

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
Université Mohammed Seddik
Benyahia- Jijel –



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procèdes

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de **Master Académique**

Spécialité : Génie des Procèdes

Option : Génie des Matériaux

**Etude des contraintes rencontrées lors de
l'obtention d'un composé composite à base de
polystyrène**

Réalisé par :

M^{elle} Mériche Anissa

M^{elle} Kerroud Nour El Houda

Encadré :

Dr: M.H. Arada

Jury par:

Président : Dr. N. Bounar

Membre : Dr. F. Chouikh

Promotion 2020

Remerciements

*A l'issue du cycle de notre formation nous tenons à
remercier dieu le tout puissant.*

Nos remerciements les plus sincères vont à:

*Monsieur **Mohammed El Hachemi Arada** Pour ses conseils
précieux Et son suivis qu'il nous prodigué*

Durant tout notre travail.

*Sans oublier les membres du laboratoire de mécanique
des sols.*

*Nos vifs remerciements vont aux membres De jury pour
avoir accepté de juger Notre présent travail.*

*En fin toute personne qui a participé de près ou de loin à
l'accomplissement de ce mémoire, Soit sincèrement
remerciée et les enseignants qui ont participé à nos
formation soient Sincèrement remerciés.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A ma source de bonheur

*Mon père **Salah Kerroud (ahcen)**, رحمه الله*

*Ma mère **Samia Bouhnik***

*Mon frère **Yacine**,*

Pour leurs amours, leur bonté, leurs sacrifices, leur encouragement perpétuel et leurs soutiens. Puis dieu prolonger leur vie dans le bonheur.

*A mes frère **Karim, Tamime** et mes sœurs **Liela, Fatiha, Meriem***

*A tout la famille **Kerroud***

*A ma monôme et ma chère amie **Mériche Anissa***

A tous ceux que j'aime et tous ceux qui m'aiment

*A mes adorables amies **Dounia, Aicha, Hadil, Nour el houda, Meriem, Meriem***

*Mes beaux et belles petits **Soundous, Silia, Rassime, Yazen***

Nour El Houda

Dédicaces

Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, avec grand amour, sincérité et fierté à ma source de tendresse, de noblesse et affectation,

*Mon père **Mériche Foucef***

*Ma mère **Mériche Akila***

Pour tous les sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils ont fait pour

Que je réussisse.

Je le dédie également à,

*Mes chers frères **Anis, Amir et Abderraouf** en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.*

*Sans oublier ma monôme et ma chérie **Nour Elhouda Zerrouk** et mes meilleurs amis **Aicha, Hadil, Meriem et Nour Elhouda.***

*Et un dédicace spécial à mon âme sœur, ma puce **Asfida Khelfallah.***

A tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

*A toute la famille **Mériche** et à tous ceux qui ont contribué de près et de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis grand merci.*

Anissa

Sommaire

Liste de figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale 1

CHAPITRE I : BIBLIOGRAPHIE

I.1- Matériaux composites	2
I.1.1- Matrice.....	2
I.1.2- Renfort.....	3
I.2- Matériaux de base	3
I.2.1. Polystyrène.....	3
I.2.1.1- Applications du polystyrène.....	4
I.2.2. Sable.....	4
I.2.2.1. Différents types de sable.....	4
a- Sable naturel.....	4
b- Sable artificiel.....	5
I.3- Analyses préliminaires	5
I.3.1-Equivalent de sable.....	5
I.3.2- Morphologie.....	6
I.4- Matériau composite à base de polystyrène récupéré	6
I.4.1- Matériau non chargé.....	6
a- Matrice Sable-PS-Acétone.....	6
I.4.2-.Matériau chargé en poudre de marbre (PM) ou poudre de fer(PF).....	6

I.5- Méthode d'élaboration	7
I.5.1- Méthode par régénération	7
I.5.2- Méthode de compactage manuel.....	8

CHAPITRE II : NOUVELLE APPROCHE EXPERIMENTALE ET LES CONTRAINTES RENCONTREES

II- Nouvelle approche expérimentale	10
II .1- Protocoles proposés pour l'obtention du composé composite à base de polystyrène	10
a- Protocole 1.....	10
b- Protocole 2.....	12
II.2- Essais mécaniques	14
a- Mesure de dureté superficielle.....	14
b- Mesure de Micro-dureté.....	15
c- Essai de flexion.....	16

CHAPITRE III : TRAVAUX REALISES AVANT MARS 2020

III.1- Introduction	17
III.2- L'élaboration	17
III.2.1- Tamisage.....	17
III.2.2-Analyse en sédimentologie ESV et ESP.....	19

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale	23
----------------------------------	----

ANNEXE

REFERENCES

Liste des figures

Figure I.1 : Etapes de valorisation du plastique par régénération.

Figure I.2 : Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons.

Figure II.1 : Etape suivie pour l'obtention du composé composite selon le protocole 1.

Figure II.2 : Présentation de l'échantillon non chargé avec trois proportions

Figure II.3 : Composé composite à base de polystyrène. (a) : Matériau non chargé.

(b) : matériau chargé en PM. (c) : Matériau chargé en PF.

Figure II.4 : Découpage de l'échantillon. (a) : Matériau non chargé.

Figure II.5 : montage de mouvement vibrationnel : (a) interne, (b) externe.

Figure II.6 : Protocole 2.

Figure II.7 : Matériau obtenu après satisfaction du facteur vibrationnel pour amoindrir le nombre des pores. (a) vibration interne, (b) vibration externe, (c) sans vibration.

Figure II.8 : Zone des dix martèlements sur la surface de l'échantillon S-PS.

Figure II.9 : représentation graphique de la force appliquée sur les trois échantillons S-PS S-PS-PM et S-PS-PF en fonction de la micro-dureté de Vickers.

Figure II.10 : courbe représentative de la flexion mesurée des trois échantillons (a) : S-PS

(b): S-PS-PM, (c): S-PS-PF.

Figure III.1 : Etapes suivies pour le tamisage du sable étudié.

Figure III.2 : (a) : Pesage de sable, (b) : tamisage de sable dans la tamiseuse électrique.

Figure III.3 : Quantité de refus.

Figure III.4 : Etapes suivies pour la réalisation d'une analyse d'équivalent de sable (ESV et ESP).

Figure III.5 : Décantation de 10 min

Figure III.6 : Agitation de l'éprouvette en position horizontale (90 cycles).

Figure III.7 : (a) : Décantation de 20 min, (b) : Décantation après 3 jours.

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Fiche technique pour l'obtention du matériau dont $m(S) = 2m(PS)$.

Tableau II.2 : fiche technique pour l'obtention du matériau dont $m(S) = 2m(PS)$. Poudre de marbre.

Tableau II.3: fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de Fer.

Tableau II.4 : valeurs des contraintes appliquées sur chaque échantillon.

Tableau II.5 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS.

Tableau II.6 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS-PM.

Tableau II.7 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS-PF.

Tableau II.8 : Valeur des dimensions des éprouvettes, forces maximale appliquée et contrainte.

Tableau III.1 : analyse granulométrique du sable du plage de Zouay.

Tableau III.2 : résultats de ESV et ESP.

Liste d'abréviations

PS : polystyrène.

PM : poudre de marbre.

PF : poudre de fer.

S : sable.

ESV : équivalent de sable visuel.

ESP : équivalent de sable à piston.

CTC : caoutchouc

Introduction générale

L'étude et la conception des matériaux composites suscitent depuis près d'un siècle un grand intérêt dans les domaines multiples et variés de la chimie moderne. Les matériaux composites à fibre naturelle occupent une place importante dans l'histoire de la technologie. La mise en valeur des ressources végétales apporte une alternative forte intéressante aux problèmes environnementaux engendrés et à l'épuisement probable, des ressources fossiles [1].

Ce travail est une étude générale sur les résultats des travaux effectués en deux parties de deux projets de master ; la première partie, de l'année 2017-2018 consiste à proposer une nouvelle approche expérimentale pour la préparation du matériau composite à base de polystyrène destiné à la décoration externe. Hors, la deuxième partie (année 2018-2019) était consacrée à l'étude des propriétés mécaniques ainsi qu'un suivie du vieillissement et dégradation des échantillons du matériau réalisé.

Ce manuscrit est divisé en deux parties, la première est orientée vers une étude synthèse bibliographique suivie par la nouvelle approche proposée pour le recyclage de polystyrène, l'obtention d'un matériau composite et les essais mécaniques effectués sur ce dernier (matériau). La deuxième partie présente une seconde approche expérimentale pour le recyclage et l'obtention d'un nouveau matériau composite. A cause de la pandémie COVID-19, cette partie n'a pas pu être réalisée au sein du laboratoire. Par conséquent, nous nous sommes orientés vers une étude de synthèse sur les contraintes rencontrées durant l'élaboration du matériau ciblé.

I.1- Matériaux composites

Le terme « matériau composite » désigne un matériau solide et hétérogène, formé de plusieurs composants distincts, dont l'association confère à l'ensemble des propriétés qu'aucun des composants considéré ne possède séparément. La réalisation d'un matériau composite nécessite donc l'association d'au moins deux composants : Le composé principal est appelé matrice. Le second, étant le renfort, qui doit être compatibles entre eux et se solidariser. Pour cela, un agent de liaison, appelé interface, est nécessaire. [1]

Des charges et des additifs peuvent être ajoutés au composite sous forme d'éléments fragmentaires, de poudres ou liquide, afin de modifier une propriété de la matière à laquelle on l'ajoute (par exemple la tenue aux chocs, la résistance aux UV, la résistance au feu...). Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice. [1]

- Les composites à matrices organiques (CMO), qui constituent aujourd'hui la très grande majorité des composites industriels.
- Les composites à matrices céramiques (CMC) réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire, ainsi que le freinage (freins carbone).
- Les composites à matrices métalliques (CMM) intéressent les concepteurs des industries automobiles, électroniques et de loisirs pour répondre à des exigences mécaniques spécifiques. [1]

Les matériaux composites ont été utilisés depuis des décennies. Leurs avantages par rapport aux matériaux classiques résident dans leurs performances et leurs légèretés. Ces atouts ont attiré de nombreuses industries comme l'aérospatial, l'automobile, les infrastructures, le sport...etc. notamment grâce à leur bonne tenue mécanique comparable aux matériaux homogènes comme l'acier et à leur faible masse volumique. Le développement des matériaux composites s'est fait de façon évolutive mais aussi révolutionnaire. Cette évolution est basée sur les facteurs suivants :

a- La Matrice

La matrice permet de lier les fibres du renfort entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). Elle est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. [1]

b- Le Renfort

Les renforts permettent d'améliorer les propriétés physico-chimiques des matériaux (par exemple, la résistance aux acides et bases pour le stockage de produits chimiques), mais aussi les propriétés mécaniques (résistance à la compression, à l'impact, à l'abrasion...), électriques (résistance électrique, conductivité, ...). Elle permet aussi de faciliter la mise en œuvre et de réduire le coût de fabrication d'un matériau. [1]

I-2- Matériaux de bases

I.2.1-Le polystyrène

1839 est la date de la découverte du polystyrène. Il a connu une large exploitation en Europe et aux états unis à partir de 1933 suite à la mise en œuvre du premier procédé pour sa fabrication à l'échelle industrielle. [2]

Le polystyrène est un matériau dur. Il se présente étant cassant et transparent. D'une manière générale, son usage et son utilisation se résume en la fabrication des emballages, des grilles de ventilations ou des verres en plastique. Il se manifeste en trois types :

- Le polystyrène "cristal" : contrairement à son appellation, il n'a pas de structure cristalline. L'attribution du mot *cristal* à ce matériau revient à son aspect transparent. C'est un plastique dur et cassant et il est utilisé surtout pour les boîtiers CD.
- Le polystyrène HIPS (High-Impact Polystyrène) : C'est un copolymère formé par la combinaison du styrène et du polybutadiène. Il est le plastique le plus utilisé des styréniques (composé dont le monomère et le styrène), cette orientation d'usage est due à sa résistance et sa capacité de résister à des impacts plus considérables que celles qu'un polystyrène normal peut résister.
- Le polystyrène expansé : ce matériau est le plus connu de la gamme du polystyrène. Il se présente sous forme de mousse compacte, inflammable et combustible.

I.2.1.1- Applications du polystyrène :

Le polystyrène et le polymère obtenu par polymérisation des monomères de styrène, c'est un matériau solide à 20C° et pâteux à 120C°, qui fond entre 150C° et 170C°.

Il est inflammable et combustible, avec une température d'auto-inflammation d'environ 490C°. Il est également soluble dans les hydrocarbures chloré et automatique .ce matériau dur, cassent et transparent se décline en différents type de polystyrène mentionné précédemment aux applications multiples.

Les principales utilisations du polystyrène dans la vie courante sont :

- Les boitiers de CD en PS cristal
- Les couverts et verres en plastique en PS choc
- Les emballages alimentaires (comme les pots de yaourt)
- Les emballages des appareils fragiles en PSE
- Isolation thermique des bâtiments sous forme expansée ou extrudée. [6]

I.2.2-Le sable

Le sable est avant tout un matériau naturel, issu du quartz (silice cristallisée) ou du silex (roche sédimentaire siliceuse). Il est largement utilisé dans le domaine de la construction. Sa constitution se présente en grains plus ou moins fins, dont la dimension varie de 0,15 mm à 4,76 mm. En fonction de la taille de ces derniers, une classification lui ait attribuée évoquant le sable fin, de gros sable ou de graveleux. Ainsi, il existe de différents types de sable, et selon chaque type, des usages et utilisations lui sont attribués. [2]

I.2.2.1- Différents types de sable

a- Sable naturel

Généralement, ces sables trouvent origines des rivières, des carrières et des mers rivières et reliefs montagneux. Concernant la premier origine, ses sables sont également appelés « sable des rivières » ou « sable alluvionnaire », leurs caractéristique réside dans la forme arrondie des grains ainsi qu'à leurs durestés. Pour la seconde origine, les grains de sable se présentent en forme angulaire. Quant au sable de mer, qui provient de roche sous-marine, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à

l'origine efflorescences (transformation de sels qui perdent une partie de leur eau au contact de l'air et deviennent poudre friable). Enfin, pour celui des reliefs montagneux, la forme des grains est en feuillets, c'est un sable fin, comportant de nombreuses cavités d'air imposant ainsi une association avec autres sables pour une éventuelle utilisation. [2]

b- Sable artificiel

Le sable peut également être obtenu de façon artificielle, par découpage et/ou broyage mécanique de roches. Ses grains sont généralement plus anguleux que ceux du sable naturel qui ont été soumis au lissage du vent et de l'eau. [2]

I.3- Analyses Préliminaires

L'analyse préliminaire des risques (APR) est une méthode d'identification et évaluation des risques au stade initiale de la conception d'un système. A partir de l'ensemble des dangers auxquels le système est susceptible d'être exposé tout au long de sa mission, l'APR a pour objectif l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation et la maîtrise des risques qui en résultent. Elle peut être aussi utilisée avec profit pendant toute la durée de vie de ce système.

Hors, les domaines d'applications sont nombreux. Comme toute activité industrielle, militaire, financière, sanitaire, environnement, à quelque niveau que ce soit (mission, système, composants, etc.).

I.3.1- Equivalent de sable

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'un grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d' « essai d'équivalent de sable à piston » ou, plus simplement, d' « essai d'équivalent de sable visuel »

ESV: mesuré avec une règle, $[(h_1/h_2).100]$

ESP: mesuré avec un piston, $[(h_1'/h_2).100]$

But : l'essai d'ES permet de mesurer la propreté d'un sable donné par les lois précédents.

- Si $ES > 50$ → Bon sol
- Si $ES < 30$ → Sol plastique
- Si $ES < 20$ → Trop sale

L'ES (visuel et/ou piston) est la moyenne des deux valeurs données par chaque éprouvette, elle est arrondie à l'unité la plus proche. [3]

I.3.2- Morphoscopie

Peut être défini comme la détermination statique du différent type de grains de quartz dans les dépôts sableux. L'examen microscopique de la forme des grains de quartz permettent de connaître le degré et la forme d'usure et donc de déduire l'agent de transport et l'importance de celui-ci. [4]

I.4- Matériau composite à base de polystyrène récupéré

Le matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion). Le nouveau matériau possède des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas. Il est constitué d'une ossature appelée renfort qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée matrice qui est généralement une matière plastique. [2]

I.4.1- Matériau non chargé

a- Matrice Sable-PS-Acétone

L'obtention de cet échantillon de référence consiste à connaître les proportions adéquates pour que le sable et PS coexiste ensemble sans défauts de fissuration ou refus du sable. Pour assurer un mélange bien homogène, les essais déjà faits montrent qu'il faut introduire une masse $m(PS)$ avec 1.5 ou 2 m (sable) par rapport à la masse du PS suivie par un moulage. [2]

I.4.2- Matériau chargé en poudre de marbre (PM) ou poudre de fer(PF)

Son élaboration suit les même étapes que celles suivies pour l'obtention du matériau de référence (non chargé) après avoir introduit un nouveau constituant à la matrice Sable-(PS-Acétone)-MP et/ou PF. Cette introduction a pour but de renforcer le matériau de référence et elle est inspirée de la structure matricielle du béton (sable-gravier-(ciment-eau)) où le (PS-

Acétone) joue le rôle du (ciment-eau) qui permet de lier les composants solides (sable ; gravier) dont leurs tailles sont différentes.[2]

I.5- Méthode d'élaboration

Il existe plusieurs voies d'accès aux composés composites à base de plastique récupéré. La méthode la plus connue et la plus classique est celle de la régénération du plastique. Cette dernière est basée sur la décomposition chimique sous air du plastique (pyrolyse) permettant d'atteindre la molécule mère tout en émergent les autres constituants. Cette méthode est abandonnée à cause de son impact néfaste sur l'environnement (émergence des constituants évoqués). Hors ; il existe autres voies prêtées en guise de remplacement de la méthode classique ; comme celle du compactage manuel. [2]

I.5.1- Méthode par régénération

L'élaboration d'un matériau par régénération du plastique consiste à une réalisation d'une décomposition chimique sous air (pyrolyse) et/ou combustion rentrant dans le cadre du recyclage chimique (atteindre la molécule mère tout en émergent les autres constituants).cette méthode a un effet néfaste sur l'environnement qui se résume dans l'émergence des constituants évoqués. [2]

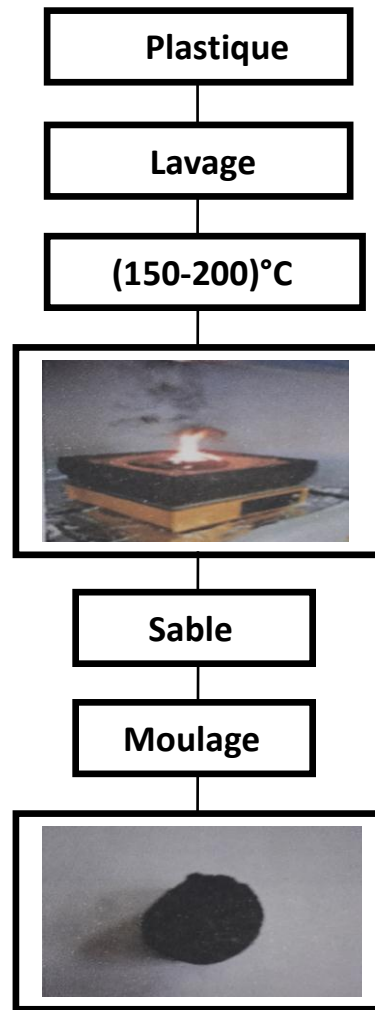


Figure I.1 : Etapes de valorisation du plastique par régénération.

I.5.2- Méthode de compactage manuel

La fonction de la thermopresse hydraulique, est de faire fondre le plastique contenu dans le mélange. Elle comporte deux plateaux chauffants régulés en température. Le plateau supérieur est fixe tandis que l'inferieur est mobile. Le mélange est chauffé lorsque les deux plateaux sont en contact avec le moule. Le chauffage et le mélange se font simultanément. Le mélange est fait par une mèche qui tourne dans la cavité de mélange en sens inverse, lorsque la perceuse est actionnée. [1]

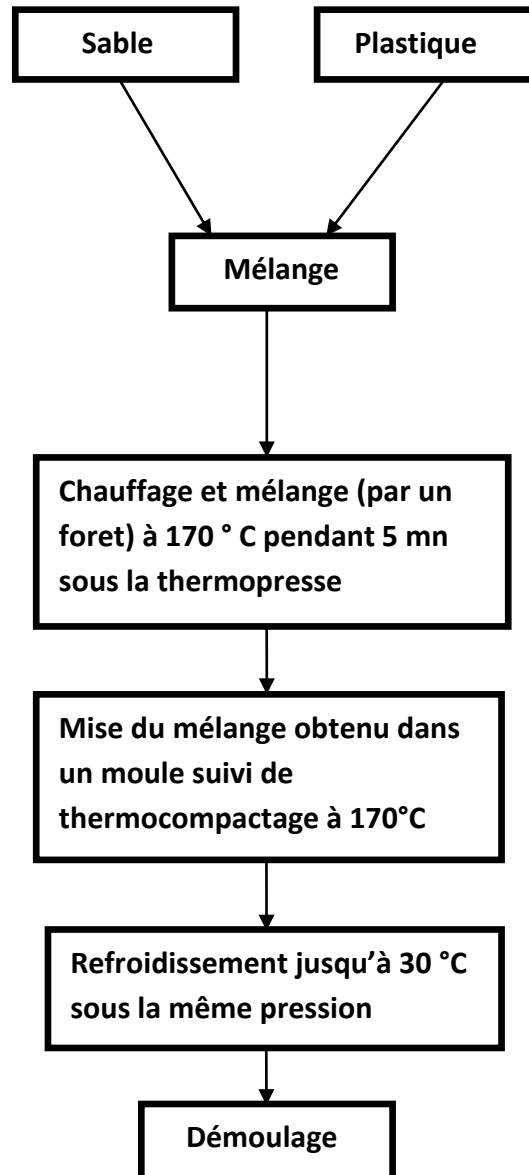


Figure I.2 : Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons.

II- Nouvelle approche expérimentale

La nouvelle approche prend en considération l'impact négatif de la méthode de régénération sur le système environnemental, cette approche consiste à élaborer un matériau à base de polystyrène récupéré par une voie douce en combinant (matière plastique-solvant adéquat) pour but d'éviter le traitement sévère de méthode de régénération par pyrolyse et le dégagement des gaz toxiques.[2]

II.1- Protocoles proposés pour l'obtention du composé composite à base de polystyrène

a- Protocole 1

La première étape consiste à l'effectuation d'une pesée du polystyrène suivie par l'ajout de l'acétone. Cet ajout est réalisé avec excès afin d'optimiser la réaction entre le polystyrène (PS) et le solvant (l'acétone). Cette dernière (optimisation) est primordiale car elle nous permet de pouvoir réaliser le mélange de la pâte obtenue avec le sable tout en minimisant les contraintes rencontrées durant le mélange sable-pâte. Plus l'excès en acétone est considérable, plus la pâte tend vers la liquéfaction. [2]

Cet aspect de la pâte facilite grandement la réalisation de l'étape du mixage mécanique. Le mélange obtenu est soumis au moulage puis au séchage à l'air libre. Toutefois il faut signaler que cette dernière étape s'effectue à l'ombre de la lumière. [2]

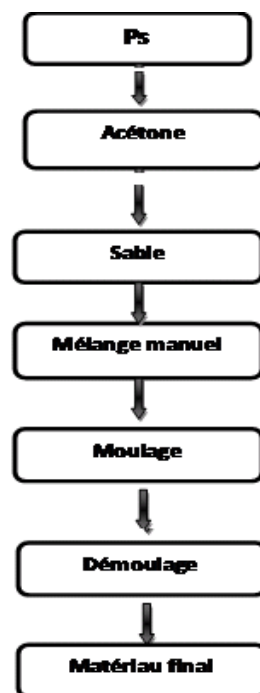


Figure II.1 : Etape suivie pour l'obtention du composé composite selon le protocole

Selon le protocole proposé, trois échantillons sont élaborés. Les éléments constitutifs de la matrice du composé composite diffèrent d'un échantillon à l'autre, à savoir PS-S, PS-S-PM et PS-S-PF, avec PM est la poudre de marbre et PF est la poudre de fer dont les proportions sont les suivantes :

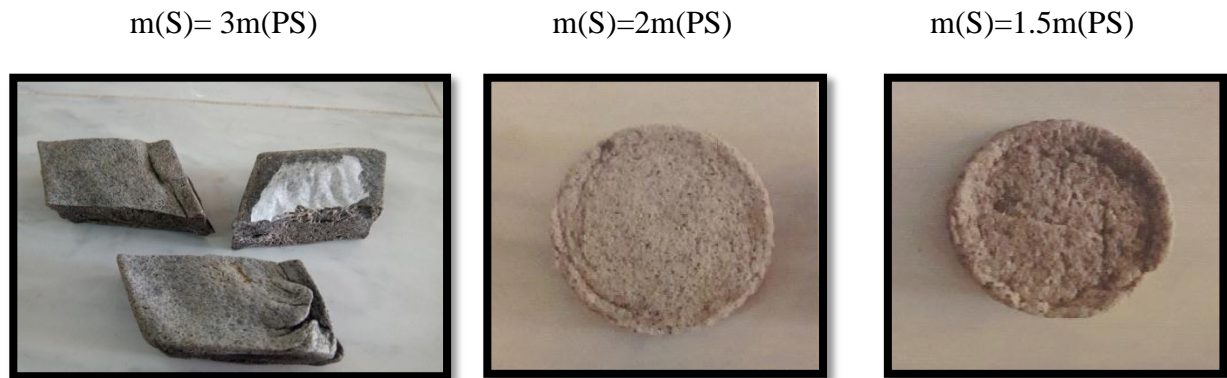


Figure II.2 : Présentation de l'échantillon non chargé avec trois proportions

L'échantillon dont la masse du sable est égale au double de celle du polystyrène est choisi pour être l'échantillon de meilleure qualité. Ce choix est basé sur la constatation visuelle du fait que le produit final présente moins de gonflement, déformation et pores à l'intérieur du matériau. Aussi, durant l'obtention, les contraintes rencontrées pour les deux autres produits sont amoindries (étape du mélange). [2]

Afin de remédier au problème des pores, le matériau composite est chargé par l'intégration dans la matrice S-PS d'un troisième élément constituant, à savoir la poudre de marbre et/ou de fer tout en gardant bien évidemment la proportion choisie. (Voir Annexe). [2]

Les premières observations révèlent que le composé composite présente toujours des gonflements et des déformations beaucoup moins apparent pour les matériaux chargés en PM et/ou PF par rapport au matériau non chargé que des pores flagrants à l'intérieur des échantillons, néanmoins, ces derniers se manifestent moins dans les composés chargés en PM et/ou PF. [2]

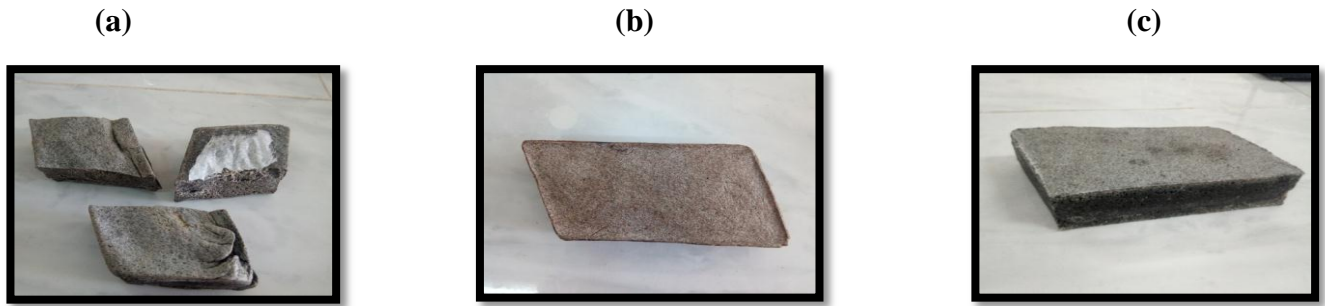


Figure II.3 : Composé composite à base de polystyrène. (a) : Matériau non chargé.

(b) : matériau chargé en PM. (c) : Matériau chargé en PF.

Au niveau des pores, et pour avoir une idée plus claire et plus précise sur cet aspect, les composés obtenus ont subi un découpage en utilisant une scie mécanique (électrique). Selon la figure qui suit, la présence des pores est bien flagrante, ce qui nous a permis de conclure que l'intégration des éléments constitutifs (PM et PF) à la matrice S-PS, même s'il a amélioré la qualité du produit au niveau des gonflements et de déformation mais il n'a pas réglé totalement le problème de la présence des pores. Afin de remédier à ce problème considéré comme majeur, un deuxième protocole est mis au point en introduisant une étape de vibration au protocole 1. [2]

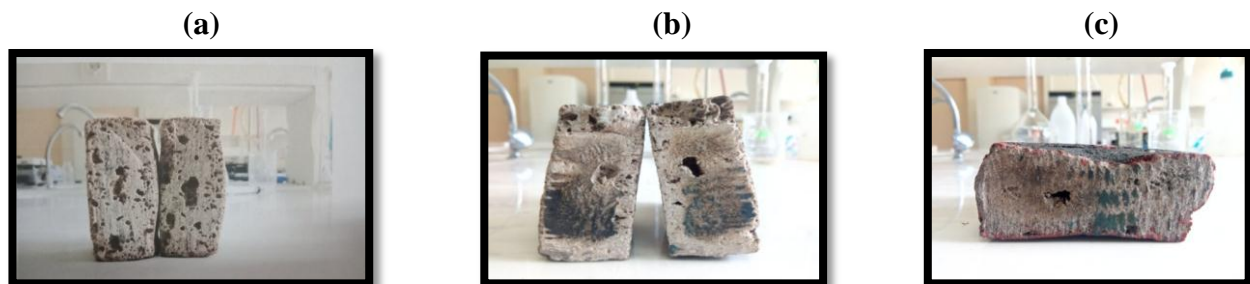


Figure II.4 : Découpage de l'échantillon. (a) : Matériau non chargé. (b) : matériau chargé en PM (c) : matériau chargé en PF.

b- Protocole 2

En suivant la méthode d'élaboration du béton ; le mixage du matériau est suivi par vibrations puis séchage. La vibration est faite pour but de minimiser le plus possible la présence des poches d'air et des pores après séchage (matériau fragile) ; pour éviter ce problème, le matériau est soumis à des vibrations en faisant un mixage mécanique non manuel et lent. [2]

Deux types de vibrations existent pour ce type de matériau : vibration externe et interne. La première consiste l'enfoncement de l'aiguille dans le matériau en assurant de mouvement des vibrations successifs et la deuxième réalisée par une

oscillation sur un support concernant le matériau. Les deux méthodes sont présentées dans la figure suivante :



Figure II.5 : montage de mouvement vibrationnel : (a) interne, (b) externe.

L'échantillon (pâte-sable) subit à la vibration après qu'il est mis dans le moule. Les étapes suivies pour obtenir le matériau final sont présentées à la figure suivante :

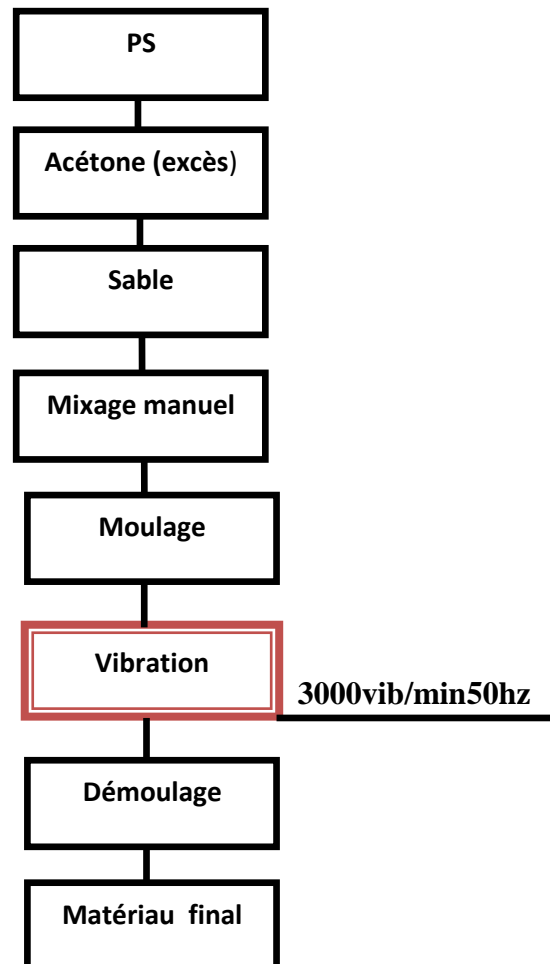


Figure II.6: Protocole 2.

- Il a été conclu que le mixage manuel est plus facile à réaliser que le mixage mécanique. [2]
- La difficulté du mixage mécanique réside dans le durcissement de la pâte de polystyrène. [2]
- Pour remédier à ce problème, le mélange de constitutions matricielles s'effectue avec un excès d'acétone qui consiste à ajouter un solvant (acétone). [2]
- L'étape de la vibration du mélange via une table de vibration intervient après l'obtention du mélange (polystyrène-acétone, sable) suivie par le séchage et le démoulage. [2]

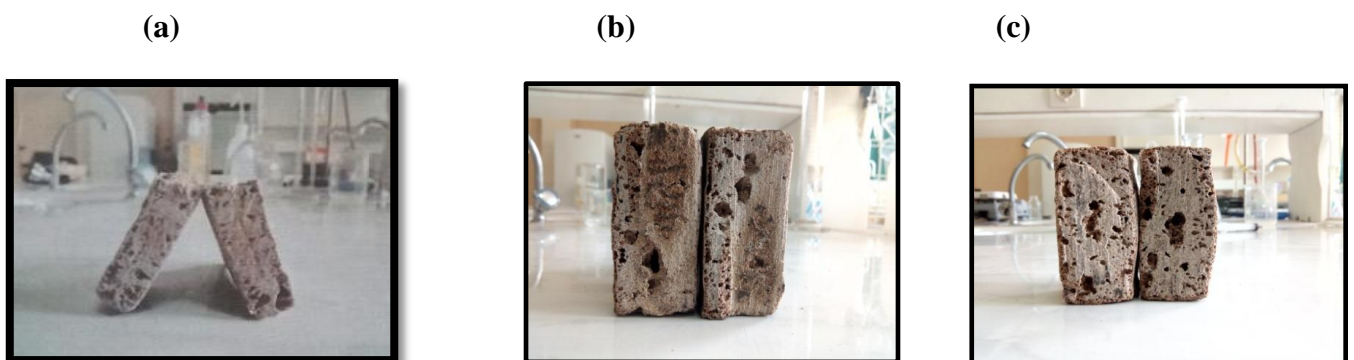


Figure II.7 : Matériau obtenu après satisfaction du facteur vibrationnel pour amoindrir le nombre des pores. (a) vibration interne, (b) vibration externe, (c) sans vibration.

D'après la figure II.6, il est bien clair que l'étape de la vibration a contribué directement à minimiser la présence des pores et des gonflements, par conséquent les déformations dans le matériau final. [2]

II.2-Essais mécaniques

Ces essais ont pour but de connaître les propriétés mécaniques des matériaux étudiés. A savoir : la dureté superficielle, la micro-dureté et la flexion. [5]

a- Mesure de dureté superficielle

La mesure de dureté superficielle du matériau s'effectue par l'application des dix martèlements sur la surface de l'échantillon. Les résultats de la mesure sont enregistrés par le scléromètre. [5]

En calculant la moyenne des contraintes appliquées à chaque mesure, il s'est avéré que les échantillons S-PS-PM et S-PS-PF donnent une valeur supérieure à celle de la matrice S-PS. L'étude montre un écart entre les valeurs moyennes enregistrées. L'échantillon (S-PS-PF) est le plus résistant au choc. Ce qui permet de conclure qu'il est le matériau armé. [5]



Figure II.8 : Zone des dix martèlements sur la surface de l'échantillon S-PS.

Toutefois, il est à signaler que le scléromètre à béton n'est pas vraiment adéquat pour la mesure de la dureté des matériaux ciblés dans cette étude car il ne permet pas de mesurer directement la résistance de choc de béton. [5]

Il est important de mentionner que si l'indice $28 \leq I \leq 32$; le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant mais si $I < 28$ ou $I > 32$ l'appareil est défectueux. En se basant sur ces intervalles et les résultats des indices obtenus qui sont inférieurs à 28, il faut s'orienter vers des scléromètres mieux adéquats. [5]

b- Mesure de Micro-dureté

Cette mesure est réalisée en utilisant le micro-duromètre de Vickers AFFRI sur les trois échantillons S-PS, S-PS-PM et S-PS-PF étudiés dans les conditions suivantes :

- Polissage
- Absence de porosité
- Surface d'étude lisse et lumineuse.

Une fois que l'échantillon est mis sur le porte échantillon et après le repérage d'échantillon, la recherche d'une surface lumineuse est effectuée en évitant les zones sombres; cette zone d'essai doit être en bien nette et elle est suivie par le réglage du temps d'essai et de la force appliquée. [5]

L'observation du fond d'essai après le temps d'essai choisi par la mesure optique des longueurs des deux diagrammes d'empreinte du pénétrateur de la forme losange. Le calculer dureté de Vickers s'effectue par l'équation :

$$HV=1854.4 F / d^2$$

Avec :

* **HV** : valeur de micro-dureté de Vickers (kg/mm^2).

* **F** : force appliquée (en gramme force (gf)).

* d^2 : longueur de diamètre de l'empreinte (en μm).

Les valeurs des forces appliquées et longueurs des diagonales ainsi que les résultats de dureté obtenus sont présentés dans les tableaux (II.5, II.6, II.7) (voir l'annexe)

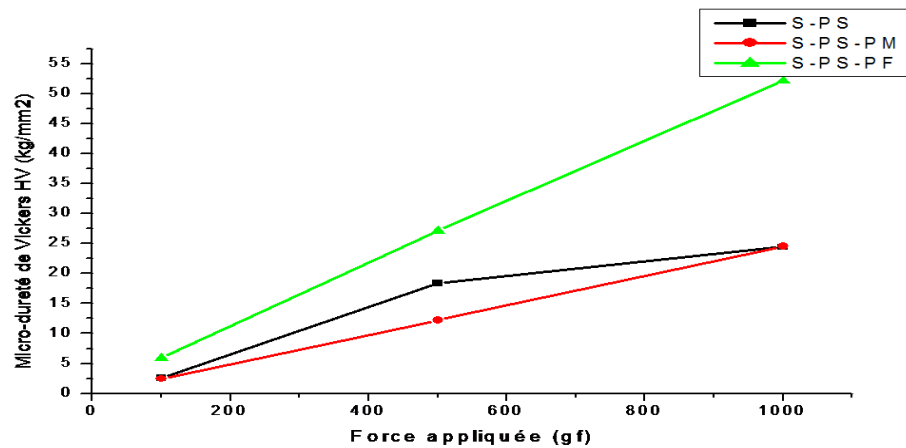


Figure II.9 : représentation graphique de la force appliquée sur les trois échantillons S-PS S-PS-PM et S-PS-PF en fonction de la micro-dureté de Vickers.

La figure II.8 montre clairement une évolution non linéaire de l'échantillon S-PS. Cela est probablement due au fait qu'il n'a pas subi un polissage convenable ce qui a provoqué la détérioration de la surface en présence des petits pores ce qui fausse la mesure de la micro-dureté de cet échantillon. Hors, Les échantillons S-PS-PM et S-PS-PF présentent une évolution linéaire. L'étude effectuée montre que l'amélioration de la micro-dureté suit l'évolution de la force appliquée. [5]

c- Essai de flexion

Ce test a été réalisé à l'Université de Mohammed Seddik Ben Yahia Jijel dans le laboratoire de métallurgie du département de physique à l'aide de l'appareil PASCO ME-8236 équipé d'un ordinateur pour dessiner les courbes de force appliquées (N) en fonction de la position (mm). [5]

La valeur de la contrainte normale maximale des échantillons est calculée par la formule suivante :

$$\delta = (3fL) / (2bh^2)$$

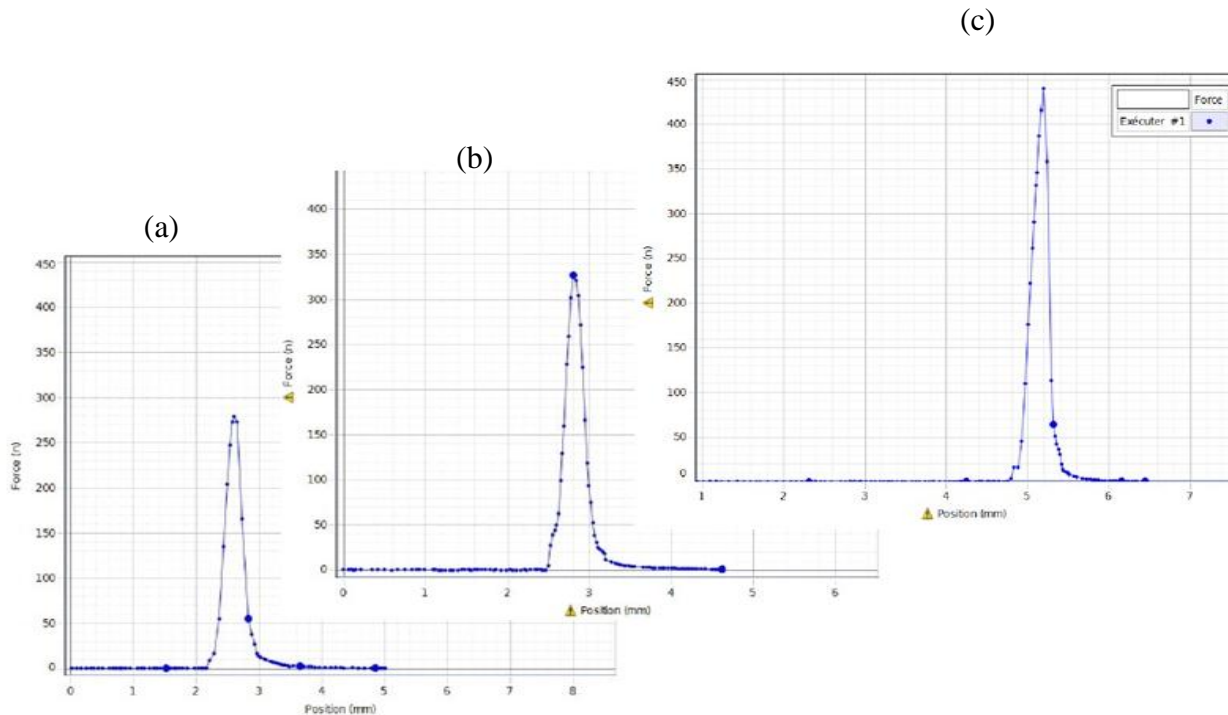


Figure II.10 : courbe représentative de la flexion mesurée des trois échantillons (a) : S-PS, (b): S-PS-PM, (c): S-PS-PF.

Les courbes précédentes montrent le début de la flexion des trois échantillons étudiés S-PS, S-PS-PM et S-PS-PF respectivement. Selon ces courbes, nous constatons :

- Début de flexion à la position 2.21 mm et une rupture à la position 2.60 mm qui est égale à sa force 279 N pour l'échantillon S-PS. [5]
- Pour l'échantillon S-PS-PM montre le début de flexion à la position 2.49 mm et une rupture à la position 2.80 mm dont la force appliquée est égale 326 N. [5]
- La courbe correspondante à l'échantillon S-PS-PF marque les positions de début de flexion et de rupture les plus élevés (début à 4.79 mm, la rupture à 5.19mm) avec une force appliquée de 440N. [5]
- En conclusion, l'échantillon dont PF est intégrée dans la matrice présente des valeurs supérieures à celles de l'échantillon S-SP-PM et quasiment le double de celle de l'échantillon S-PS. Tableau(II.8) (voir annexe). [5]

III.1- Introduction

Initialement, cette partie était portée sur la présentation d'une étude expérimentale sur le composé composite en proposant l'introduction d'un élément nouveau à la matrice du matériau. Cette introduction est réalisée suite à un remplacement de la poudre de fer par le caoutchouc, notée CTC. Hors, et, à raison de la pandémie COVID-19, seule l'étude préliminaire ESV et ESP portant sur l'équivalent de sable ont été réalisés. Par conséquent, nous étions dans l'obligation d'orienter le sujet vers une étude de synthèse sur les différents résultats obtenus dans des études antérieures, à savoir PFE 2017 et 2018.

III.2- Elaboration

Comme l'exige toute élaboration et de n'importe quel type matériau, il est important de connaître les propriétés chimiques, physiques et physicochimiques des produits de base, ainsi que les propriétés mécaniques, optiques...etc. du matériau ciblé. En ce qui concerne le matériau ciblé dans cette étude, il est primordial d'effectuer des études préliminaires sur le sable utilisé. Cette dernière se porte sur l'équivalent de sable ESV et ESP, l'étude minéralogique...etc. Les analyses réalisées durant l'année 2020 ce sont limitées aux analyses de sédimentologie pour les raisons évoquées dans l'introduction du chapitre. Elles sont réalisées au laboratoire de mécanique des sols du département de génie civil de l'université MSB-Jijel afin d'avoir une idée claire sur la taille moyenne des grains par tamisage, analyse ESV et le degré de propreté du sable utilisé, à savoir analyse ESP.

III.2.1- Tamisage

La réalisation de la granulométrie s'est effectuée par l'utilisation d'une série de tamis dont les diamètres 0.08/ 0.1/ 0.125/ 0.16/ 0.2/ 0.25/ 0.315/ 0.4/ 0.5/ 0.63. La réalisation est effectuée par tamiseuse électrique et non manuellement. Le protocole suivi est classique. Une masse de 2kg de sable est initialement pesée est soumise à une déshydratation à 105°C durant 24h suivie par un tamisage dans le premier tamis de diamètre 0.63 mm. Le refus est pesé puis noté pour la poursuite de l'opération pour le reste des tamis à diamètres différents.

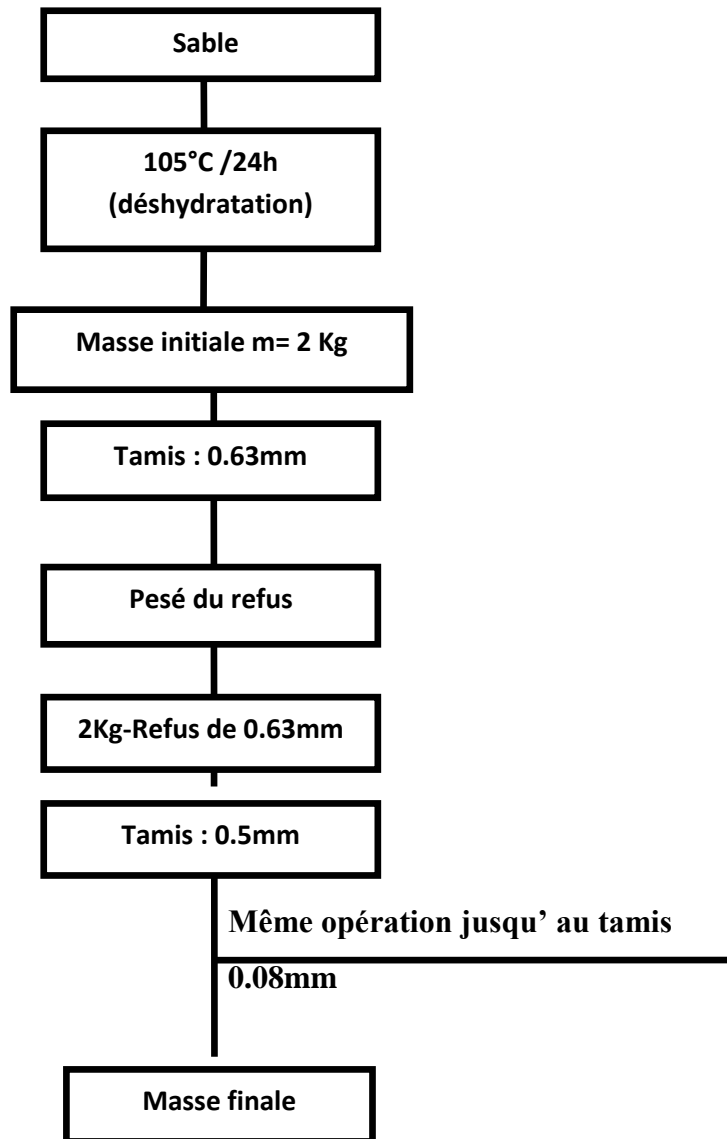


Figure III.1 : Etapes suivies pour le tamisage du sable étudié.

(a)



(b)



Figure III.2 : (a) : Pesage de sable, (b) : tamisage de sable dans la tamiseuse électrique.



Figure III.3 : Quantité de refus.

Le tableau qui suit, présente les dimensions des grains de sable utilisé. Il est nettement clair que ce dernier est classé parmi les sables les plus fins.

Poids de l'échantillon		Dimension tamis (mm)	Poids des refus partiels	Poids des refus cumulés	% des refus cumulés	Complément à 100 des refus cumulés	Tamisât
P	Grains fins	0.63	0.08	0.08	0.004	99.996	99.996
		0.5	1.39	1.47	0.0735	99.927	99.93
		0.4	18.62	20.09	1.0045	98.9955	99
		0.315	854	874.09	43.7045	56.2955	56.3
		0.25	766	1640.09	82.0045	17.9955	18
		0.2	237	1877.09	93.8545	6.1455	6.15
		0.16	102	1979.09	98.9545	1.0455	1.05
		0.125	19	1998.09	99.9045	0.0955	0.1
		0.1	0.95	1999.04	99.952	0.048	0.05
		0.08	0.16	1999.2	99.96	0.04	0.04

Tableau III.1 : Analyse granulométrique du sable de la plage de Zouay.

III.2.2- Analyse en sédimentologie ESV et ESP

L'analyse en sédimentologie du sable au niveau de l'équivalent de sable visuel et à piston est réalisée selon le protocole suivant :

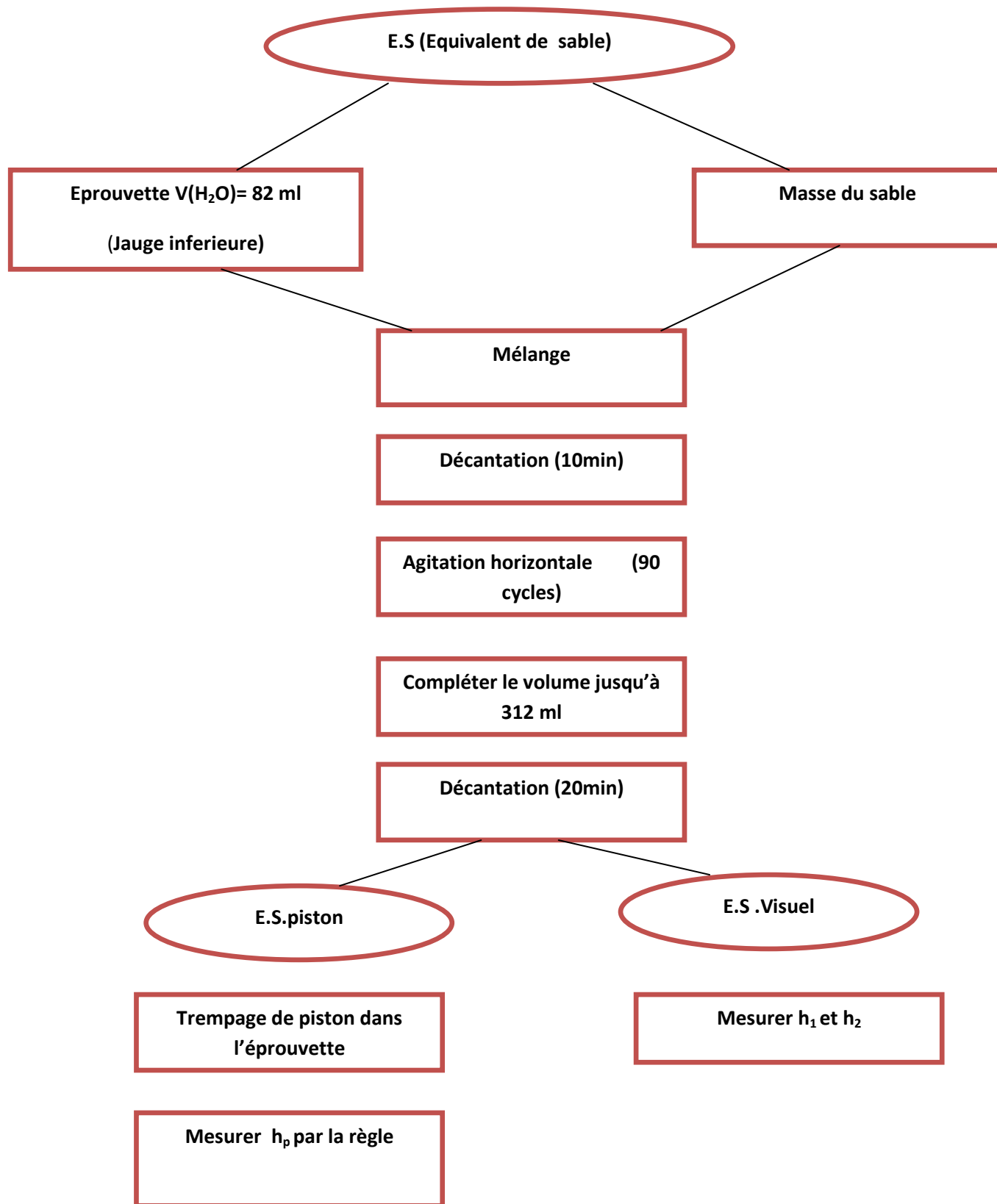


Figure III.4 : Etapes suivies pour la réalisation d'une analyse d'équivalent de sable (ESV et ESP).

Cet essai est réalisé selon les étapes suivantes :

- Vérification de diamètre inférieur de 0.63mm par tamisage.
- Vérification de masse de l'échantillon qui est égale à 120 g.
- Une éprouvette cylindrique doublement jaugée contenant du sable est placée verticalement. De l'eau distillée est ajoutée jusqu'à la jauge inférieure.
- La paroi de l'éprouvette est rincée afin de minimiser la perte de masse suivie par une décantation durant 10min.



Figure III.5 : Décantation de 10 min.

- Après décantation de 10 min, une agitation manuelle d'éprouvette est effectuée provoquant un mouvement en position horizontale de l'éprouvette. Ce mouvement est assuré par 90 tours de la manivelle. Une fois le mouvement est assuré, l'éprouvette est mise en position verticale et la paroi est rincée par l'eau distillée.
- L'éprouvette est remplie jusqu'à la jauge supérieure et mise en repos pour 20 min.



Figure III.6 : Agitation de l'éprouvette en position horizontale (90 cycles).

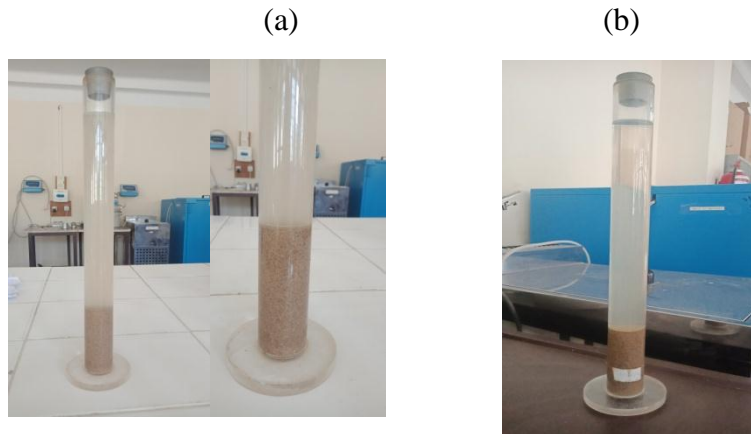


Figure III.7 : (a)Décantation de 20 min (b) : Décantation après 3 jours.

Aucune décantation n'a été observée après 20mins de repos. Cette opération est, donc, prolongée pour une période de 3 jours, à savoir 72 heures. Après 3 jours, nous n'avons observée, encore une fois, la trace de toute impureté ou poussière, ce qui nous permet de conclure que le sable utilisé est un sable propre.

Après la mesure de la hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette h_1 et la mesure la hauteur de la partie sédimenté par rapport au fond de l'éprouvette h_2 , et en appliquant les règles exprimant ESV et ESP en fonction de h_1 , h_2 et h_p (calcul de pourcentage) :

$$ESV = (h_1 / h_2) * 100$$

$$ESP = (h_p / h_2) * 100$$

** h_p : hauteur du sédiment au niveau de la face supérieure de manchon.

Nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau suivant :

Sable	ESV (%)	ESP (%)
Sable de plage Zouay	100	100

Tableau III.2 : Tableau des Résultats de ESV et ESP

Conclusion générale

Ce travail est consacré à la proposition d'une nouvelle approche expérimentale qui rentre dans le cadre général du recyclage du polystyrène récupéré de l'environnement tout en obtenant un matériau composite dans un milieu doux (aucun traitement thermique ou chauffage), par conséquent, la régénération de gaz toxique est évitée. Cette approche expérimentale est considérée comme non couteuse, prometteuse et simple à réaliser.

Toutefois, la contrainte majeure rencontrée durant la réalisation du mélange sable–(polystyrène solvant) est due à la solidification du mélange résultant du contact polystyrène-acétone (pâte). Cette solidification limite le contacte pâte-sable et rend le mixage mécanique très difficile. Afin de remédier à ce problème, il est plus que nécessaire de travailler avec un excès de solvant pour ralentir la solidification de la pâte déjà évoquée.

Le choix du matériau candidat est basé sur les pourcentages massiques de ses constituants. Pour ce choix, de multiples essais sont réalisés pour s'orienter vers les proportions adéquates. Il s'est avéré que le matériau candidat doit contenir deux tiers de la masse générale en sable et un tiers de polystyrène pâteux. Suite à son élaboration, nous avons observé, au niveau visuel, la présence de déformations ainsi que des gonflements après l'étape du séchage. Afin de soigner cette apparence physique, le matériau considéré comme matériau de référence est chargé en poudre de marbre et/ou poudre de fer dont les proportions sont bien précises, à savoir, la quantité de PF et/ou PM occupe 25% de pourcentage de sable présent dans le mélange.

Les essais mécaniques réalisés sur le matériau non chargé et sur les matériaux chargés en poudre de marbre et en poudre de fer, à savoir, micro-dureté, dureté superficielle et flexion, révèlent que le matériau chargé en poudre de fer présente une meilleure résistance au choc par rapport à l'échantillon de référence et celui chargé en poudre de marbre, et, qu'il présente la résistance à la rupture la plus élevée. Par conséquent, ce dernier, est considéré pour le moment étant le matériau candidat pour tout usage et utilisation.

Annexe

m(PS)	G	190
m(S)	G	380
m total	G	570
m pesé du matériau = m réelle	G	451.08
V moule	cm ³	337.5
m Acétone déduise = m total m pesé	G	118.92
ρ acétone	kg/m ³	784
V acétone volatilisé	MI	151.6
Temps de séchage de la pièce	Jours	10

Tableau II.1 : Fiche technique pour l'obtention du matériau dont $m(S) = 2m(PS)$.

m(PS)	G	211
m(S)	G	316.5
m(PM)	G	105.5
m total	G	633
m pesé du matériau = m réelle	G	513.44
V moule	cm ³	337.5
m acétone déduise= m totale- m pesé	G	119.56
ρ acétone	kg/m ³	784
V acétone volatilisé	MI	152.5
Temps de séchage de la pièce	Jours	10

Tableau II.2 : fiche technique pour l'obtention du matériau dont $m(S) = 2m(PS)$.

Poudre de marbre

m(PS)	G	218
m(S)	G	327
m(PF)	G	109
m total	G	654
m pesé du matériau = m réelle	G	525
V moule	cm ³	337.5
m acétone déduise= m totale- m pesé	G	129
ρ acétone	kg/m ³	784
V acétone volatilisé	MI	164.54
Temps de séchage de la pièce	Jours	10

Tableau II.3: fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de Fer.

martèlement	Contrainte (S-PS)	Moyenne des contraintes	Contrainte (S-PS-PM)	Moyenne des contraintes	Contrainte (S-PS-PF)	Moyenne des contraintes
1	9	18	16	18.5	23.5	18.65
2	17.5		20		12	
3	23		13.5		22.5	
4	17		18		20	
5	21.5		13.5		18.5	
6	18.5		22.5		23.5	
7	16.5		22.5		14	
8	17.5		19		17.5	
9	21.5		15		16	
10	18		25		19	

Tableau II.4 : valeurs des contraintes appliquées sur chaque échantillon.

Force (gf)	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	HV (kg/mm ²)
100	8793	8055	2.62
500	6146	8198	18.40
1000	8618	8799	24.45

Tableau II.5 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS.

Force (gf)	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	HV (kg/mm ²)
100	8470	8793	2.49
500	8612	8797	12.23
1000	8754	8633	24.54

Tableau II.6 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS-PM.

Force (gf)	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	HV (kg/mm ²)
100	5317	5877	5.93
500	5753	5940	27.13
1000	6035	5892	52.15

Tableau II.7 : micro dureté de Vickers pour l'échantillon S-PS-PF.

Caractéristique /échantillon	S-PS	S-PS-PM	S-PS-PF
h (mm)	10.37	9.63	10.4
b (mm)	32.47	34.08	32.20
l (mm)	3	3	3
Position de début de flexion	2.21	2.49	4.79
Position de rupture	2 .60	2.80	5.19
F (N)	279	326	440
δ	3.595	4.641	5.685

Tableau II.8 : Valeur des dimensions des éprouvettes, forces maximale appliquée et contrainte.

Références

- [1] : Boussehel Hamida, "Etude des moyens de stabilisation des composite à base de polystyrène", thèse de doctorat, université Mohammed Kheider.Biskra (2018).
- [2] : Abdellah Laour, Mohammed Lamine Bourib, "La valorisation des déchets plastiques pour l'obtention des matériaux à usage de décoration", Master, université Mohammed Seddik Ben Yahia (2018).
- [3] : Norme française NF, "Analyse de granulométrie", P94-056(1996).
- [4] : Carl Zeiss, Mikroskopie, D-07740 Jena, B 40-002 (12/98).
- [5] : Menia Sarra , "Comportement à long terme et essai mécanique de la rupture d'un matériau obtenu par la valorisation du polystyrène", Master, université Mohammed Seddik Benyahia (2018).
- [6] : <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-polystyrene---caracteristiques-et-applications-1383.htm>