +durcisseur) varie entre 5 et 13% en masse. Les résultats des essais de compression sont présentés dans la figure**[5].**

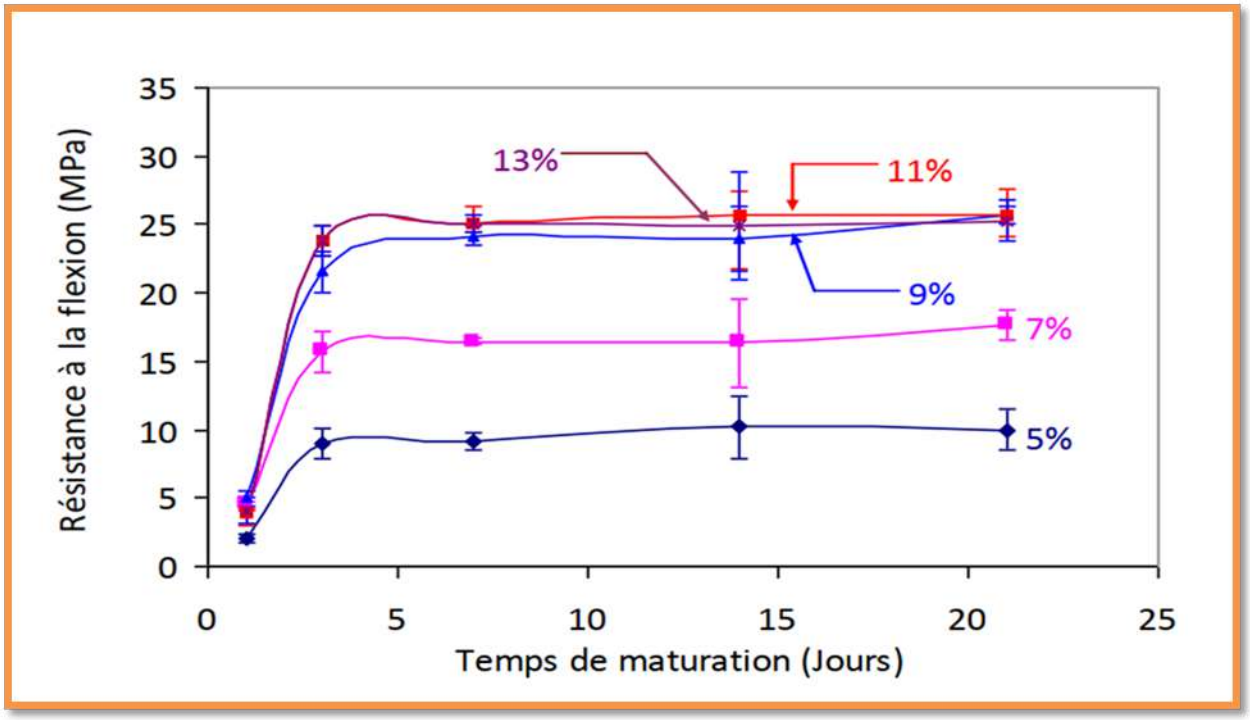


Figure I.14.effet du temps de maturation sur la résistance à la compression[4]

2.Résistance aux milieux agressifs

a.Résistance à la traction par flexion

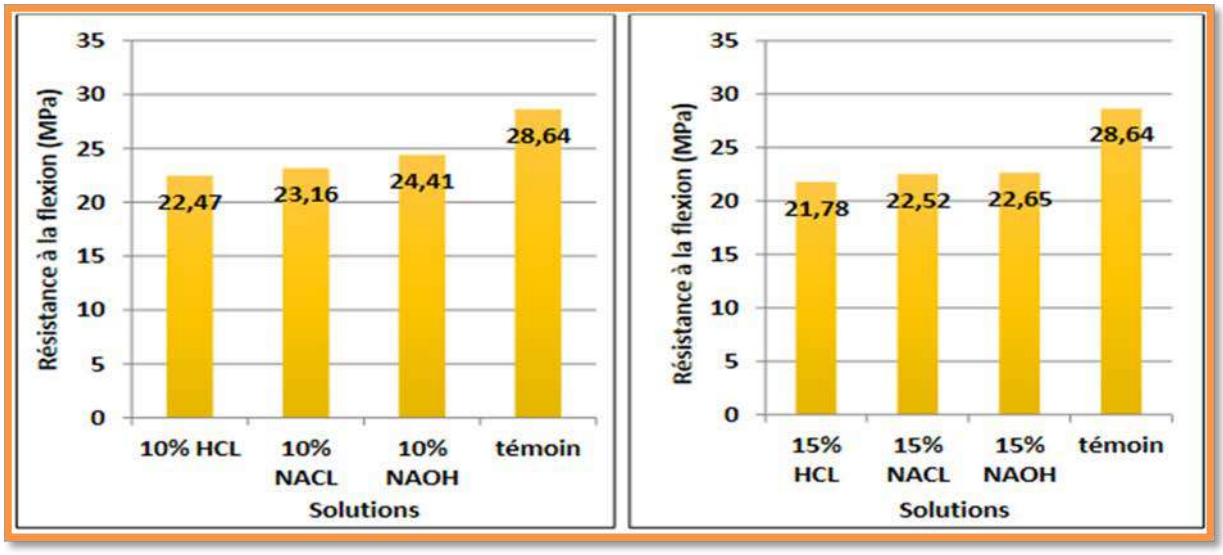


Figure I.15.contrainte de flexion en fonction des solutions de 10% et 15% (HCL, NACL, NAOH) mortier résineux[5]

la diminution est lié à lixiviation de la pâte de mortier engendré par la présence de produit chimique (HCL, NACL, NAOH) ce qui provoque un déchaussement de granulats. Et La résistance a la flexion de MR est de 28.64MPA tandis que le mortier de ciment sa résistance de flexion est de 7.6MPA.

b-Résistance à la compression

La résistance a la compression de MR est de 85.56MPA tandis que le mortier de ciment sa résistance de compression est de 34.5MPA

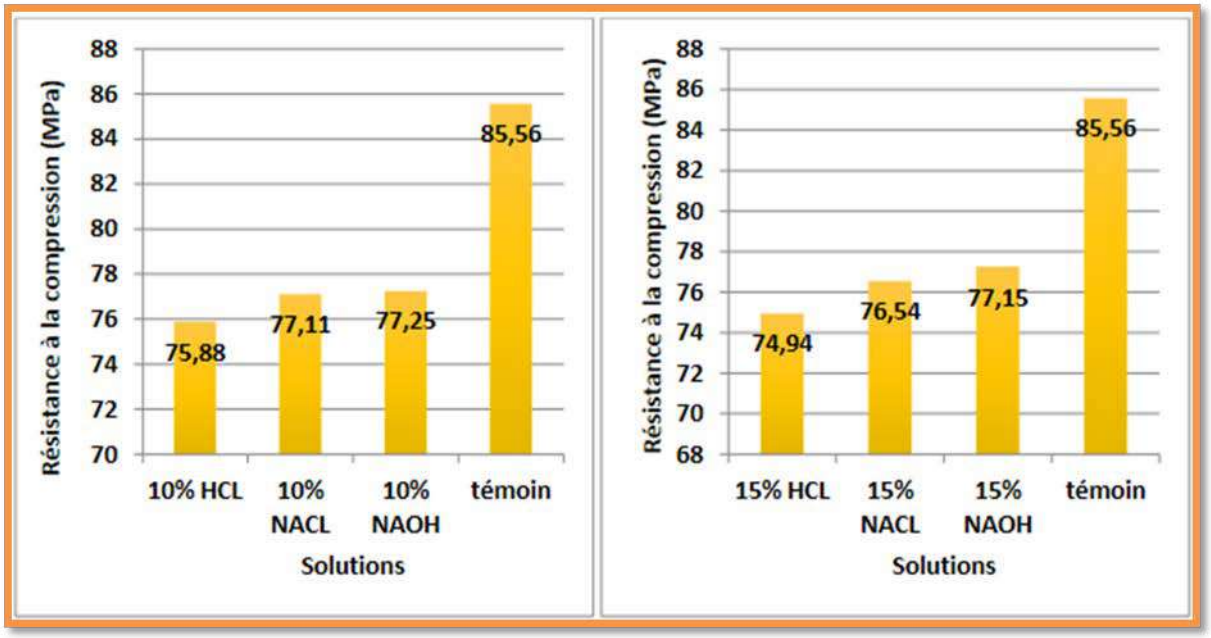


Figure I.16.contrainte de compression en fonction des solutions de 10% et 15% (HCL, NaCL ,NAOH) mortier résineux[5].

Conclusion

Dans ce chapitre, une vision globale sur les mortiers résineux a été donnée à travers leurs définitions, leurs types et classes ainsi ses composantes.

Dans notre études on a choisir les granulats légers de diatomite et liège expansé qu'on peut les trouvés dans notre pays.

II.1.Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous présentons les caractéristiques des matériaux utilisés, pour étudier le comportement physico-mécanique et les propriétés thermiques, ainsi des approches de durabilité d'un mortier résineux à base des granulats lèges.De plus on décrira également les techniques d'élaboration utilisées pour la réalisation de ce mortier derésine.

II.2.Programme expérimental

II.2.1.Matériaux utilisées

II.2.1.1.Le liant

Le liant utilisé dans cette étude est l'époxyde Protop1000,il contient deux composantes(71% résine, 29% durcisseur).Selon la fiche technique, ce type de résine est un composant sans solvant et utilisé comme liant universel.



Figure II.1: Epoxy Protop 1000

II.2.1.1.1.La résine

La résine époxyde est de type bisphénol Epichlorhydrine ayant un indice d'époxyde de 2.6 et contenant une charge siliceuse.

II.2.1.1. 2.Le durcisseur

Le durcisseur (m-xylendiamine,isophoronediamine) est ajouté pour l'obtenir le système thermodurcissable.



Figure II.2 :Résine époxy :,a:dursesseur ,b:résine

II.2.1.2.Les granulats

II.2.1.2.1.Le sable

Le sable utilisé pour toutes les formulations de cette étude, c'est le sable de silice roulé figure II.3, qui provient de la localité de Tébessa. La granulométrie et les caractéristiques physiques du sable sont données dans la figure II.4 et le

tableau II.1.



Figure II.3: Silice traité fin (0.063-0.63)mm

TableauII.1.Les propriétés du sable utilisé

Caractéristique	Silice traité fin	Normes
Module de finesse %	0.9	NF EN 933-1
Masse volumique absolue (g /cm³)	1	NF EN 1097-6
Masse volumique apparent (g/cm³)	1.42	NF EN 1097-3
Porosité %	42	NF EN 1097-3
ESP %	95.1	NF EN 933-8
Absorption %	33.33	NFP18-555

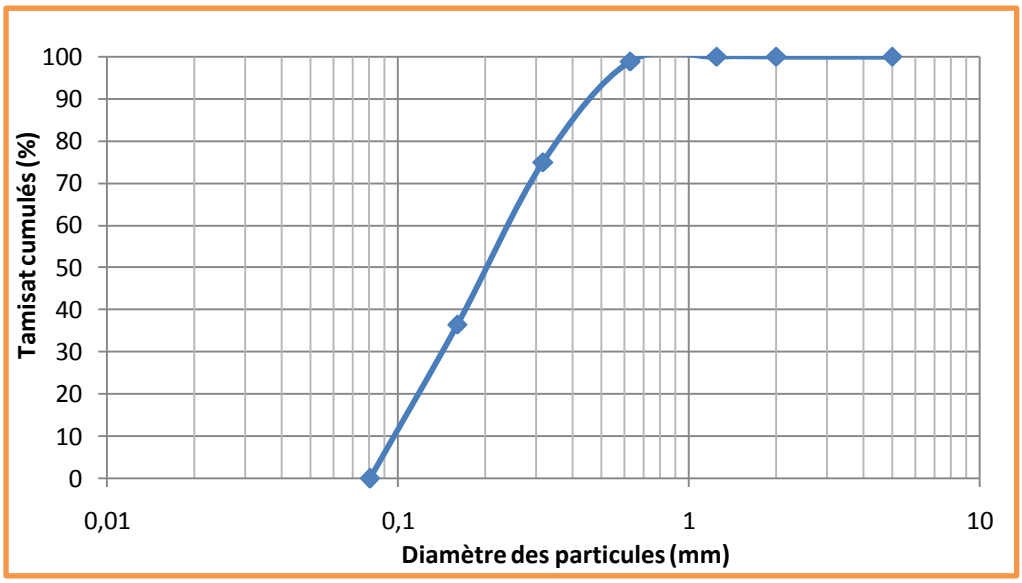


Figure II.4 : Analyse granulométrique de silice fin.

II.2.1.2.2.Les granulats lèges

1) Le liège expansé

Le granulats de liège utilisé dans notre étude,il été fournis par la société JLE EPE Jijel liège étanchéité SPA, son siège social et son unité de production sont situés au niveau de la route de Bejaïa BP Jijel 18000 Algérie. Ce type de granulat est obtenu à partir des chaines de lièges, en passant par le concassement de celles-ci et puis le liège est torréfié dans des autos claves vers 350°c sa densité sèche varie entre 65 et 140 kg/m³ Figure II.5.

La granulométrie et les caractéristiques physique du Liège expansé sont données dans la figure II.6 etle tableau II.4.



Figure II.5 : Liège de Jijel expansé.

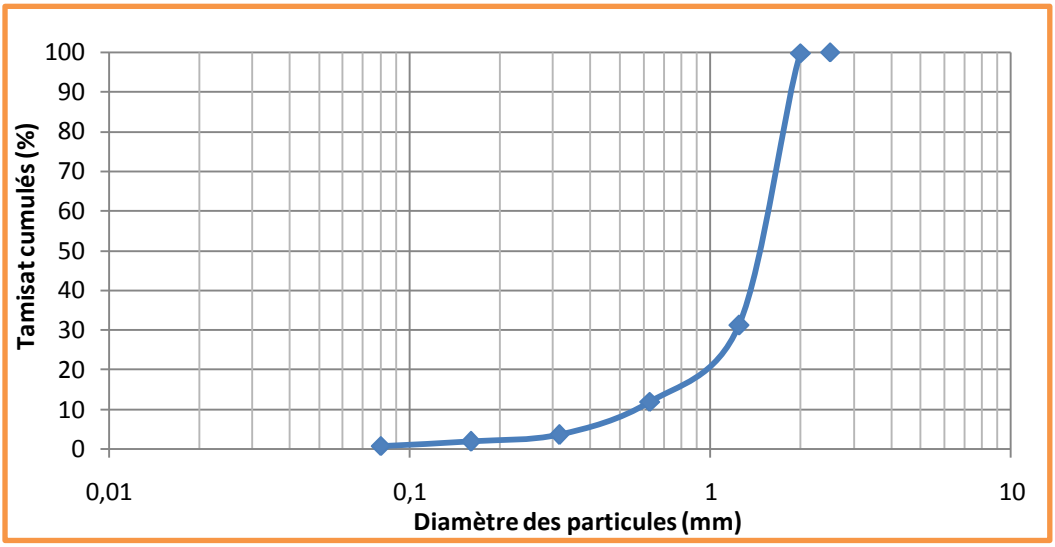


Figure II.6 : Analyse granulométrique de liège .

2) La diatomite

la diatomite (Kieselguhr) naturelle algérienne provenant du ENOF (entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles)de Sig-wilaya de Mascara.

Le tableau II.2 représente les composantes chimiques de la fiche technique de diatomite de Sig et le tableau II.3 Les composante chimique obtenue à laboratoire du cimenterie Meftah:

Tableau II.2 : Composante chimique du diatomite (ENOF de Sig).

composantes chimique	**SiO_4**	**AL_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**TiO_2**	**K_2O**	**Na_2O**	**P_2O_5**	**PAF**
pourcentage%	77,9	3,25	1,27	5,82	1,09	0,20	0,61	0,25	0,13	9,34

Tableau II.3 : Composante chimique du diatomite(Cimenterie de Meftah).

composantes chimique	**SiO_4**	**AL_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**K_2O**	**Na_2O**	**PAF**	**TOT**
pourcentage%	56,46	2,08	1,2	12,67	1,71	0	0,51	0	19,88	94,51



Figure II.7 : La diatomite.

Tableau II.4: Caractéristiques physique de liège et diatomite.

Caractéristique	liège	diatomite	Normes
Module de finesse %	0.9	-	NF EN 933-1
Masse volumique absolue (g /cm3)	0.06	0.34	NF EN 1097-6
Masse volumique apparent (g/cm3)	0.99	1	NF EN 1097-3
Porosité %	94	66	NF EN 1097-3
Propreté %	-	98.14	NF EN 933-8
Absorption %	36	60	NFP18-555
PH	-	7	-
SSB (cm^2/g)	-	3292.71	NF EN 196-6

II.2.2. Mode de préparation du mortier de résine

II.2.2.1 La procédure de formulation

Avant de présenter la procédure de formulation, nous exposons les désignations utilisés. Alors, les différents mélanges de mortier avec ou sans granulats légers sontdésignés de la façon suivante :

MT: Mortier témoin 100% sable.

M20D: Mortier a de 20% diatomite.

M60D: Mortier a de 60% diatomite.

MD: Mortier a de 100% diatomite(0% de sable).

M20L: Mortier a de 20%liège.

M40L: Mortier a de 40% liège.

M60L: Mortier a de 60%liège.

M80L: Mortier a de 80% liège.

ML: Mortier a de 100% liège(0% de sable).

Pour éclaircir, le matériau élaboré, c'est un composite à deux phases, constitué de résine comme liant et sable (S) comme granulats.Les particules de la diatomite (DI) et les grains de liège expansé LE sont les granulats légers choisies pour la l'allègement du mortier. Par conséquent, nous commençant par la préparation du mortier de résine témoin correspondant à un dosage nul en granulats légers avec deux dosages en résine20% et 30%. Ensuite les granulats légers (DI, LE)sont ajoutés graduellement à des teneurs volumiques de 0, 20, 40, 60, 80, et 100%, séparément, donc nous avons commencéla substitution du sable par les particules de la diatomite , puis les grains de liège expansé.

Enfin, dans le but de savoir la possibilité de combiner les trois types de grains dans les mortiers résineux, nous avons optés les mélangés suivants: MD20LE40 ; MD30LE30 et MD40LE20.

Les compositions des différentes formulations des mortiers résineux sont regroupées dans les tableaux suivants:

Tableau II.5 : Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 20% époxy.

	Résine		Sable		Diatomite		Liège	
	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)
MT	20	180	100	720	-	-	-	-
MD20	20	180	80	576	20	144	-	-
MD100	20	180	-	-	100	720	-	-
ML20	20	180	80	576	-	-	20	144
ML100	20	180	-	-	-	-	100	720

Tableau II.6. Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 30% époxy.

	Résine		Sable		Diatomite		Liège	
	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)
MT	30	270	100	630	-	-	-	-
M20D	30	270	80	504	20	126	-	-
M60D	30	270	40	252	60	378	-	-
MD	30	270	-	-	100	630	-	-
M20L	30	270	80	504	-	-	20	126
M40L	30	270	60	378	-	-	40	252
M60L	30	270	40	252	-	-	60	378
M80L	30	270	20	126	-	-	80	504
ML	30	270	-	-	-	-	100	630
M20D40L	30	270	40	252	20	126	40	252
M30D30L	30	270	40	252	30	189	30	189
M40D20L	30	270	40	252	40	252	20	126

Pendant la préparation de nos mélanges,nous avons constatés que le mélange avec 100% diatomite à besoin de d'augmenté le taux de la résine époxy.Car il y a une perte de maniabilité, à causedes particules de diatomite qui absorbent la résine. Donc le pourcentage 20 et 30% sont insuffisants pour le mortier à 100% diatomite. Après plusieurs tentatives, le pourcentage 40% paru convenable pour enrober tous les particules DI. Le tableau II.6 présente la composition choisie.

Tableau II.7. Composition de mortiers pour 900 cm³ avec 40%époxy

	Résine		Sable		Diatomite	
	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)	(%)	(cm³)
MD	40	360	-	-	100	540

II.2.2.2 Equipement nécessaire

L'équipement nécessaire pour ce travail est :

- Une salle maintenue à une température ambiante;
- Une étuve maintenue à une température de 100 °C ± 5 °C ;
- Un agitateur ;
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de sectioncarrée (3 x 3x 12 cm);
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques

(2,5 x 1x 12 cm);

- Des moules normalisé permettant de réaliser 6 éprouvettes cubiques (3 x 3x 3 cm);
- Tasse gradué500 ml et des seringues de 20 ml pour la mesure des petites et grandes volumes ;
- Tamiseuse électrique ;
- Les tamis de différentes mailles en inox ;
- Agitatrice ;
- Cône et le récipient de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du granulat ;
- Eprouvettes,piston et la règle pour la mesure l équivalent de sable ;
- Pycnomètre et béchers en verre et en plastique graduées ;
- Spatules flexibles en acier inox ;
- Ruban adhésif en plastique et papier film.

Nous devons nous protéger pendant la préparation des mélanges ,car ils contient des produits toxiques et mauvaise pour la santé.

II.2.2.3 Mode de préparation des mortiers résineux

La procédure de malaxage pour tous les types de mortiers de résine est représentéedans letableau II.7.

Tableau II.8. Procédure de malaxage

L'opération	Durée	Etat de malaxeur
Sable + Granulats légers	-	-
malaxage	**30s**	**Vitesse lente**
Introductionde la résine +durcisseur	**30s**	
Malaxage	**120s**	**Vitesse moyenne**

Le processus de fabrication des mortiers de résine est conduit en respectant la méthodologie développé dans les travaux antérieurs de [M.HAIDAR](4) et [O.EL ALAOUI](16)**.**

Des étapes préliminaires sont nécessaires pour l'obtention d'un produit identique à lui même et pour minimiser l'effet des éléments liés à l'état et la qualité des matériaux entrant dans la composition du micro-béton de résine à fabriquer et aussi à la méthode de fabrication **(4).**

- **Étape 1 :**

Les granulats (sable, liège et diatomite) doivent être séchés à 105°C pour plus de 24 heures(Figure II.8), et larésine (durcisseur et pré-polymère époxy) doit être stockée12 mois en emballage fermé entre 15°C et40°C.Aussi le concassage de pierres de diatomite a l'aide des boules et le concasseur) machine Los Angles).



Figure II.8. Séchage des matériaux .



Figure II.9. Broyage de diatomite.

- **Etape 2**

Mélange du pré-polymère et du durcisseur en respectant les proportions massiques étudiées. Le malaxage se fait à l'aide d'un agitateur.



Figure II.10. Malaxage de résine(durcisseur et époxy).

- **Etapes 3**

On mélange les granulats à l'état sec dans un récipient tout en respectant le dosage des constituants étudiés.



Figure II.11. Les mélanges à l'état sec.

- **Etape 4**

  On ajoute le mélange de résine avec les granulats (sables desilice,liège et diatomite).



Figure II.12. Le mélange pendant le malaxage.

Etape 5

➢Le remplissage des moules cubiques et prismatiquesen trois couches pour assurer lastabilité à l'état frais du mortier époxy, pour éliminer les risques de sa ségrégation.
➢Dans chaque couche mortier coulée subit des coups (compactage) avec une barre métallique pendant quelques secondes.

➢On arase la surface supérieure des éprouvettes avecune règle.

➢Le démoulage des échantillons après 4h (Durcissement complet 5/7 jours à 18°C). Conservation dans une salle à température ambiante.

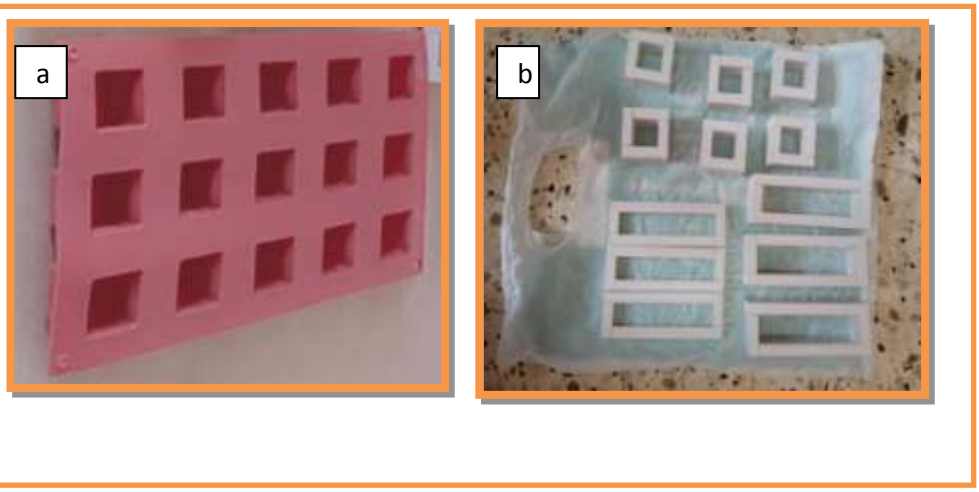


Figure II.14.Les Moules (a.Silicone ,b. Forex)

Préparation des moules

On a utilise les moules en silicone (mélange de 20%époxy)mais lorsque on les remplit on voir un gonflement (le volume est changé).

Puis on mettre les moules de Forex pour garder la forme et les dimensions des éprouvettes (mélange de 30% et 40%époxy).

L'application d'un Ruban adhésif en plastique et papier film entre mortier époxy et les moules pour assurer un démoulage facile.



Figure II.13. Remplissage de moules.

II.2.3. Les essais

II.2.3.1 Les essais effectués sur les granulats

II.2.3.1.1. Les masses volumiques

les masses volumiques apparentes et absolues de sable utilisé ont été déterminées selon lanorme [NA 451] **(1)**.

➢ **Masse volumique apparente :**

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume 1L par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique l'équation suivante on obtient la masse volumique apparente (ρ_{app})**(1)**.

$$\rho_{app} = M / 1 \text{ (kg/m3) ses volumiques}$$



Figure II.15. Le récipient.

➢**Masse volumique absolue**

Cet essai consiste à mettre dans une éprouvette un volume d'eau de 200 mlpuis on verse 100 g du matériau dedans et par le biais de l'équation suivante on calcul lamasse volumique absolue (3)**:**

$\rho abs = M / V2-V1$ (kg/ m3)

À la fin, on peut tirer les indices suivants: (porosité, compacité, indice des vides). $C = \rho app / \rho abs$; $P = 1-C$; $I = P / C$



Figure II.16. Les éprouvettes et le pycnomètre.

II.2.3.1.2. Equivalent de sable

Selon la norme [NF P 18-598] (4), la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit :

✓ On dispose de trois éprouvettes propres pour chaque sable, puis on prendra la moyenne des trois résultats obtenus ;

✓ En versant une quantité de 120 g de sable, jusqu'au premier trait d'une éprouvette normalisée contenant une solution lavante, et on laisse à reposer 10 minutes.
✓ On bouche les éprouvettes et on les agite d'une manière automatique à l'aide d'une machine agitatrice pendant 30 secondes ;

✓ On lave et on remplit les éprouvettes par la solution lavante jusqu'au trait supérieur, et les laisse à reposer 20 minutes en évitant toute vibration ;

✓ On lit les hauteurs h1 et h2 puis à l'aide d'un piston on mesure h2'.

ES =100. (h2' / h1)



Figure II.17. Procédure de mesure de l'équivalent de sable.

II.2.3.1.3.Granulométrie

Les analyses granulométriques réalisées sur le liège et le sable utilisés dans les mélanges. L'essai, par voie sèche selon la norme [NA 2607], consiste à classer les différents grainsconstituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboite les uns sur les autres, dont lesdimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.



Figure II.18. L'analyse granulometrique.

II.2.3.1.4 L'absorption

Cet essai est normalisé selon la norme [NFP18-555].Le coefficient d'absorption est définircomme le rapport d'augmentation de la masse d'un échantillon imbibé par l'eau, à la massede cet échantillon.

Elle est définir par la relation suivant :

$Ab(\%) = (Mh - Ms) / Ms \times 100$

Ms : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°.

Mh : masse de l'échantillon imbibé par l'eau.





Figure II.19. Procédure de mesure l'absorption.

II.2.3.1.5Mesure du PH de la diatomite

Dans un récipient de 250 ml, placer 10 g environ de diatomite puisverser lentement, enagitant manuellement, 100 ml d'eau pourmouiller le produit et réaliser une suspension homogène. Agiter detemps en temps manuellement ou à l'aide d'un agitateurmagnétique. Après 10 minutes, laisser reposer la suspension etmesurer le pH. Les diatomites calcinées (roses) ont un pH comprisentre 5 et 7,5 et les diatomites calcinées activées (blanches) ont unpH compris entre 6 et 10,5 (6).



Figure II.20. Procédure de mesure le PH de la diatomite

II.2.3.1.6Surface SpécifiqueBlaine(SSB)

Mode opératoire(NF EN 196-6 Avril 2012) :

1. Placer grille + papier filtre + diatomite (quantité calculée) + papier filtre,
2. Tasser et ôter le piston,
3. Vérifier le niveau du liquide : il doit arriver au trait inférieur; si nécessaire, parfaire ce niveau,
4. Placer la cellule sur l'ajutage. La jonction doit être étanche (très mince couche de vaseline). S'assurer de l'étanchéité de l'ensemble (boucher la cellule avec le pouce, aspirer avec la poire pour faire monter le liquide aux environs du trait supérieur , si on ferme le robinet, le niveau doit rester constant).
5. L'étanchéité étant réalisée, aspirer le liquide jusqu'à ce qu'il atteigne le trait supérieur , et fermer le robinet.
6. L'air traverse la diatomite, et le niveau du liquide baisse : chronométrer le temps que met le liquide à passer du 2 e trait au 3 e trait; soit t (en secondes) la moyenne des temps résultant de 3 mesures consécutives.
7. Noter la température,
8. En déduire la surface spécifique :

$$\mathbf{SSB} = \frac{K}{P} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1\eta}} (\text{cm}^2/\text{g})$$

avec :

K : constante de l'appareil,

e: indice des vides

t: mesure de temps

η : viscosité dynamique de l'air, à la température de l'essai.

P : la densité.



Figure II.21. Procédure de mesure SSB

II.2.3.1.7Mesure du l'infrarouge des granulats légers

Lorsque la longueur d'onde (l'énergie) apportée par le faisceau lumineux est voisine de l'énergie de vibration de la molécule, cette dernière va absorber le rayonnement et on enregistrera une diminution de l'intensité réfléchie ou transmise. Le domaine infrarouge entre 4000 cm-1 et 400 cm-1 correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules.

Le domaine infrarouge, dans lequel se trouvent les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est divisé en trois zones :

- proche infrarouge : λ = 0,8 à 2,5 mm (ou ν = 4000 à 12500 cm-1)
- moyen infrarouge : λ = 2,5 à 25 mm (ou ν = 400 à 4000 cm-1)
- lointain infrarouge : λ = 25 à 1000 mm (ou ν = 10 à 400 cm-1).

L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier qui envoie sur l'échantillon un rayonnement infrarouge et mesure les longueurs d'onde auxquelles le matériau absorbe et les intensités de l'absorption.

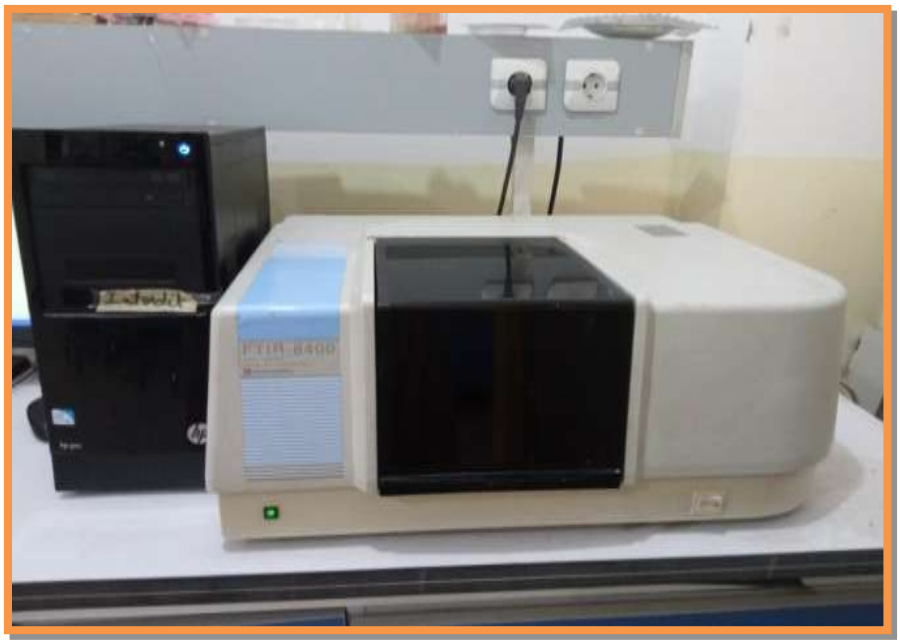


Figure II.22. Spectromètre infrarouge.

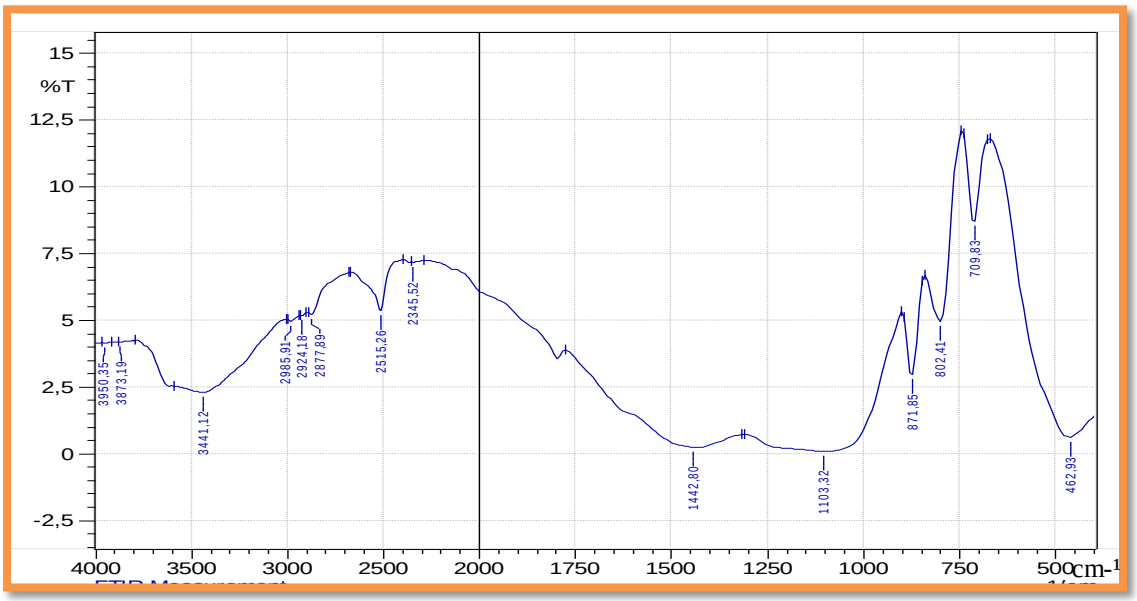


Figure II.23.Diagramme de DRX de liège.

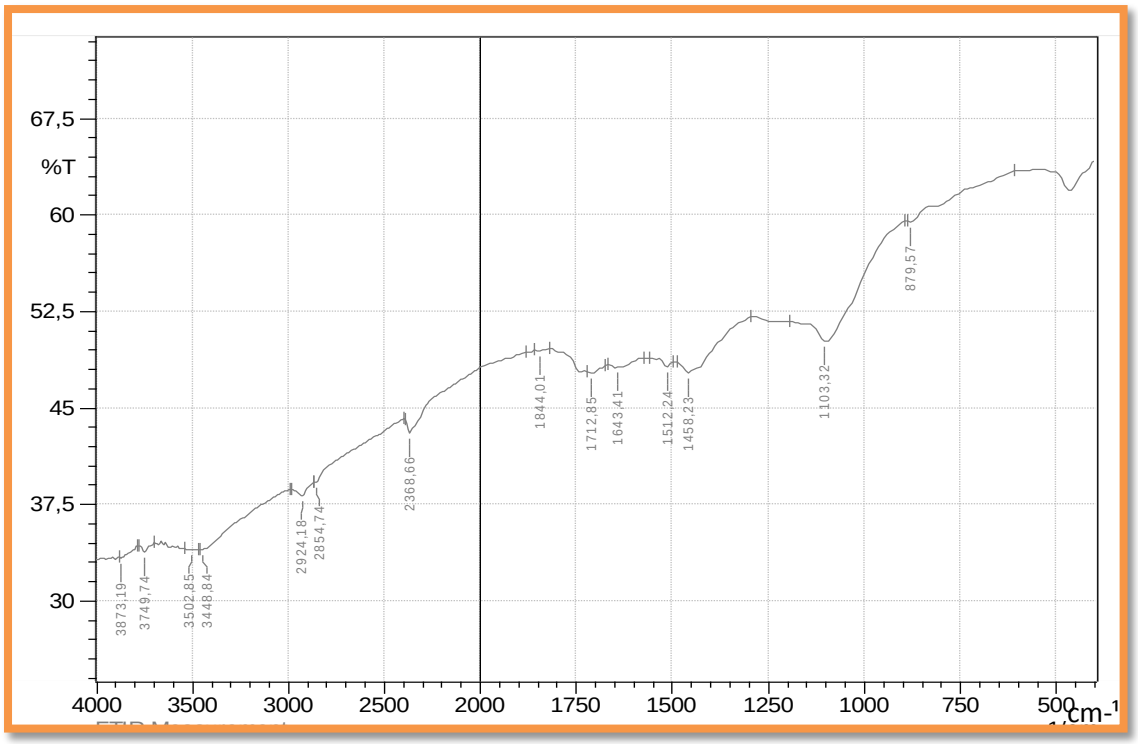


Figure II.24.Diagramme de DRX de diatomite

II.2.3.2. Les essais effectués sur le mortier

II.2.3.2.1. La masse volumique à l'état durci

On mesure la masse volumique du mortiers résineux légers tels que les bétons légers selon la norme [NF EN 12390-7] [136]à l'aide d'une balance à 0.01 g près, et mesure des dimensions des échantillons, à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de 0,01 mm. Pour chaque composition, la masse volumique sèche apparente représente la moyenne de trois mesures.

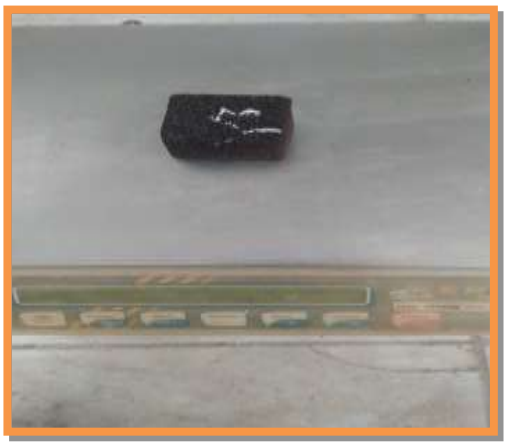


Figure II.25. Mesure de la masse

II.2.3.2.2. Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 14617-2](ABNT NBR15845), l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) une éprouvette prismatique 100x25x10 mm.



Figure II.26. Eprouvette après la traction

II.2.3.2.3. Essai de résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [**EN 14617-15]** par l'écrasement des éprouvettes cubiques de dimensions 30×30×30 mm.



Figure II.27. Dispositif de compression

II.2.3.2.4. Essai d'absorption d'eau par capillarité

D'après la norme [EN 14617-2] (ASTM C373-16),nous avons utilisésdes éprouvettes cubiques de dimensions 30×30×120 mm pour réaliser les essais d'absorption capillaire.



Figure II.28. Essais de l'absorption capillaire

II.2.3.2.5.Essai de la porosité

L'essai a été effectue sur des éprouvettes cubiques de dimensions 30×30×30 mm, selon la norme [EN 14617-2] (ASTM C373-16)).



Figure II.29. Essais de la porositéé

II.2.3.2. 6.Essai de la conductivité thermique

Le CT- METREaisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évalueravec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériauxtels que la brique, les roches, le bitume et le béton selon la norme

[NF EN 993-15] .

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induitedans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et derecueillir la température induite.



Figure II.30. Essais de la conductivité thermique

II.2.3.2.7Approche de durabilité

A . Essai de la perte de mass dans le milieu agressif

Les essais de durabilité ont été effectués conforment ASTM 267

1. **Solution d'acide chlorhydrique (HCl)**

La solution agressive utilisée est une solution d'Acide chlorhydrique,Figure II.31.a.

L'acide chlorhydrique possède une masse molaire de 36.46 g/mole avec un degré de pureté de 37%.

Les éprouvettes de forme cubique (3*3*3 cm³) sont immergées dans une solution d'acide de 5% d'acide chlorhydrique (HCl) et un 1litre d'eaux distillée.

2.Solution d'acide sulfurique (H2SO4)

La solution agressive utilisée est une solution d'Acidesulfurique,Figure II.31.b.

L'acide sulfurique possède une masse molaire de 36.46 g/mole avec un degré depureté de 96%.

Les éprouvettes de forme cubique (3*3*3 cm³) sont immergées dans une solution d'acide de 5% d'acidesulfurique (H2SO4) et un 1litre d'eaux distillée. Le suivi de la lecture du pH de la solution acide est réalisé grâce à un lecteur de PH durant la période d'immersion des éprouvettes (7et14jours),Figure II.32.

.

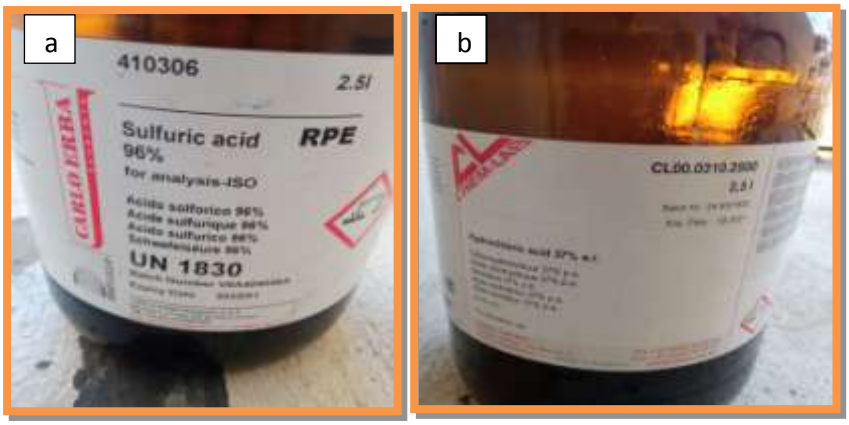


Figure II.31. Les acides (a.H_2SO_4,b. HCl)



Figure II.32. Variation de pH.

L'organigramme suivant regroupe les différents matériaux utilisés.

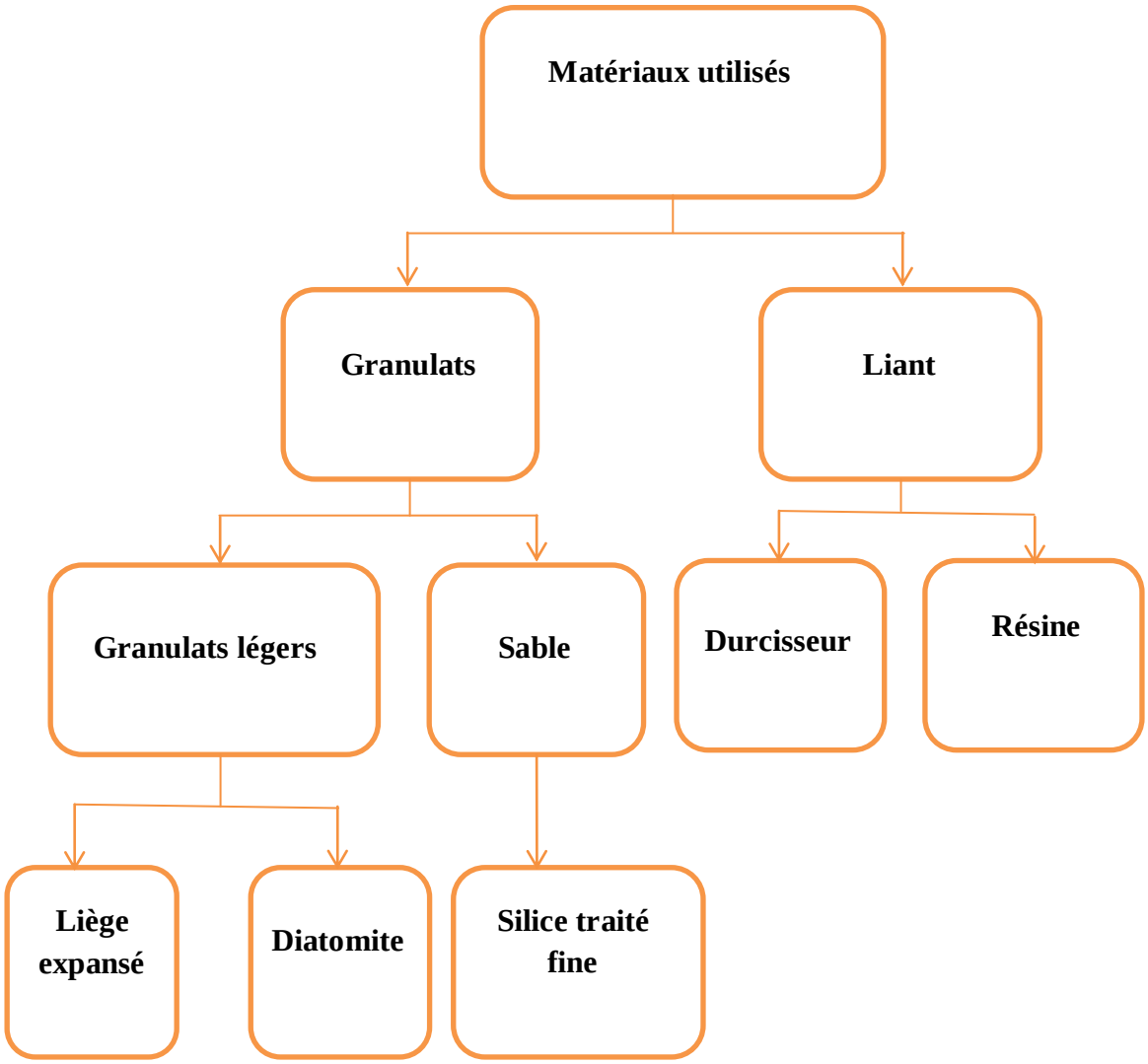


Figure II.33. Matériaux utilisés dans le mortier époxy.

L'organigramme suivant regroupe les différents essais sur les granulats et les mortiers a l états durci :

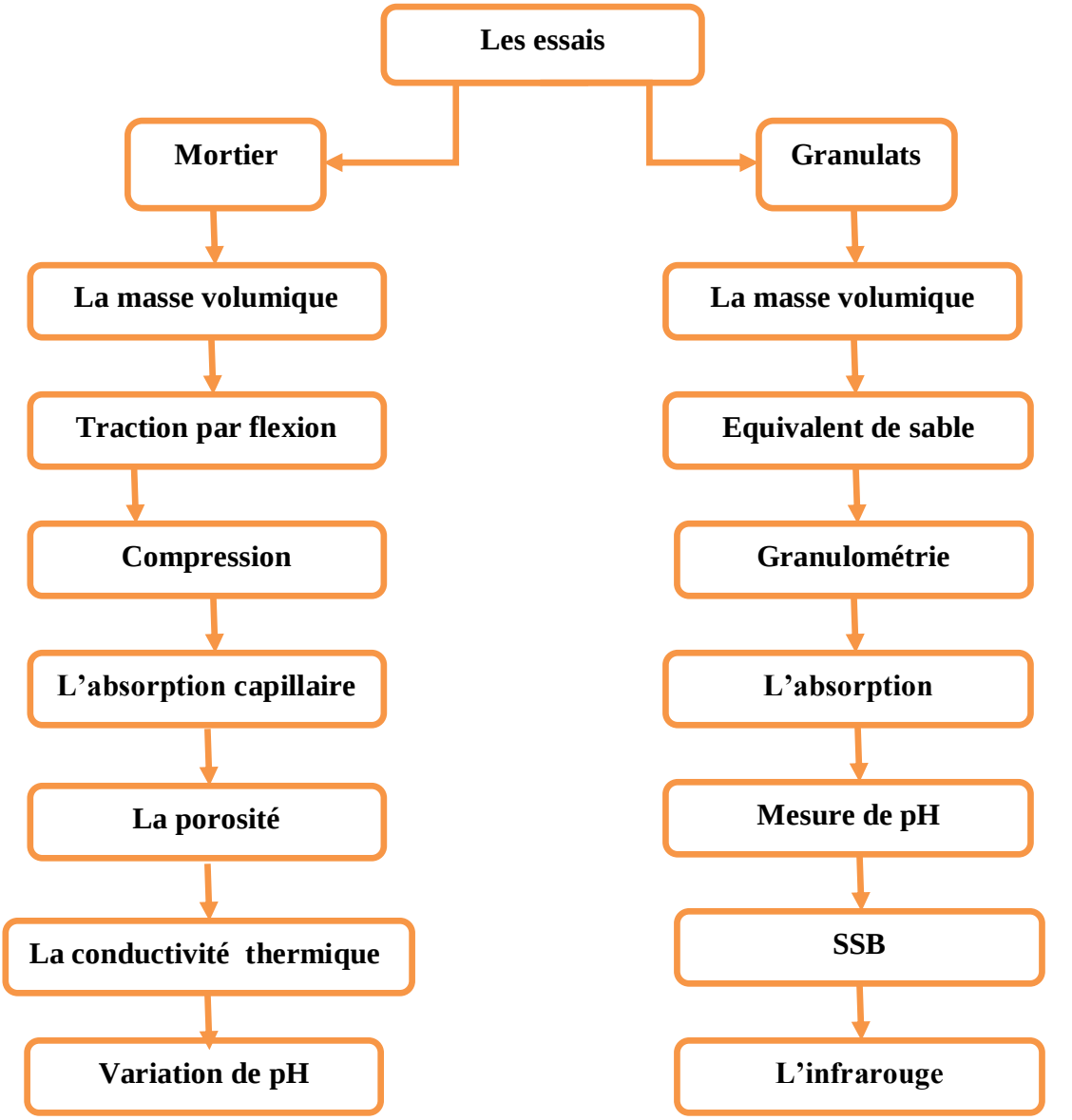


Figure II.34 :les déférents essais des granulats et mortiers à l'état durci.

Conclusion

Ce chapitre regroupe l'ensemble des matériaux et les techniques expérimentales utilisées tout dans notre projet.

III.1.Introduction

Les résultats des essais énoncés dans le chapitre précédent, sont présentés dans ce chapitre, en suivant le programme des essais établi. L'objectif de l'étude expérimentale est de caractériser l'évolution des propriétés physico-mécaniques du matériau étudié, incorporant certains pourcentages de résine époxy, puis quelques pourcentages de granulats légers. Dans ce but, nous étudions dans un premier temps l'effet de la résine sur l'évolution de la consistance, sur la densité et sur la résistance, et dans un second temps, l'effet des granulats légers incorporé dans les formulations de mortier de résine sur la densité, sur la résistance et sur la conductivité thermique. Et enfin, l'évolution de quelques propriétés de durabilités, comme la perte de masse, l'absorption capillaire, la porosité, et la résistance à l'eau d'acide.

III.2.L'optimisation du pourcentage de résine (sable et résine).

III.2.1 La consistance

Dans le but de l'optimisation du dosage de résine dans le mortier, trois dosages en résine époxy ont été choisis, 20 ; 30 et 40%.

Nous avons commencé la formulation des mortiers résineux avec le remplacement totale du sable par les particules de la diatomite puis par les grains de liège, d'ailleurs l'originalité de notre travail réside dans l'utilisation de ces deux granulats afin d'alléger le poids des mortiers formulés.

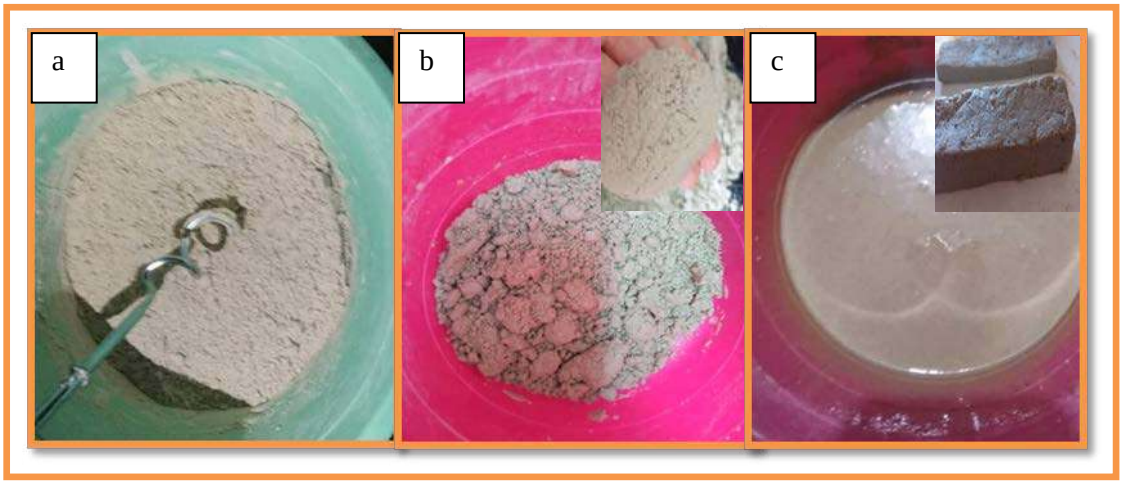


Figure III.1 : mélange de 100% diatomite avec : a) 20% résine; b)30 résine et c)40% résine.

Selon la figure III.1 a), pour un dosage de 20% de résine avec 100% des particules de la diatomite paru impossible d'avoir une pâte maniable et cohérente à cause de sa nature absorbante d'une part qui est de l'ordre de 60% et la grande finesse de mouture qui est égale à 3292.71 cm^2/g. En revanche, le dosage de 40% de résine, rends le mélange très plastique et même après 28j la pâte reste maniable avec un comportement semblable à un fluide non newtonien au comportement indépendant du temps. Pour améliorer la dureté, il faut augmenter le taux d'agent de durcissement, dans ce cas, il est primordial de réduire le dosage à 30%. Enfin, nous avons constaté que le mélange le plus adéquat de point de vue consistance c'est celui du dosage 30%.

Dans le cas du liège, pour le dosage 20% de résine le mélange est sec et non homogène, alors il demande plus de liant, contrairement au dosage de 30% qui est convenable et approprié pour élaborer un composite de qualité. Cependant, nous avons remarqué le phénomène de ressuage dans les éprouvettes à cause de la porosité ouverte du liège.



Figure III.2 : mélange de 100% Liège avec : a) 20% résine; b)30 résine et c) les éprouvettes de 30% R.

Quant au mélange de liège, diatomite et sable pour 20 % de résine époxy, on observe l'insuffisance de la résine, puisque le mélange est friable et sec.



Figure III.3 : Mélange liège diatomite avec 20% résine.

Au contraire, pour 30 % de résine époxy la combinaison de sable, liège et diatomite donne un mélange parfait, homogène avec un aspect braillant.

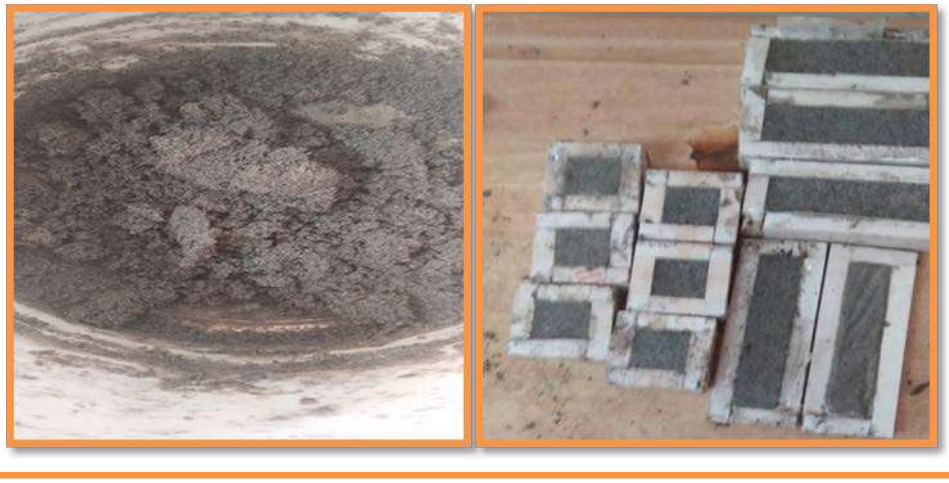


Figure III.4 : mélange de liège et diatomite et 30% résine.

III.2.2 La densité

La figure III.5, présente l'évolution de la densité en fonction du dosage en résine époxy. On a enregistré une augmentation de la densité de l'ordre de 23,72% avec l'augmentation du dosage en résine 20 à 30%. Cela due à la diminution des vides entre les grains dans le mélange de 30% d'une coté, d'autre coté les grains sont enrobés convenablement par la résine ce qui rend le mélange plus dense donc minimisé les vides dans la masse. Ce qui confirme les résultats trouvés par G.Mirouzi et al[1].

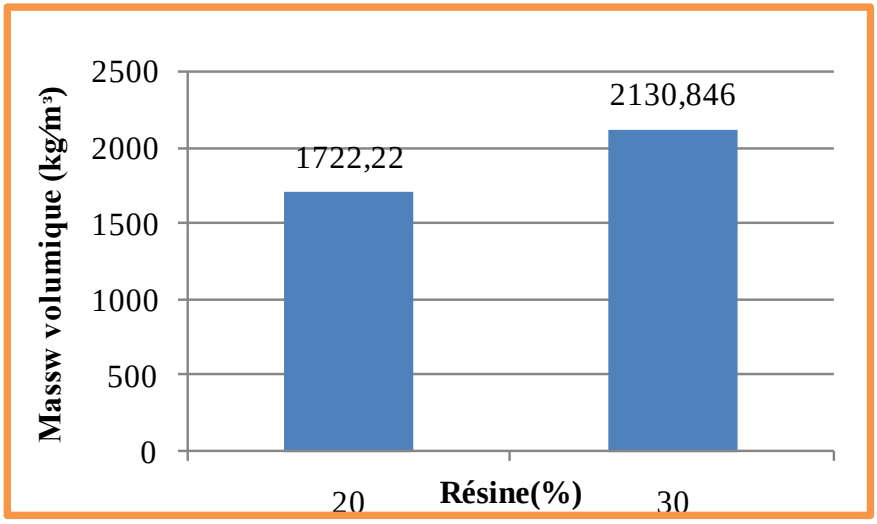


Figure III.5 : La densité en fonction du dosage en résine.

III.2.3 La résistance

Le comportement des composites de 20 et 30% de résine est complètement différente. Comme nous indique la figure III.6, il y en a eu deux différence, d'une part la résistance des composites formulés avec 30% de résine époxy est supérieur que celle trouvées avec le dosage de 20%.

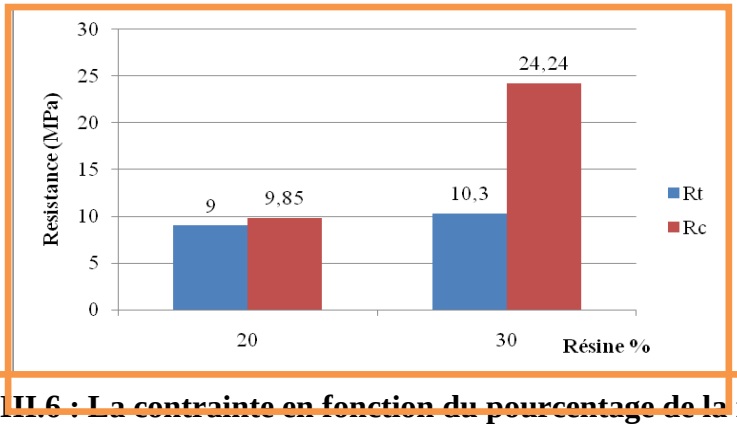


Figure III.6 : La contrainte en fonction du pourcentage de la résine .

III.3 L'optimisation du squelette granulométrique.

III.3.1 Effet de la substitution des granulats légers sur la densité

Sur la figure III.7, de façon globale, la masse volumique des mortiers résineux diminue avec l'augmentation du pourcentage des granulats légers à cause de la légèreté de ces derniers. Toutefois, la pente de diminution de la densité des deux courbes est différente, on trouve que les grains de liège expansé engendrent un taux élevé de porosité en comparant avec les mêmes teneurs en particules de diatomite.

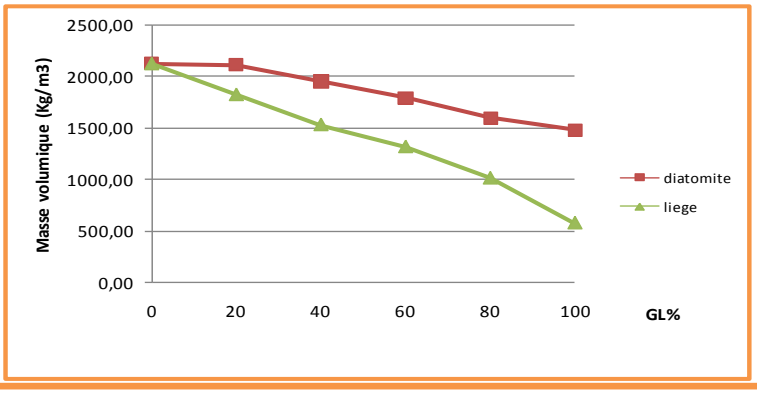


Figure III.7. La masse volumique en fonction du pourcentage des granulats

La figure III.8, présente les masse volumiques du mixage des grains de liège expansé et les particules de diatomites avec le sable. Le mélange de 30% liège LE et 30% de diatomite D est le plus léger avec une diminution de l'order de 26,59%.

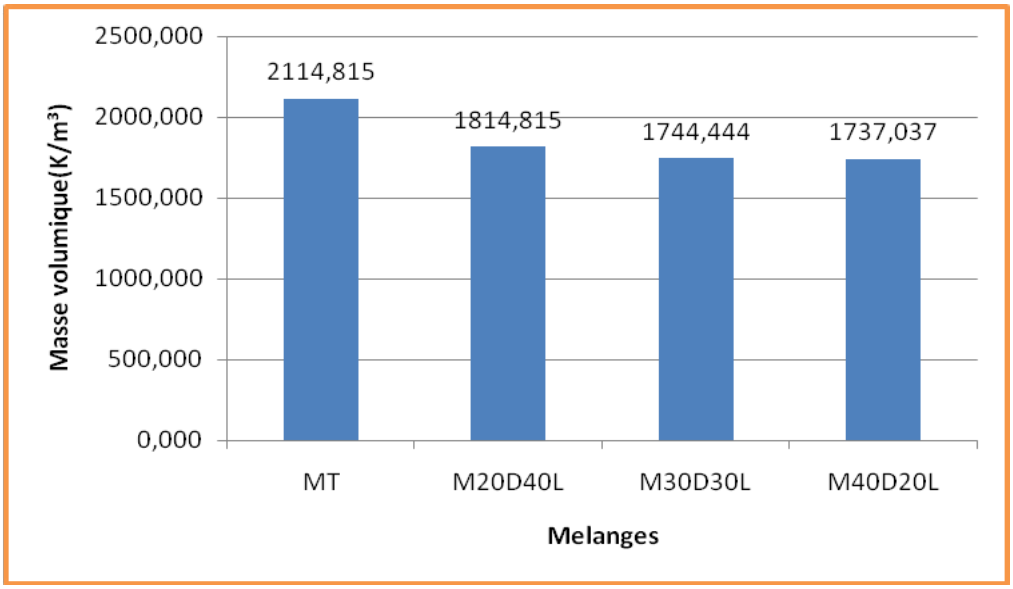


Figure III.8. La masse volumique des mélanges

III.3.2 Effet de la substitution des granulats légers sur la résistance

a- A la compression

Les résultats de l'effet des granulats légers sur la résistance à la compression à l'âge de 7 et 14 jours sont illustrés dans les figures de III. 9 et III.10.

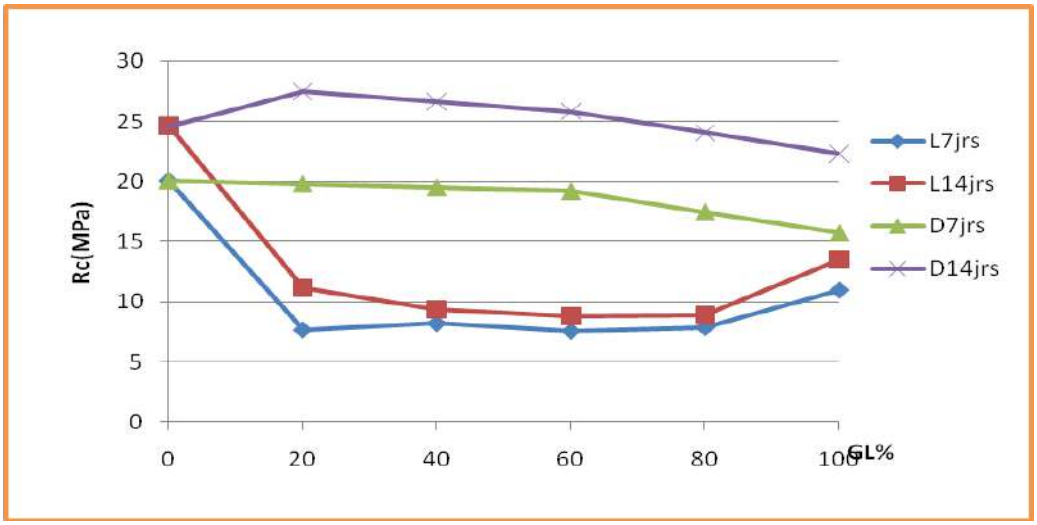


Figure III.9. La résistance à la compression en fonction du pourcentage des granulats légers

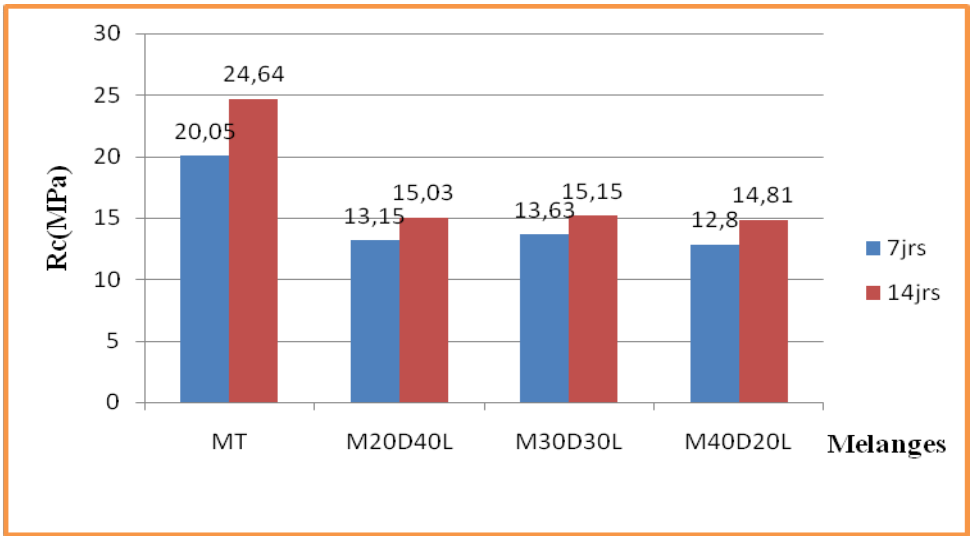


Figure III.10. La résistance à la compression des mélanges

Selon la figure III.9, une légère augmentation de la résistance à la compression des composites dont la teneur en particule de la diatomite inférieur 40% comparant avec le témoin. Ensuite, au-delà 40% de diatomite la résistance commence à diminue.

En revanche, pour les mortiers résineux à base des grains de lièges expansés LE, la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage du liège E.

b- A la traction par flexion

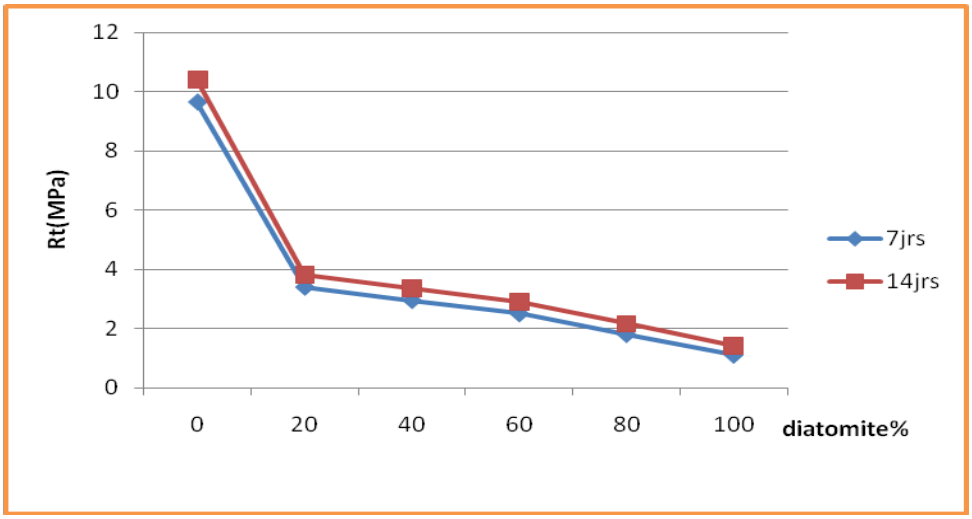


Figure III.11. La résistance traction par flexion en fonction des pourcentages des GL.

La résistance à la traction par flexion des composites résineux à base des particules de la diatomite à 7 et 14 jours est diminue avec l'augmentation de la substitution du sable par la diatomite.

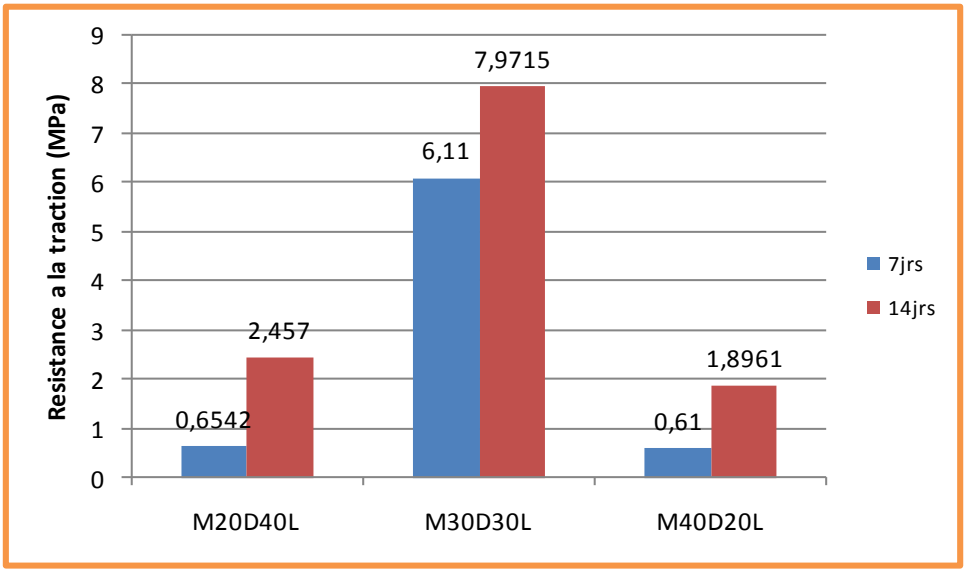


Figure III.12. La résistance traction par flexion des mélanges

En ce qui concerne le mixage des grains de liège expansé et les particules de la diatomite avec 40% sable, on constate que le mélange de 30% LE et 30% D présente les meilleures résultats.

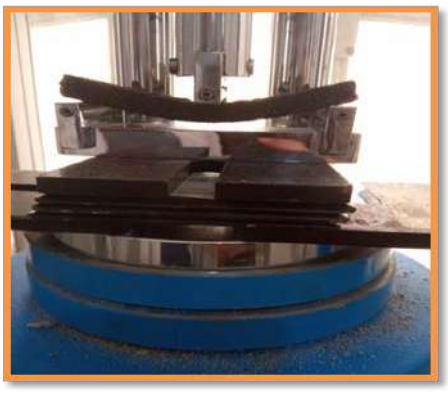


Figure III.13. Comportement du mélange de 100% de liège expansé en traction par flexion

Selon la figure III.13 et pendant les essais de flexion, nous avons observé que le comportement des éprouvettes en mortier de résine à base de 100% de grains de liège expansé est différent aux autres mélanges, leurs comportement est purement élastique.

III.3.4 Effet de la substitution des granulats légers sur la conductivité thermique

A travers les figure III.14 et 15, la conductivité thermique diminue au sens de l'augmentation du remplacement des granulats légers. Cependant, les résultats repérés de l'emploi des grains de LE sont remarquables, car leurs conductivité inférieurs à 1 W/K . m dons ils ont considérés comme des matériaux isolants

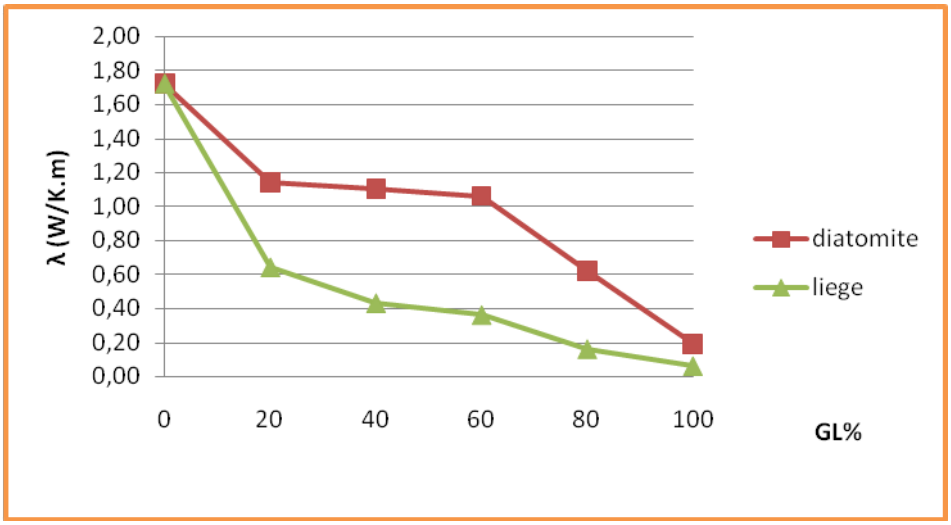


Figure III.14. La conductivité thermique en fonction des GL

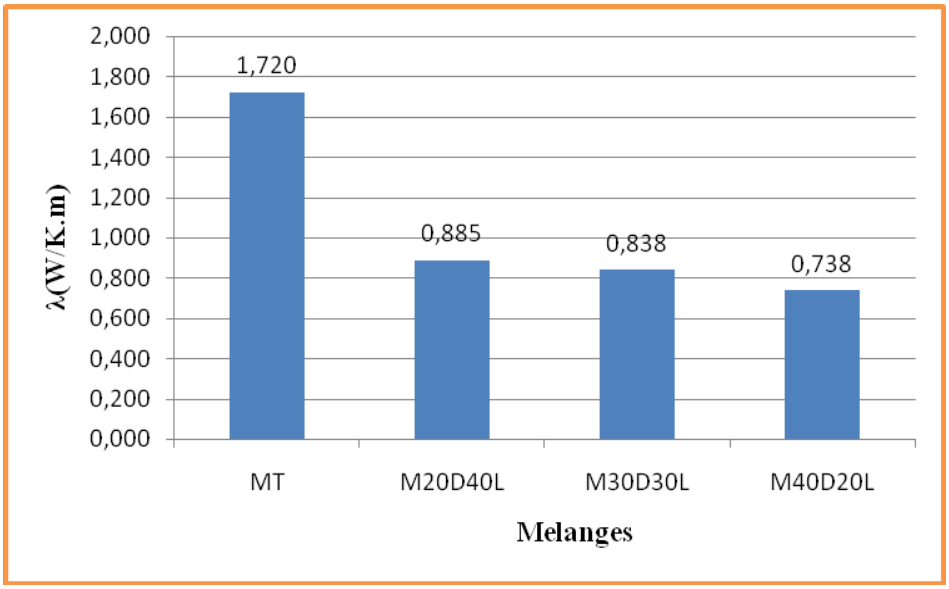


Figure III.15. La conductivité thermique des mélanges

Le mélange de 40% de diatomite et 20% de Liège expansé et 40% sable présente la meilleur isolation dont la conductivité λ= 0.738 w/m.k .

III.4. Approche de la durabilité

III.4.1 Absorption capillaire

Les essais de l'absorption capillaire ont été effectués après 14 jours de la confection des éprouvettes. La représentation graphique des résultats (Figure III.16) montre que le coefficient d'absorption capillaire en fonction de la racine carrée du temps pour les mortiers à base de 100% grains de liège expansé est le plus grand dont la différence est très large par rapport aux autres mélanges. Cette résultat est due à la structure poreuse des grains de LE.

Par contre, l'absorption capillaire des autres mélanges est presque nulle, dont les courbes d'absorption de ces mélanges tendre vers une asymptote horizontale.

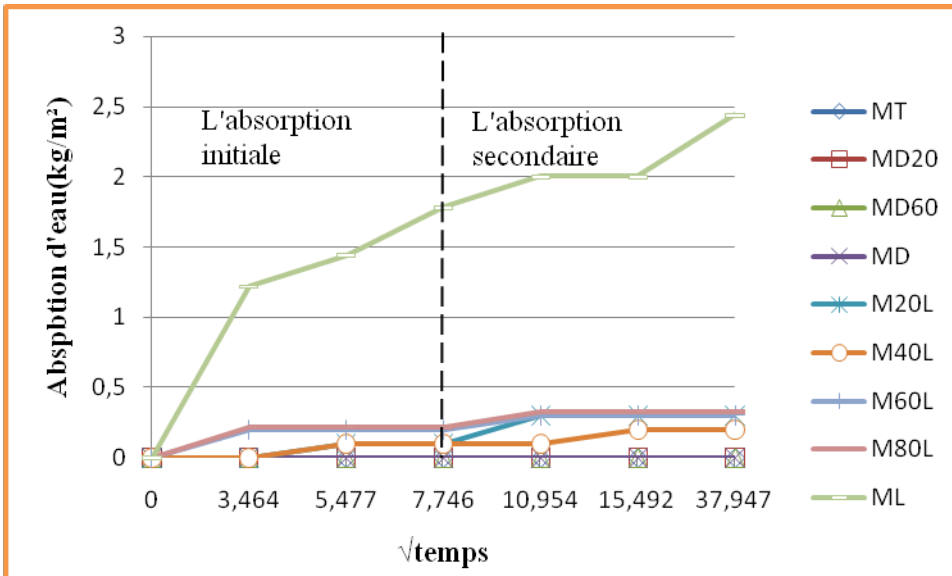


Figure III.16. L'absorption capillaire en fonction de pourcentage de GL.

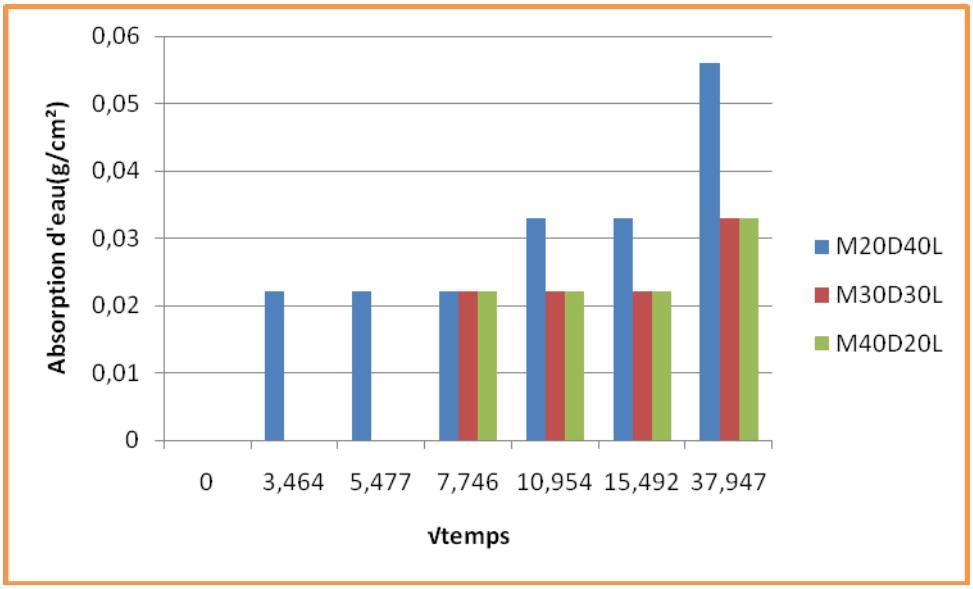


Figure III.17. L'absorption capillaire des mélanges.

III.4.2. Porosité

Les résultats de la porosité en fonction de la teneur en granulats légers sont montrés aux figures III.18 et 19. D'après les courbes obtenus, on constate que pour les composites à base de liège expansé présentes un taux de porosité élevé par rapport celles des particules de diatomite à cause de la porosité élevée du liège expansé (LE). Ainsi, la grande quantité a été repérée dans le mortier à base de 100% des grains LE.

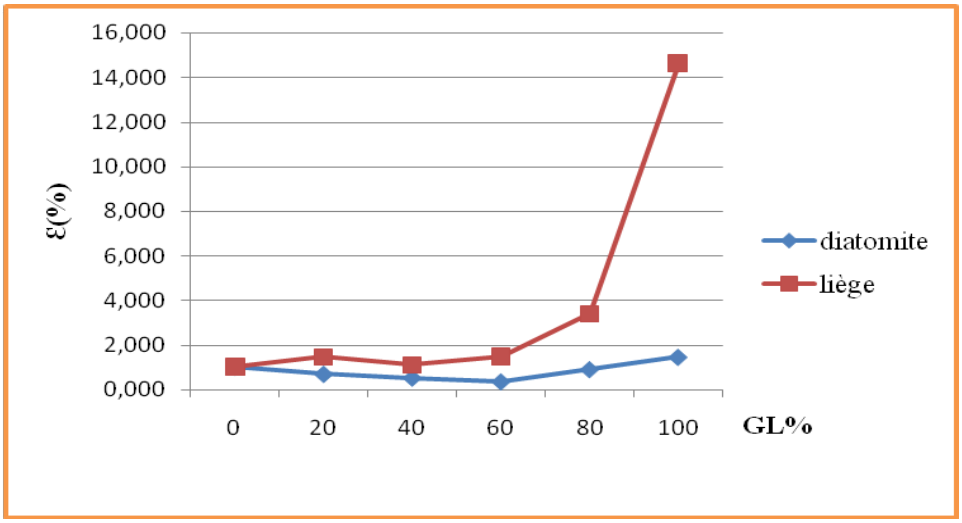


Figure III.18. La porosité en fonction des granulats légers

Concernant les composites de l'assemblage des deux grains légers, le mélange de 30% de diatomite et 30% de liège est le plus compacte avec un taux de porosité égale 0.7%.

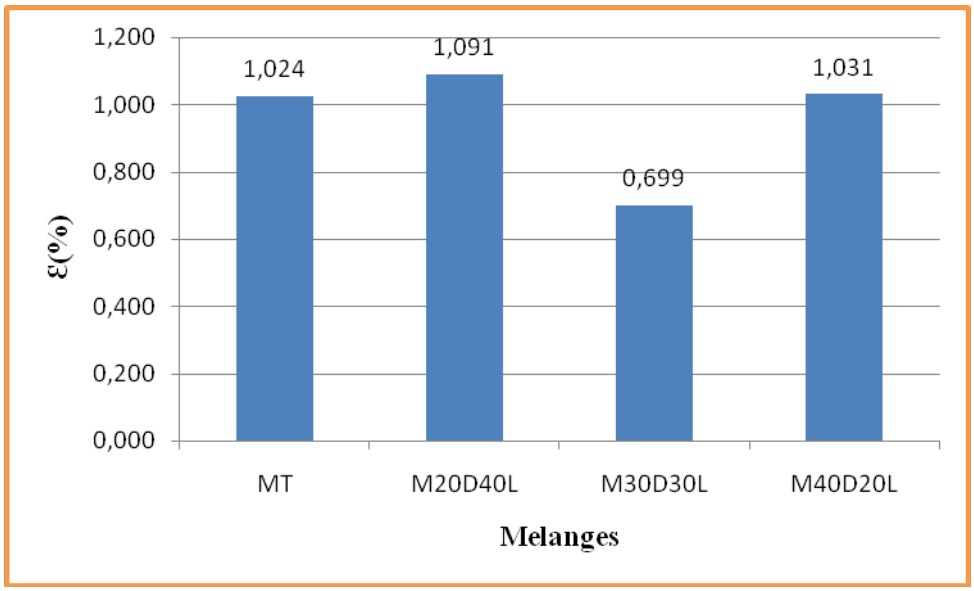


Figure III.19. La porosité des mélanges

III.4.3. Etude du comportement des composites au contact d'une eau acide

La résistance du composite aux attaques du milieu acide a été étudiée en évaluant les propriétés physiques des composites, conservés dans deux solutions, d'acide Sulfurique (H2SO4) et d'acide chlorhydrique (HCl) à 5%. La période d'immersion est 14 jours.

Les résultats de la variation relative à la masse en fonction de la période d'immersion dans les solutions d'acides sont présentés dans la figure III.20 et 21.

D'après les deux figure III.20et 21 ; on remarque une augmentation de la masse des éprouvettes en fonction de la période d'immersion pour l'ensemble des pourcentages étudiés. Cette augmentation est liée à la porosité des mortiers élaborés, malgré que les composites résineux caractérisé par leurs imperméabilités.

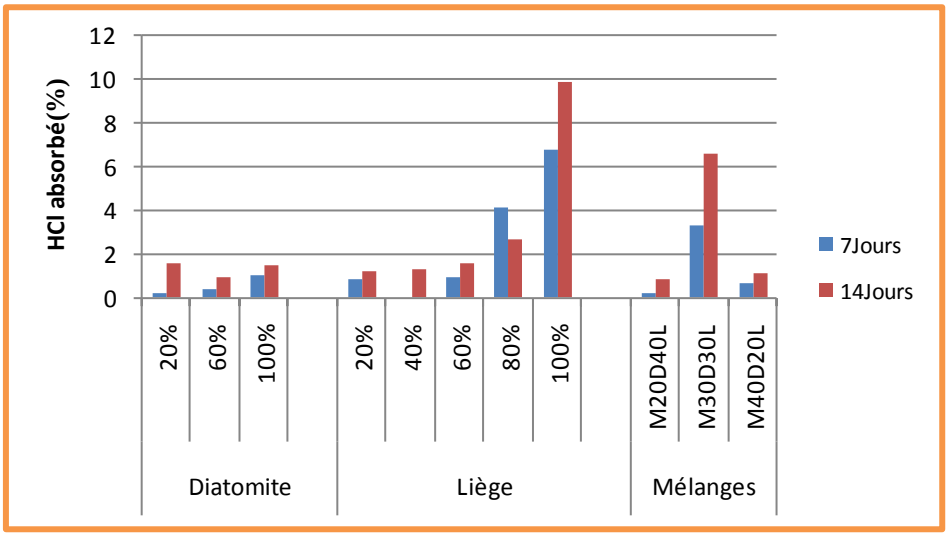


Figure III.20. L'absorption de HCL dans les mortiers de résine

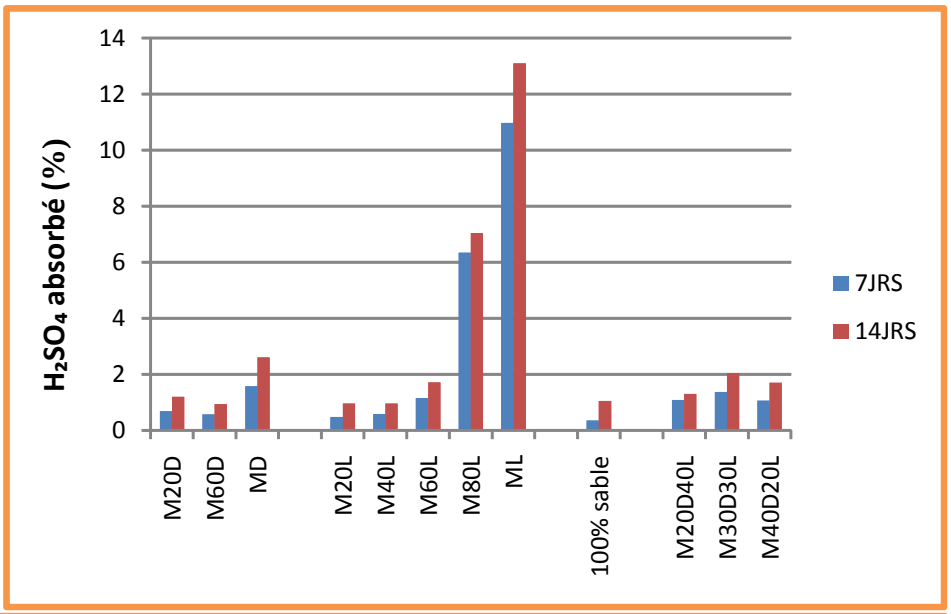


Figure III.21. L'absorption de H_2SO_4 dans les mortiers de résine

Ainsi, on remarque que l'effet de l'acide H_2SO_4 est élevé par rapport à l'effet de la solution d'acide HCl.

III.5.Conclusion

De façon générale, les composites de résine époxy présentes des caractéristiques techniques intéressantes, et l'allègement améliorent ses qualités de point de vue économique.

CONCLUSIONS GENERALE

L'objectif de ce travail consiste à l'étude du comportement physico-mécanique, thermique et de durabilité d'un mortier résineux à base des granulats légers. L'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le dosage de 30% en résine époxy est le plus approprié de point de vue consistance et résistance;
- La densité de tous les mortiers de résine époxy est diminuée en fonction la substitution du sable par les granulats légers (LE et D);
- Pour avoir un composite ultra léger dont la densité inférieur à 500Kg/m^3, il fallait un remplacement totale du sable par les grains de liège expansé;
- Le mortier de la résine formulé avec 100% de liège expansé LE caractérisé par un comportement purement élastique;
- Une légère augmentation de la résistance à la compression du composite à base de 40% des particules de diatomite ;
- Le remplacement du sable par des grains de liège diminué la résistance à la compression ;
- La résistance à la traction par flexion des composites résineux à base des particules de la diatomite à 7 et 14 jours est diminue avec l'augmentation de la substitution du sable par la diatomite ;
- la conductivité thermique diminue au sens de l'augmentation du remplacement des granulats légers ;
- l'absorption capillaire des mélanges est faible ;
- Les composites à base de liège expansé présentes un taux de porosité élevé par rapport aux celles des particules de diatomite à cause de la porosité élevée du liège expansé (LE).
- L'effet de la solution l'acide H_2SO_4 est élevé par rapport à celui de la solution d'acide HCl.

[1]: Mirouzi et al : «Influence du mode et du taux de renforcement par fibres de verre courtes E et tissu de verre sur les performances mécaniques de bétons de résine» .JMESCN J. Mater .Environ Sci.7(5) (2016) 1759-1772.

[2]:.A. Blaga et J.J : «Beaudoin le béton de résine» CBD-242-f-Digests de la construction Canada/Publication de l IRC ,1986.

[3]:G. Mirouzi : «Les Bétons de résine polyester :formulation et comportement» mémoire de Master 2, Matériaux, Département Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie. juin 2010.

[4]:.M. HAIDAR : «Optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde». Université de Cergy-Pontoise, France. 2011.

[5]:I. Kherrar :« Comportement des mortiers résineux aux milieux a gressifs».Université de YAHIA FARES ,Médéa .2020.

[6]:F.BELHADJ AHMED:« Eude de la diffusion d 'un matériau composite « résine époxy »». Université des sciences et de la technologie MOHAMED BOUDIAF ,Oran .2016.

[7]:M.LAAREJ :« Etude par spectroscopie Raman et modélisation d une résine composite RTM».Université Abou Bakr BELKAID, Tlemcen.2010.

[8]: site internet https://www.umc.edu.dz/index.php/fr/articles-a-lire/92-le-sable-siliceux-en-algerie

[9]:L.BELLO :«Mise au point d'une méthodologie pour formuler de nouveaux bétons auto-plaçons légers et durables ». Université Montpellier 2, France .2014.

[10]:N.SOTEHI:«Caractéristiques thermiques des parois des bâtiments et amélioration de l'isolation».UniversitéMentouri,Canstantine.2010.

[11]:R.BOUADJADJA: «Etude de l'effet de la haute température sur les propriétés des bétons de granulats léger ». Université Yahya Fares, Médéa .2020.

[12]:B.LAOUD : «Caractérisation mécanique et physique d'un béton léger à base de sable calcaire et des granulats de liège ».UniversitéAmar Telidji,Laghouat.2013.

[13]:S.Colin, N. Charles et G .Lefebvre: Mémento Diatomite, Rapport final,

BRGM/RP-68326-FR . 2018.

[14]:Ph. Rocher: Mémento roches et minéraux industrielsDiatomite ,R 38758.1995.

[15]: Y.FRAINE,C.SELADJI:«La diatomite algérienne un matériaux d'isolation hygrothermique écologique pour l'habitat».Université de Tlemcen.2018.

[16] : **O.Elalaoui:«**Optimisation de la formulation et de la tenue aux d'un béton à base d'époxyde».Université El MANAR ,Tunis.2012.

[NF EN 1097-6]: Normes françaises : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire.3 Août, 1998.

[NF EN 1097-3]: Normes françaises : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire.3 Août, 1998.

[NFP18-555]: Normes AFNOR : « Granulat- Equivalent de sable».

[NF EN 196-6]: Normes Surface Spécifique Blaine Avril 2012.

[NA 451]: Normes Algérienne : « Essais pour déterminer lescaractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de lateneur en eau par séchage en étuve ventilée », 1989.

[NA 2607] ;Normes Algérienne: essais de l'Analyse granulométrique par tamisage, 1990.

[EN 14617-2]: Normes Européenne: Résistance à la flexion.

[EN 14617-15]: Normes Européenne: Résistance à la compression .

[EN 14617-2]: Normes Européenne: Résistance à la compression.

(ASTM C373-16): Normes Européenne: Absorption d'eau.

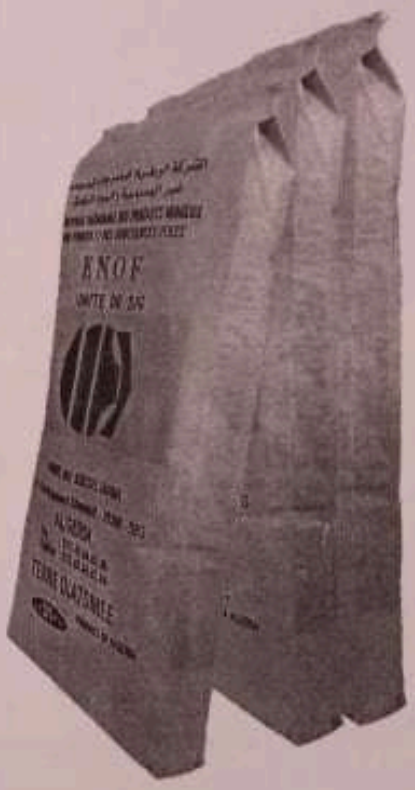
FICHE TECHNIQUE

KIESELGUHR de Charge

- **ASPET PHYSIQUE**
  - Poudre de couleur blanche

- **COMPOSITION CHIMIQUE**

SiO_2	**77,9 %**
Al_2O_3	3,25 %
Fe_2O_3	1,27 %
TiO_2	0,20 %
K_2O	0,61 %
Na_2O	0,25 %
CaO	**5,82 %**
MgO	1,09 %
P_2O_5	0,13 %
Perte au Feu à 1025°C	9,34 %



- **PROPRIETE PHYSIQUE**
  - *Humidité (PF) : 14 % max*
  - *Masse Volumique : 0,95 g/cm³*
- **REPARTITION GRANULOMETRIQUE**
  - *Entre 75 µm et 300 µm*
- **CONDITIONEMENT**
  - *Sac en papier kraft de 25 kg*
- **DOMAINE D'APPLICATION**
  - *plastic, tabac a chique et mâcher, sidérurgie, corps gras*

Unité de Production :
30, cité Mohamed Khemisti BP N° 143
SIG, MASCARA
Tel : +213 (045) 64 96 00













le

Mélange à base de diatomite et 30%époxy







Mélanges de lige avec30% époxy





Mélanges des granulats diatomite et liège)et 30% époxy

Pro Top 1000

Liant époxy universel
Fiche Produit page 1/2

Description
Pro Top 1000 est une résine époxy bi composant non solvantée.
Pro Top 1000 est utilisé comme liant universel. Il possède en outre de bonnes résistances chimiques.

Destination
Comme liant, pour tous les systèmes de revêtements de sol, sauf les revêtements
Auto-lissants et peintures de finition.

Environnement
Pro Top 1000 est sans solvant, sans nonyphénol et pratiquement sans odeur à l'application.
Consulter la Fiche de Données de Sécurité pour plus de renseignements.

Rapport des composants
2.5 parts du composant A pour 1 part du composant B, en poids.
2.3 parts du composant A pour 1 part du composant B, en volume.

Température d'application
Température du support recommandée entre 15-25°C, pas en dessous de 10°C.
Température du support devra être 3°C au dessus du point de rosée lors de la mise en œuvre et de l'application.

Temps d'application/pot life
Les composants, une fois mélangés, seront mis en place avant 30' à 18°C.
Une température plus élevée réduira ce temps de travail.

Durcissement (à 18°C)
Peut être recouvert après 18 hrs.
Circulation piétonne après 18 hrs.
Durcissement complet 5/7 jours.

Couleur
Transparent.

Extrait sec
Approx. 100 %.

Finition
Brillant.

Densité
Composant A approx. 1.13 kg/litre.
Composant B approx. 1.05 kg/litre.
A+B approx. 1.10 kg/l.

Stockage
12 mois en emballage fermé entre 15°C et 40°C.

Conditionnement
Corposants A+B :

15 kg	1400 kg
560 kg	2800 kg

Flowcrete France SAS au capital 40 000 €
2 Avenue de Montboulon
Bâtiment A F-77165 SAINT-SOUPPLETS
Tél: 01 60 61 74 42 Fax: 01 64 33 11 61
E-mail: france@flowcrete.com
Flowcrete France SAS is an RPM company

RCS Compiègne 532 988 177 – TVA Intracommunautaire
FR53 532988177 - Siret 532 988 177 00020 - APE 4673B

Pro Top 1000

Liant époxy universel
Fiche Produit page 2/2

Destination	Rapport de mélange (en poids)	Application	Epaisseur (mm)
Couche d'égalisation ou titre à 0 avant pose d'un revêtement semi-épais.	1 part de Pro Top 1000 pour 1 à 2 parts de silice calibrée 0,1/0,3 mm.	Lisseuse ou peigne crantée.	1
Mortier de reprofilage de 3 à 15 mm.	1 part de Pro Top 1000 pour 8 à 10 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm).	Lisseuse puis égalisation par talochage manuel ou mécanique.	3 à 15 mm en une passe.
Mortier de reprofilage 15/60 mm.	1 part de Pro Top 1000 pour 8 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm) et 4 parts de silice 3/6 mm.	Lisseuse puis égalisation par talochage manuel ou mécanique.	15 à 60 mm en une passe.
Mortier thixotrope pour gorges et applications verticales.	1 part de Pro Top 1000 pour 7 parts de silice calibrée pour mortier (courbe 0 à 2 mm) et 0,06 part d'agent thixotropant pour résine.	Lisseuse	3 à 10 mm

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci. L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Par ailleurs, nos produits doivent être mis en œuvre par des personnes qualifiées.

Flowcrete France SAS au capital 40 000 €
2 Avenue de Montboulon
Bâtiment A F-77165 SAINT-SOUPPLETS
Tél: 01 60 61 74 42 Fax: 01 64 33 11 61
E-mail: france@flowcrete.com
Flowcrete France SAS is an RPM company

ADHERENT SFMR MÉTIERS DE LA RÉSINE

RCS Compiègne 532 988 177 – TVA Intracommunautaire
FR53 532988177 - Siret 532 988 177 00020 - APE 4673B