

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik

Ben Yahia-Jijel



Faculté des sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire

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

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie des Procédés des Matériaux

La valorisation des déchets plastiques pour l'obtention des matériaux à usage de décoration

Encadré par :

M^{ed} El Hachemi Arada

Réalisé par :

❖ ***Abdellah Laouar***

❖ ***Mohammed Lamine Bourib***

2018

Remerciements

Avant tout, nous remercions le Bon Dieu de nous donner la force et la volonté pour réaliser ce travail.

Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à Monsieur M^{ed} El Hachemi Arada de nous avoir encadré pendant notre travail. Il a su nous transmettre sa passion pour le domaine de la recherche au niveau bibliographique comme au niveau expérimental.

Nous remercions les membres du laboratoire MPCA, pour leurs conseils et leurs soutiens durant la réalisation de notre travail.

Nous voudrions également remercier le personnels du laboratoire de Mécanique des sols en particulier Madame Souad Hank celui du laboratoire de Paléontologie monsieur Malek Bourehla ainsi que Monsieur Mourad-Grimes enseignant du département d'électronique...

C'est un grand plaisir pour nous de remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A ma source de bonheur :

*Mon père, ma mère pour leurs amours, leurs bontés, leurs sacrifices,
leurs encouragements perpétuels et leurs soutiens. Puisse dieu prolonger
leur vie dans le bonheur.*

A mon frère et mes sœurs

A toute la famille Bourib

A mon monôme et mon cher ami Abdellah Laouar

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

*A tous mes collègues de la promotion du génie des procédés et en
particulier:*

Houssam, Mohammed, nedjmedine, Tarek

Mohammed Lamine

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents, qui ont consacré leurs existences à bâtir la mienne, pour leurs bontés, leurs sacrifices et leurs soutiens. Que Dieu procure bonne santé et longue vie.

A mes frères et mes sœurs en témoignage de la fraternité avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès

A toute la famille Laouar.

A mon monôme Hamou, et mon cher ami Bassem qui nous a été d'un aide très précieux.

Je ne saurais terminer sans citer ma promotion de master génie des procédés et en particulier:

Rougie, Houssam, Tarek, Nadjmou, Asma, Lamia.

Enfin je dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous qui m'aiment et que me connaissent.

Abdellah

Introduction Générale	1
<u>Chapitre I Bibliographie sur les matériaux de base et analyses préliminaires</u>	
I.1- Le Plastique	2
I.1.1- Les thermoplastiques	2
a)-Le polyéthylène.....	2
b)- Le polypropylène	3
c)- Le polystyrène	3
d)- Polycarbonate	4
e) - Les polyesters et polyéthylène téréphtalate.....	4
f)-Polyacétals ou polyoxyméthylène.....	4
g)- Polychlorure de vinyle(PVC).....	4
h)- Les polyamides	5
I.1.2- Les thermodurcissables	5
a)- Polyuréthane.....	5
b)- Polyesters insaturés	5
c)- Phénoplastes	5
d)- Aminoplastes.....	6
I.1.3-Les élastomères	6
I.2- Le polystyrène	6
I.2.1- Différents Types de polystyrène	8
I.2.2- Formes de polystyrène	9
I.2.2.1- Polystyrène standard (cristal)	9
I.2.2.2- Polystyrène expansé (PSE).....	9
I.2.2.3- Polystyrène choc	10
I.2.3- Propriétés du polystyrène.....	10
I.2.4- Usage et utilisations du polystyrène	11

I.3- Le recyclage.....	12
I.4- Le sable.....	13
I.4.1- Définition	13
I.4.2- Différents types de sable.....	13
I.4.2.1- Sable naturel	13
I.4.2.2- Sables artificiels	14
I.4.3-Qualités requises pour un sable naturel et/ou artificiel.....	14
I.4.4- Utilisation	14
I.4.5- Etude Sédimentologie.....	15
I.4.5.1- Analyse granulométrique du sable	15
I.4.5.2- L'équivalente de sable	16
I.4.5.-Morpho scopie.....	19

Chapitre II

Expérimentation et Résultats

II.1-Introduction.....	22
II.2- L'idée	23
II.3- Description de notre approche pour l'élaboration du matériau.....	24
II.4- Elaboration	27
II.4.1- Analyse préliminaire par microscopie binoculaire.....	27
II.4.2- Analyses préliminaire de sédimentologie.....	30

II.4.2.1- Tamisage.....	30
II.4.2.2- Analyse en sédimentologie ESV et ESP.....	37
II.4.3- Elaboration du matériau dans le système S-Acétone-PS.....	38
II.4.4 Elaboration du matériau dans le système Sable-Acétone-PS-PM.....	41
II.4.5- Elaboration du matériau dans le système Sable-Acétone-PS-PF.....	43
II.5- Conductivité électrique du matériau S-PS_{pâte}-Poudre de Fer.....	50
II.6- Comportement aux produits chimiques du matériau.....	51
II.7- Applications.....	54
Conclusion Générale et perspectives	55

Liste des Tableaux

- Tableau [I.1]:** Comparaison des différents types de polystyrène.
- Tableau [I.2]:** Classification des granulats selon les dimensions extrêmes.
- Tableau [I.3]:** Quelques valeurs souhaitables de ES.
- Tableau [II.1]:** Analyse granulométrique du sable des grottes merveilleuses.
- Tableau [II.2]:** Analyse granulométrique du sable de la plage d'Andreux.
- Tableau [II.3]:** Analyse granulométrique du sable de la plage de Kissir.
- Tableau [II.4]:** Analyse granulométrique du sable de la plage des aftis.
- Tableau [II.5]:** Les résultats ESV et ESP en pourcentage obtenu après mesure et réalisation des calculs selon les expressions (1) et (2).
- Tableau [II.6]:** Cohabitation massique PS-S en présence de l'acétone pour la réalisation du mélange avant le mixage.
- Tableau [II.7]:** Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes.
- Tableau [II.8]:** Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de marbre.
- Tableau [II.9]:** Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de fer.
- Tableau [II.10]:** Présentation des gonflement/déformation dans les systèmes étudiées.
- Tableau [II.11]:** Comportement immédiat du matériau au contact de solutions corrosives (SIMDUT : Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail).
- Tableau [II.12]:** Comportement du matériau après 24h de contact avec des solutions corrosives.

Listes Des Figures

- Fig [I.1]:** Polystyrène expansé.
- Fig [I.2]:** Formule développé du polycarbonate.
- Fig [I.3]:** Polymérisation radicalaire du styrène.
- Fig [I.4]:** Les formes stéréochimiques du polystyrène.
- Fig [I.5]:** Types d'emballage de polystyrène post-consommation.
- Fig [I.6]:** Une loupe binoculaire (vue de côté).
- Fig [I.7]:** Représentation des grains non usés (N.U.), émoussés luisant (E.L) Et rond mats (R.M).
- Fig [I.8]:** Détermination visuelle de l'émoussé de la sphéricité des grains.
- Fig [II.1]:** Etape de la valorisation par régénération.
- Fig [II.2]:** Représentation de notre approche pour l'élaboration du matériau.
- Fig [II.3]:** Etapes suivies pour le tamisage des sables étudiés.
- Fig [II.4]:** Superposition des courbes de l'analyse granulométrique des sables étudiés
- Fig [II.5]:** Etape suivie pour la réalisation d'une analyse d'équivalent de sable.
- Fig [II.6]:** Matériau obtenu suite a la combinaison de $m(S) = 3m(PS)$ montrant les gonflements et déformations. S=Sable1.
- Fig [II.7]:** Echantillons du matériau d'essai pour les quantités massiques (a): $m(S) = 2m(PS)$ et (b) : $m(S) = 1,5m(PS)$. S=Sable 2 et 4 respectivement.
- Fig [II.8]:** Matériau final a grande échelle (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S) = 2m(PS)$. S=Sable4.
- Fig [II.9]:** Echantillons du matériau d'essai pour les quantités massiques $m(S) = 1,5m(PS)$ et $m(PM) = 0,5m(PS)$. Sable4.
- Fig [II.10]:** Matériau final (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S) = 1,5m(PS)$ et $m(PM) = 0,5m(PS)$. S=Sable4.
- Fig [II.11]:** Echantillon d'essai dans le système S-PS-PF-Acétone. S=Sable4.
- Fig [II.12]:** Matériau final (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S) = 1,5m(PS)$ et $m(PM) = 0,5m(PS)$. Sable2.

Fig [II.13]: Existence de cavités considérable au sein du matériau.

Fig [II.14]: Diminution claire des cavités au sein du matériau qui contient la poudre de marbre.

Fig [II.15]: Diminution considérable de cavités au sein du matériau par rapport aux deux.

Fig [II.16]: Montage assurant l'agitation mécanique et mouvement vibrationnel.

Fig [II.17]: Matériau obtenu après satisfaction du facteur vibrationnel pour amoindrir le nombre des pores. (a) vibration interne, (b) vibration externe ($t=20\text{mns}/3000\text{Vib}/\text{min}$), (c) sans vibration.

Fig [II.18]: Test au multimètre réalisé sur le matériau armé avec la poudre de fer.

Fig [II.19]: Brique pour petites muraille et forme carré pour revêtement.

Liste des abréviations

- PS:** polystyrène
- PEBD:** polyéthylène basse densité
- PEHD:** polyéthylène haute densité
- HIPS:** High-Impact Polystyrène
- PVC:** Polychlorure de vinyle
- PSA:** polystyrène atactique
- PSI:** Polystyrène isotactique
- PSS:** Polystyrène syndiotactique
- PSE:** Polystyrène expansé
- GPPS:** Général Purpose Polystyrène
- PSR:** polystyrène rigide
- DVD:** Digitaux Versatiles Disc
- ESV:** L'équivalente de sable visuel
- ESP:** L'équivalente de sable piston
- NU:** Non usés
- RM:** Rond mats
- EL:** émoussés luisant
- PM:** Poudre de marbre
- PF:** Poudre de fer

Introduction générale

Introduction Générale

L'inquiétude de l'homme s'est portée sur son environnement suite aux résultats de l'impact négatif de son intervention direct sur celui-ci en causant, pollution, déséquilibre de l'écosystème, exploitation illimitée des ressources naturelles...etc.

Dans le domaine des matériaux et afin d'optimiser au minimum ses dégâts pour sa propre évolution de manière saine, l'homme s'est orienté vers la valorisation et le recyclage des matériaux. La première notion consiste d'une manière générale, à transformer les matériaux en énergie et une de propre, comme fut le cas de la production du Biogaz par les procédés de la méthanisation. La seconde notion qui est le recyclage, consiste à donner une nouvelle vie aux matériaux pour d'éventuels usages et utilisation.

Notre travail rentre dans le cadre de la valorisation et le recyclage d'un matériau (cas d'étude : polystyrène) afin d'obtenir un matériau (pour la décoration extérieure) à base de matériau récupérés et/ou disponibles. Il est présenté en deux parties, la première partie consiste à présenter une investigation bibliographique et la seconde est une d'expérimentale. Dans cette dernière, nous présentons nos analyses préliminaires, comme l'analyse d'équivalent de sable pour avoir une idée sur le degré de la propreté du sable utilisé, une analyse granulométrique pour connaître la catégorie d'appartenance du sable utilisé (fin, gravillon, cailloux...etc.), et enfin une analyse microscopique par le microscope binoculaire (analyse morphoscopique). Bien évidemment, le procédé de fabrication que nous avons élaboré pour l'obtention du matériau ciblé est explicitement présenté suivit par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I : Bibliographie sur les
matériaux de base
et analyses préliminaires

I.1- Le Plastique

Le plastique est un ensemble de matières organiques de synthèse fondé sur l'emploi de macromolécules (Polymères). Ces matériaux organiques sont suffisamment modelables pour être mis en forme sous les effets de la pression et de la température avant de se solidifier [1]. Il existe plusieurs types de matière plastique synthétique dont le classement peut se résumer comme suit :

- Les thermoplastiques
- Les thermodurcissables
- Les élastomères

I.1.1- Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent (rendre moins dur) sous l'effet de la chaleur, ils deviennent souples et très malléables (maniabiles). La transformation d'un état initial à un état final est réversible. Ils gardent les mêmes propriétés et ils sont recyclables. Leurs polymères sont constitués de macromolécules linéaires reliées par des liaisons faibles, qui sont donc facile à briser sous l'effet de la chaleur [1]. Ce type de plastique, engendre huit (8) autres catégories qui sont présentés comme suit:

a)-Le polyéthylène

La structure du polyéthylène $(-\text{CH}_2-\text{H}_2\text{C}-)_n$ est simple et cette simplicité structurale prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Il présente à lui seul 1/3 de la production totale des matières synthétiques et il est aussi considéré étant un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan écologique et économique.

Les polyéthylènes peut se présenter en PEBD (polyéthylène basse densité) dont sa densité est inférieure à celle de l'eau, il présente une bonne résistance chimique, et, est olfactivement (odorat concernant les substances chimiques volatiles), gustativement et chimiquement neutre. Il est transparent et se prête très bien au soudage. Comme il peut se présenter en PEHD (polyéthylène haute densité). Ce dernier est utilisé pour des produits rigides tels que les tuyaux, flacons, sacs poubelles, jouets...etc. Sa flexibilité est considérée comme bonne. Connue par sa résistance aux microondes, aux acides, alcools aliphatiques aldéhydes, et sa faible résistance aux agents oxydants [1].

b)- Le polypropylène

Le polypropylène est un polymère très polyvalent qui sert souvent comme fibre. Il n'absorbe pas l'eau, et, est très facilement colorable. On peut le trouver dans l'équipement d'automobile comme le pare-chocs ou l'habillage de l'habitacle (cockpit des avions) [1].

c)- Le polystyrène

Le polystyrène est un matériau dur, se présentant 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 plastiques. 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, 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 normale peut résister
- Le polystyrène expansé : Ce matériau est le plus connu de la gamme des polystyrènes. Il se présente sous forme de mousse compacte, inflammable et combustible [1].

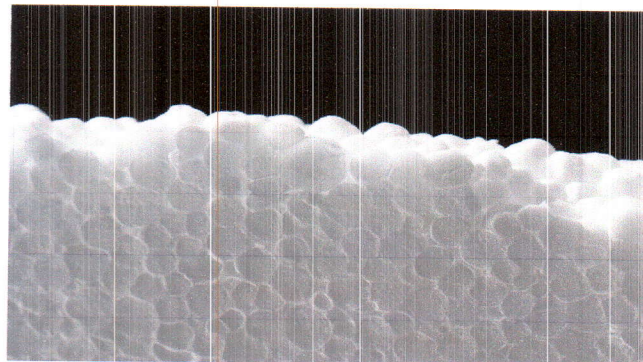


Fig [I.1]: Polystyrène expansé.

d)- Polycarbonate

Le polycarbonate a d'excellentes propriétés mécaniques et une résistance thermique jusqu'à 120°C. Il est le plus souvent pour des casques de motos, ou des boucliers de police. C'est un matériau qui sert à la fabrication des CD ou DVD et les vitres à l'épreuve de balles car il est transparent. Il ne résiste pas à une durée longue sous l'eau, aux agents chimiques et aux UV [1].

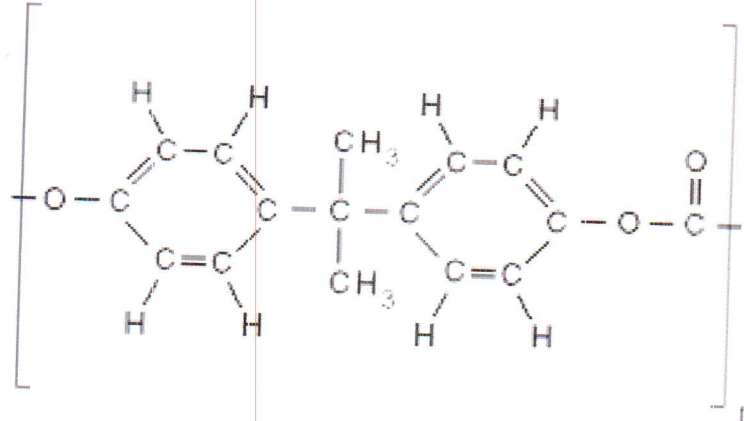


Fig [I.2]: Formule développée du polycarbonate.

e)- Les polyesters et polyéthylène téréphtalate

C'est un polymère obtenu par polycondensation de deux composants : le diméthyle-téréphtalate ($6H_4(CO_2CH_3)_2$) et l'éthylène glycol ($C_2H_6O_2$). Il est surtout utilisé pour la fabrication de bouteilles, et de fils textiles.

f)- polyacétals ou polyoxyméthylène

Ils ont des propriétés qui les rendent irremplaçables pour des pièces à fortes exigences mécaniques comme les engrenages et les poulies. Ils sont solides, possèdent des propriétés tel que les métaux et résistent à la plupart des agents chimiques.

g)- Polychlorure de vinyle(PVC)

Même avec son impact écotoxique (utilisation chlorure de vinyle pour sa fabrication, qui, est considéré comme gaz explosif et cancérigène) et sans parler des additifs qu'on lui ajoute (nocif pour la santé le PVC reste la matière la plus utilisée dans le bâtiment (Fenêtre, câble électrique, tuyaux, canalisation, gouttières...etc.).

h)- Les polyamides

Les polyamides connaissent une limite dans leurs utilisations à cause de leur caractéristique hydrophile, néanmoins, ils connaissent une utilisation dans la réalisation des pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile [1].

I.1.2.- Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. Sous de trop forte température, après avoir déjà pris en première forme, ils se dégradent et brûlent. Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière garde sa première forme car ses liaisons sont croisées et il n'y a pas de glissement entre les chaînes.

a)- Polyuréthane

Ce sont des matériaux avec des propriétés et textures variées. Ce matériau est fort utilisé pour faire de la mousse. Il est formé par l'association d'un isocyanate (composé organique comprenant la séquence : $-N=C=O$ avec un alcool (polyol)). L'obtention des colles, des élastomères, des fibres (Licra) des mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, des polyuréthanes solides et compacts que l'on peut renforcer par de la fibre de verre dépend directement des fonctions des associations chimiques réalisées avec des différents monomères.

b)- Polyesters insaturés

Les polyesters insaturés sont obtenus par réaction de condensation entre différents polyacides et des glycols (éthylène glycol, propylène glycol). Ces produits, appelés aussi époxydes, sont des substances chimiques comportant un oxygène ponté sur une liaison carbone-carbone.

c)- Phénoplastes

Dans ce groupe, une des plus anciennes matières plastiques connue est la Bakélite. Ce matériau providentiel a eu d'innombrables applications dans les domaines scientifiques comme dans la réalisation d'objets tels que le téléphone ou poste de radio. Ces résines thermodurcissables résistent très bien aux produits chimiques et à la chaleur. Elles sont également électriquement isolantes. Elles se transforment par moulage comme par compression pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.

d)- Aminoplastes

Ces produits résineux sont essentiellement utilisés en stratification (disposition des strates superposés) sur des textiles plastifiés, les panneaux de bois agglomérés pour le mobilier de cuisine et les plans de travail [1].

I.1.3- Les élastomères

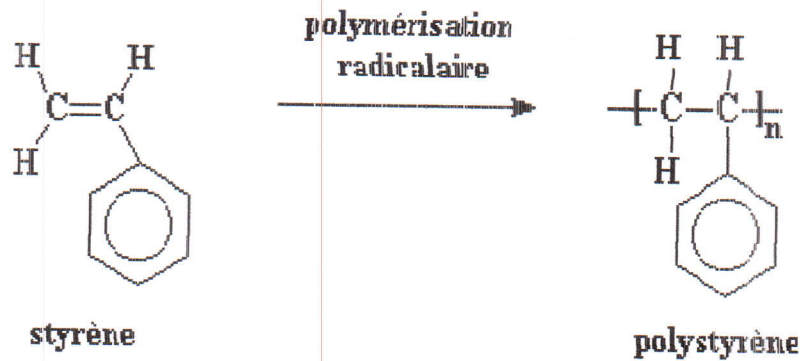
Ces polymères possèdent les mêmes propriétés que le caoutchouc, ils se présentent sous forme de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes lorsque ceux-ci sont au repos. Les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres pendant la présence d'une contrainte. Pour l'obtention d'une base de bonne élasticité, il est nécessaire de réaliser une vulcanisation qui consiste à l'introduction, du soufre, du carbone et d'autres agents chimiques. Cette introduction permet la création d'un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans pour autant supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires.

Les élastomères sont utilisés pour faire des coussins, des pneus, des semelles de chaussures...etc [2].

Toutefois, nous tenons à signaler que parmi tous les matières plastiques évoquées au dessus, le polystyrène a eu une considération particulière durant notre recherche bibliographique car il constitue un des matériaux de base pour l'élaboration du matériau ciblé.

I.2- 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 a la mise en œuvre du premier procédé pour sa fabrication à l'échelle industrielle. La polymérisation est la réaction la plus répandue pour son obtention durant les années 40. Vers les années 60, un procédé appelé « masse continu » triomphe. La réaction de polymérisation du styrène liquide radicalaire, en suspension ou en masse, satisfait l'obtention de cette matière. Il faut noter que durant le stockage et le transport du styrène liquide, une polymérisation à basse température est possible, pour l'éviter, le monomère est stabilisé avec des inhibiteurs tels que le 4-tert- butylcatéchol [3].

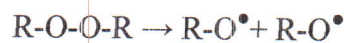


Fig[I.3]: Polymérisation radicalaire du styrène.

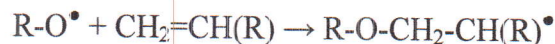
La polymérisation radicalaire par addition, d'une manière générale (présence de $h\nu$) effectuée en trois étapes selon ce qui suit:

- Etape 1: initiation

Cette étape est appelée aussi amorçage de la réaction, durant cette étape le peroxyde R-OO-R est attaqué par les ondes électromagnétique $h\nu$ pour donner naissance au radicaux libres RO^\bullet .

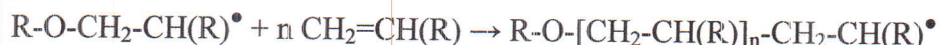


L'un des radicaux libre formé attaque à son tour une unité monomérique, pour la formation du radical libre $R-O-CH_2-CH(R)^\bullet$ selon la réaction suivante [4]:



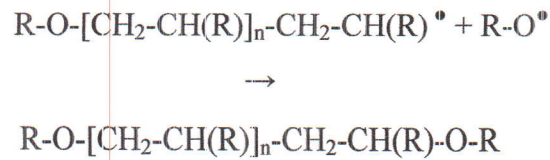
- Etape 2: La propagation

Elle consiste à la réalisation d'un allongement progressif de la chaîne. Cet allongement est possible par l'attaque des radicaux libres formés à l'étape de l'amorçage ($R-O-CH_2-CH(R)^\bullet$) sur d'autres unités monomériques. Il s'exprime comme suit:

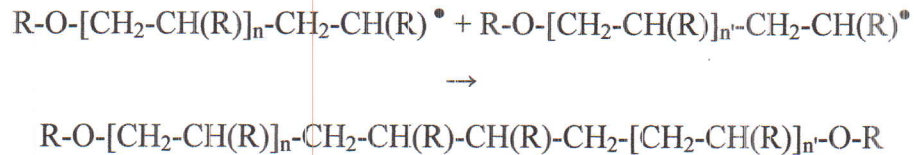


-Etape 3: La terminaison

La terminaison des chaînes peut survenir par couplage radicalaire entre $R-O-[CH_2-CH(R)]_n-CH_2-CH(R)^\bullet$ et $R-O^\bullet$:



Comme par combinaison des radicaux libres $R-O-[CH_2-CH(R)]_n-CH_2-CH(R)^\bullet$ et $R-O-[CH_2-CH(R)]_n-CH_2-CH(R)^\bullet$ selon le concept suivant:



I.2.1- Différents Types de polystyrène

Le polystyrène peut se présenter en polystyrène atactique (PSA), syndiotactique (PSS) ou isotactique (PSI), mais la forme stéréochimique dont la plus grande quantité de production est la première (Fig [I.4]). Les deux autres restants peuvent être obtenus par la catalyse organométallique. Parmi ces trois types, seul le polystyrène syndiotactique (SPS) trouve des applications de niche. On représente une comparaison des caractéristiques sur le tableau [I.1].

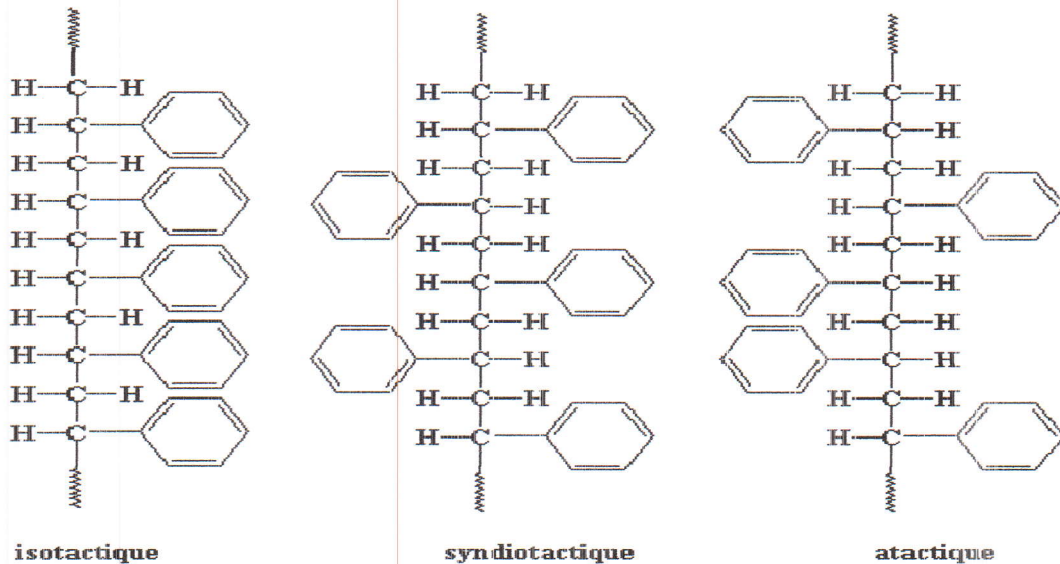


Fig [I.4]: Les formes stéréochimiques du polystyrène.

	Atactique (PSA),	Syndiotactique (PSS)	Isoatactique (PSA)
Taux de cristallinité	Amorphe	Moyen	Elevé
Point de fusion	Non	270°C	240°C
Produit commercial	Oui	Peu	Non
Première fabrication		1985: N.ishihara (idemitsu Kosan)	1955:Giulio Natta

Tableau [I.1]: Comparaison des différents types de polystyrène.

I.2.2- Formes de polystyrène

Le polystyrène (PS) se présente en trois formes distinguées, et, qui sont PS standard (cristal), le PS choc (High impact- HIPS) et le PS expansé (PSE).

I.2.2.1- Polystyrène standard (cristal)

Le polystyrène standard (cristal), considéré étant le premier PS obtenu par polymérisation, est appelé GPPS (Général Purpose Polystyrène) ou le PSR (polystyrène rigide). Comme nous l'avons évoqué précédemment, Il n'a pas de structure cristalline, c'est un polymère amorphe, transparent, brillant, rigide, cassant et pouvant être coloré. Essentiellement, il trouve une application pour la fabrication des boîtiers CD, comme dans la fabrication des boîtiers Digitaux Versatiles Dise (DVD), les gobelets transparent, ce type de PS n'est autre qu'un PS (cristal) modifié.

I.2.2.2- Polystyrène expansé (PSE)

Il se présente sous forme de mousse compacte, il est à la fois inflammable et combustible. Il existe deux types de PSE, le PS expansé moulé (PSE-M) et le PS expansé extrudé (mise en œuvre suite à un écoulement liquide).

Le premier est obtenu d'un PS expansible composé de perles de PS (billes sphériques) de type standard (cristal) contenant un agent d'expansion (un solvant à forte tension de vapeur), par exemple le pentane ajouté lors de la polymérisation du PS.

Après l'expansion des perles qui se réalise par effet thermique (mélange avec de la vapeur d'eau), elles peuvent atteindre un volume de 60 fois le volume des perles pré expansion. Elles sont ensuite stabilisées, soudées entre elles dans des moules. Cette soudure s'effectue via un nouveau chauffage à vapeur.

I.2.2.3- Polystyrène choc

La polymérisation du styrène permet d'obtenir le polystyrène choc en présence d'un élastomère (caoutchouc synthétique) pour le renforcement du polystyrène. Le PS choc est une macromolécule copolymère (existence au minimum de deux monomères constituant la macromolécule). Cette molécule est constituée de deux phases distinctes. Une, continue, composé de PS, cette phase est appelée la matrice, l'autre dite discontinue présentée par polybutadiène en forme nodules et qui est dispersé dans la matrice. Toutefois, il faut signaler que ces deux phases n'ont pas le même indice de réfraction, ce qui explique la couleur de PS choc qui du translucide devient opaque. La cohabitation des deux phases offre au PS une résistance au choc, et, qui dépend directement de la teneur en polybutadiène. Cette résistance au choc est plus considérable que celle du PS normal [5].

I.2.3- Propriétés du polystyrène

En pratique, le polystyrène montre une très faible résistance chimique et présente une très faible résistance à la fissuration. Au niveau de l'isolation électrique, il offre de bonnes propriétés avec la caractéristique de pouvoir recevoir des additifs pour devenir conducteur et/ou antistatiques (annulation de l'accumulation électrique statique), par contre au niveau du transfert chaleur, il la conduit faiblement.

Vis-à-vis du feu, son comportement est bien connu, il peut facilement brûler tout en leur donnant une douce odeur. Dans les réactions de combustion, le PS se décompose à 300°C avec la formation de dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, mais si la combustion était incomplète (réaction partielle), l'oxyde de carbone (CO) sera ajouté. Toutefois, il faut signaler que les oxydes d'azote sont toujours présents lorsque toutes les combustions ouvertes utilisent l'air contenant 78% d'azote en plus de l'oxygène. La combustion ajoutera alors les produits de décomposition de ces ignifugeants.

Par rapport aux réactions radicalaires, l'oxydation des polymères styréniques est provoquée par une exposition prolongée à l'extérieur. La couche superficielle des objets

devient jaunâtre et s'effrite. L'amélioration de la résistance du vieillissement des produits de décomposition complémentaire résultant de la combustion peut être faite à travers l'incorporation d'agents protecteurs ou la coloration.

Le polystyrène réagit avec de nombreux solvants, il résiste aux produits inorganiques (solution aqueuses). Sa résistance aux acides et les bases ainsi qu'aux agents oxydants et/ou réducteurs est assez considérable. Il montre un gonflement lorsque il est au contact avec les acides concentrés ainsi que les hydrocarbures, il se dissout facilement dans l'acétone. Il peut être affaibli par les corps gras.

Au stade de la thermodynamique, Le PS possède un pouvoir calorifique élevé (de 31700 à 41200 kJ/kg). Il est également imperméable et son absorption d'eau est très faible. Il est classé comme non biodégradable dans un horizon séculaire, comme tous les polymères basés sur une chaîne d'hydrocarbure [3].

I.2.4- Usage et utilisations du polystyrène

En raison de ses propriétés et son faible coût, le PS peut être utilisé dans de nombreuses applications et dans différents domaines. Certaines caractéristiques favorisent l'utilisation de PSE dans différents application : il est léger (composé de 98% d'air et de 2% de matrice solide) ce qui limite l'impact sur le poids. Il offre une protection pour les produits fragiles emballés avec un coût moindre que les autres types d'emballages. Ces propriétés d'isolation thermiques aident à garder les aliments au chaud ou au froid.

Sa constitution d'alvéoles (cavités) remplies d'air procure au PSE d'exceptionnelles propriétés d'amortissement aux chocs. De ce fait, il est utilisé dans les emballages protecteurs pour l'expédition de matériel électronique et autre articles fragiles.

Les PSE ont les caractéristiques de la stabilité, la durabilité et la capacité de travailler dans l'humidité, ce qui améliore largement son utilisation dans l'isolation thermique, dans le secteur de la construction et du froid (camions frigorifiques, glacières et chambre frigorifiques). Il est également utilisé en milieu agricole (contenants de semis et bacs à fleurs) car il empêche le développement des bactéries et des moisissures.

Au niveau de l'application ou la transparence et la rigidité sont nécessaire, le choix se porte sur le PS standard. Il est utilisé pour la fabrication des produits tels que les couverts, les tasses, les récipients de yogourt, de boulangerie, de fruits et de légumes. Les boîtes de pétri et autres contenants de laboratoire tels que tubes à essai et microplaques sont aussi faites a base de PS.

Il trouve aussi une des applications dans la fabrication des jouets, des équipements récréatifs et les articles ménagers. Il est utilisé dans le domaine de l'audio vidéo : boîtiers de Compact Disc (CD) et de DVD, parties de téléviseurs, parties de chaîne stéréo [4].



Fig [I.5]: Types d'emballage de polystyrène post-consommation.

I.3- Le recyclage

Le recyclage des matériaux rentre dans le cadre général de la valorisation de la matière. Cette valorisation s'étale jusqu'à la valorisation énergétique (transformation de la matière en énergie) en passant par l'incinération classique. Néanmoins, cette dernière est considérée comme polluante à cause des réactions mises en jeu, que ce soit celle de la combustion partielle ou celle de la combustion totale de la matière à valoriser. Le recyclage du plastique peut s'effectuer selon deux voies, ses dernières sont choisies selon l'usage et l'utilisation du plastique à recycler:

- Recyclage chimique
- Recyclage mécanique

La première voie est basée sur le principe de l'élimination des constituants du plastique en ne gardant seule la molécule de base. Parmi ce type de recyclage, nous pouvons citer la décomposition chimique. Contrairement à la première voie évoquée, la seconde est basée sur la transformation minérale de la matière recyclée. Cette technique est utilisée pour le traitement de la matière thermoplastique [6].

I.4- Le sable

I.4.1- Définition

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 sable graveleux. Ainsi, il existe de différents types de sable, et selon chaque type, des usages et utilisations lui sont attribués [7].

I.4.2- Différents types de sable

I.4.2.1- Sable naturel

Généralement, ces sables trouvent origines des rivières, des carrières et des mers rivières et reliefs montagneux. Concernant la première 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 duretés. 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 d'éventuelles 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 [7].

I.4.2.2- Sables artificiels

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé qui a subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé [7].

I.4.3-Qualités requises pour un sable naturel et/ou artificiel

D'une manière générale, La qualité d'un sable est jugée selon deux points [7] :

- 1- Il ne doit pas renfermer plus de 3 % d'impuretés (limons, produits industriels nocifs, poussière ...etc.).
- 2- Il doit être composé de grains de taille et de dimensions différentes, de manière à remplir les vides laissés entre les divers types de granulats.

I.4.4- Utilisation

Les sables naturels et/ou artificiels sont utilisés dans le domaine de la construction pour la fabrication de mortiers et de béton car leur présence augmente l'ouvrabilité du mortier ou du béton en le rendant plus dense. Toutefois, si les sables ronds sont plus malléables, les sables angulaires ont la particularité de rendre le béton plus résistant. Pour les sables artificiels provenant du laitier, des mesures particulières sont à prendre en considération car ce type de sable peut altérer les liants (ciments).

Durant notre investigation bibliographique, nous sommes intéressés au sable naturel issue des mers (plages), qui est un constituant de base de la matrice du matériau ciblé au chapitre suivant. Ainsi, il est primordial de connaître et d'évoquer certaines analyses habituelles le concernant que ce soit dans le domaine du génie civil (granulométrie et équivalent de sable) ou dans celui de la géologie (analyse morphoscopique, analyse chimique).

I.4.5- Etude Sédimentologie

I.4.5.1- Analyse granulométrique du sable

Un granulat est défini comme un ensemble de grains minéraux, de dimension limitée à 00 et 125 mm. Il peut être classé selon sa dimension : fillers, sablons, sables, gravillons, graves on ballast. L'analyse granulométrique permet d'avoir une idée bien précise sur la distribution dimensionnelle des grains qui composent un granulat avec les dimensions limites (0,063 et 125) mm. Ainsi, l'analyse granulométrique présente en deux périodes:

- Refus sur tamis : il présente la quantité de matériaux qui est retenue sur le tamis.

- Tamisât (ou passant) : présentant la quantité de matériaux (sable) qui passe à travers le tamis. De point de vue granulaire, le granulat est caractérisé par sa classe 'd/D' où 'd' est le diamètre minimum des grains et 'D' le diamètre maximum. Lorsque le diamètre 'd' est inférieur à 0,5 mm le granulat désigné est '0/D'. leurs classification est effectuée selon les dimensions extrêmes d et D comme suite:

Granulaires	rapport	Dimension extrêmes (mm)
Les fines	0/D	$D \leq 0.08$
les sables	0/D	$D \leq 6.3$
Les gravillons	$\frac{d}{D}$	$d \geq 2 \text{ et } D \leq 31.5$
Les cailloux	$\frac{d}{D}$	$d \geq 20 \text{ et } D \leq 80$
Les graves	$\frac{d}{D}$	$d \geq 6.3 \text{ et } D \leq 80$

Tableau [I.2]: Classification des granulats selon les dimensions extrêmes.

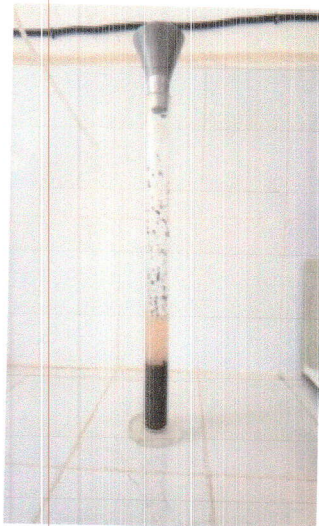
Pour la réalisation de cette analyse, une série de tamis doit être disposée satisfaisant les diamètres : 0,08 / 0,1 / 0,125 / 0,16 / 0,16 / 0,2 / 0,25 / 0,315 / 0,4 / 0,5 / 1 / 1,25 / 1,6 / 2 / 2,5 / 3,15 / 4 / 5. Ainsi qu'une étuve et une balance. Le mode opératoire suivie est un mode classique qui se résume en chauffant l'échantillon étudié dans une étuve à 105°C durant 24h pour l'élimination de l'eau (déshydratation) dans le but de faciliter les opérations du tamisage. Cette

étape est suivi par une pesé (2kg) du sable. Cette masse est considérée comme la masse initiale, elle est mise au niveau du premier tamis de diamètre 5mm, le tamisage se fait manuellement, la quantité du sable refoulée (refus) est pesée. Cette opération est refaite pour chaque niveau des tamis utilisés [8].

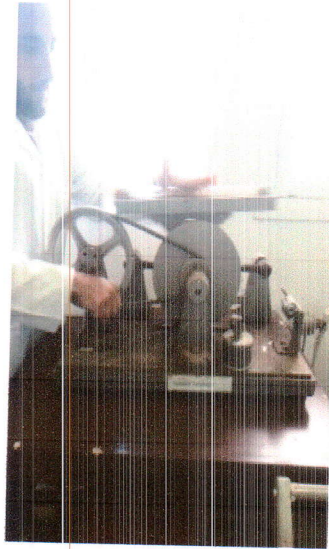
I.4.5.2- L'équivalente de sable

L'essai de l'équivalent de sable a pour but, d'une part, de connaître la nature et la qualité du sable, en d'autres termes, c'est trouver un moyen d'observer et de mesurer la proportion des éléments argileux dans le sable. D'autre part, il permet de contrôler si l'argile se trouve dans les proportions qui permettent de réaliser un bon matériau (béton...etc).

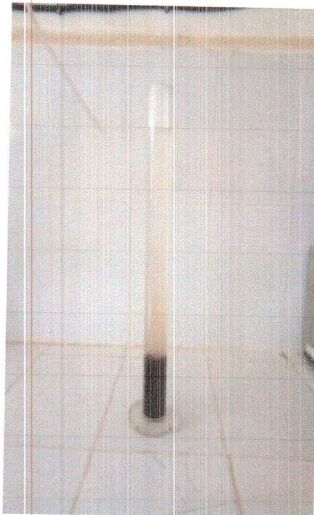
Sa réalisation (essai) exige la vérification que le diamètre des grains de sable est inférieur à 5 mm par tamisage aussi la vérification que la masse séchée de l'échantillon est égale à 120g. Une éprouvette cylindrique contenant de l'eau distillée jusqu'au trait inférieur dont une masse de 120g de sable sèche est additionnée est placée verticalement. L'éprouvette doublement jaugée (jauge supérieur et jauge inférieur) [10].



Des tapes avec la paume de la main sont assurées afin de déloger les bulles d'air piégées. Une fois débarrassé de celles-ci, l'éprouvette est fermée à l'aide d'un bouché en caoutchouc est laissé au repos durant 10mns. L'agitation manuelle (vibration de 90tours) est assurée par la voie mécanique et cela en plaçant l'éprouvette dans la machine conçu pour cette raison.



Tout en maintenant l'éprouvette en position verticale, le bouché en caoutchouc est ôté et il est rincé au-dessus de l'éprouvette avec de l'eau distillée (pour balayer en même temps les parois de cette dernière). L'étape qui suit consiste à remplir l'éprouvette jusqu'au trait supérieur et elle est laissée en position repos pour une durée de 20minutes.



Au bout de cette durée, la hauteur (h_1) du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette est mesurée à l'aide d'une règle, ainsi que la hauteur (h_2) du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.



Afin des ces mesures (h_1 et h_2), un piston normalisé est descendre doucement dans l'éprouvette, jusqu'a ce qu'il pose sur le sédiment. Lorsque l'embase du piston repose su le sédiment, bloquer le manchon coulissant sur la tige de piston.



Maintenant nous pouvons lire et prendre la hauteur du sédiment h_p au niveau de la face supérieure de manchon à l'aide de la règle.



Les résultats de mesure de h_1 , h_2 et h_p permettant de calculer ESV et ESP par l'application de lois ampériques sont expliqués par une étude comparative de ces derniers avec le tableau suivant [9] qui permet une classification du sable au niveau de sa nature (du sable argileux au sable très propre):

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
$ESV < 65\%$	$ESP < 60\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement
$65\% \leq ESV < 75\%$	$60\% \leq ESP < 70\%$	Sable légèrement argileux
$75\% \leq ESV < 85\%$	$70\% \leq ESP < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses
$ESV \geq 85\%$	$ESP \geq 80\%$	Sable très propre (sable pure sans argile)

Tableau [I.3]: Quelques valeurs souhaitables de ES.

I.4.6- Morphoscopie

Le Stemi 2000 est un microscope optique conçu en conformité avec la dernière connaissance scientifique et technique pour visuel, microphotographique et vidéo analyse des microscopiques spécimens. L'appareil ne doit être utilisé pour destination. Ils ne sont pas destinés continu sous supervision, fonctionnement. Une loupe binoculaire permet d'observer en détail des objets épais, elle en donne une image agrandie et en relief.

L'objet à observer est placé au centre d'une platine en choisissant la face noir de celle-ci dans le cas ou le sujet étudié est claire et via-verso. Selon l'éclairage du microscope (intégré via une lampe), le sujet étudié est observé.

L'adaptation à l'écartement des yeux s'effectue par l'écartement ou rapprochement des deux oculaires dont le premier regard est fut via l'oculaire fixe.

Pour une bonne vision, l'objectif doit être éloigné de la platine avec une vis à haut mise au point suivie par une observation visuelle avec les deux yeux. La centralisation de l'image par la bague de mise au point de l'oculaire permet l'obtention d'une image nette et discutable [10].

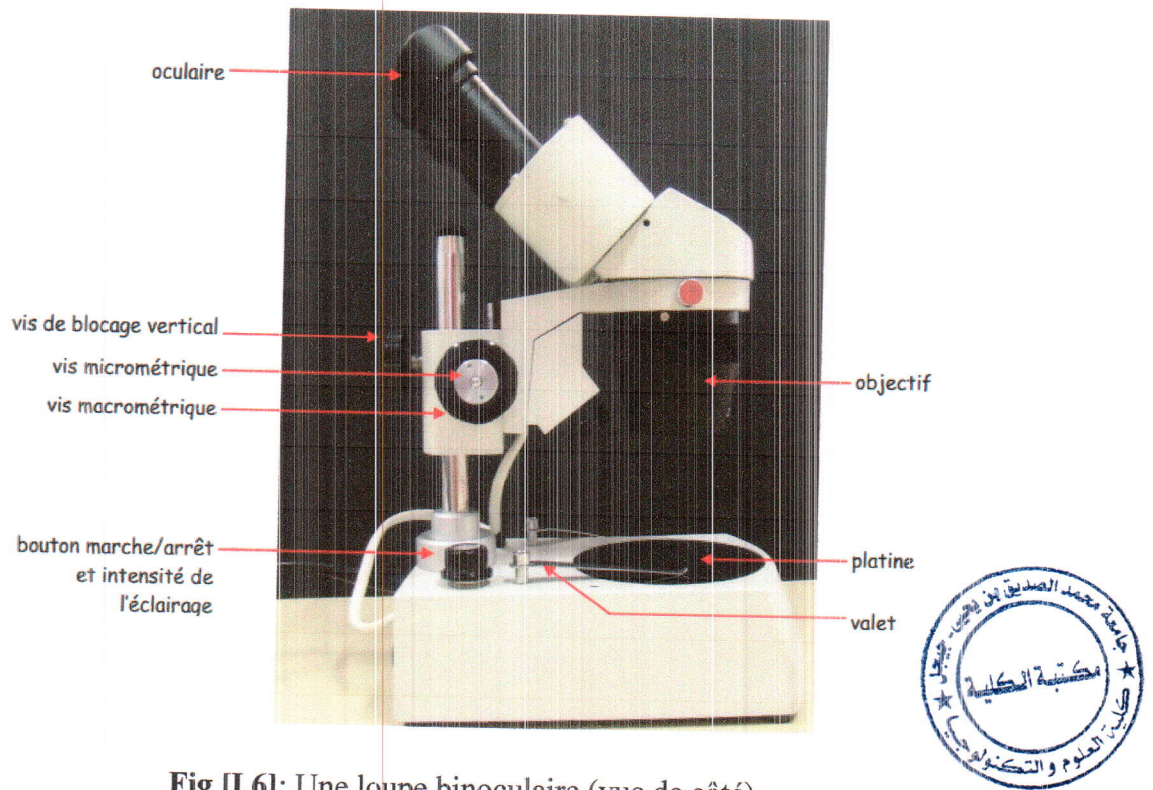


Fig [I.6]: Une loupe binoculaire (vue de côté).

Le microscope binoculaire est utilisé dans le domaine de la pétrographie, une science qui étudie les roches des sédimentaires, il a permit d'une part, une classification de ces dernières aux niveaux de la sphéricité des grains, de l'émoissé et d'autres part, a une évaluation du classement des grains (homogénéité ...etc).

La réalisation d'une analyse morphoscopique des grains permet d'avoir une idée précise sur la forme et l'aspect des sujets étudiés ainsi que leur comportement vis à vis de certains éléments (air et eau). La répartition des grains se présente en trois catégories schématisées comme suit [11] :



Fig [I.7]: Représentation des grains non usés (N.U.), émoussés luisant (E.L) et rond mats (R.M).

- Grains non usés (NU)

Ce type de grains ont comme caractéristiques, une forme anguleuse dont les faces sont planes alors que les arêtes ne présentent aucun polissage ou arrondissement. Au niveau de la couleur, ils se présentent en grains transparents comme colorés. Leurs transport vis a vis des éléments est quasiment nul.

- Grains émoussés luisant (EL)

Ce sont des grains qui se caractérisent par des arêtes arrondis (peuvent être sphériques) avec des faces planes et l'aspect de la surface toujours très poli, brillant et luisant. Leurs transport est de type hydrique.

- Grains ronds mats (RM)

Généralement, ils sont subsphériques, grains ronds mat et dépoli, ils ne contiennent pas d'arêtes et de faces planes. Leurs comportement vis a vis du transport est de type éolien.

Sphéricité	forte						
	faible						
		0	1	2	3	4	5
		très anguleux	anguleux	subanguleux	subémoussé	émoussé	très émoussé

Fig [L.8]: Détermination visuelle de l'émoussé et de la sphéricité des grains.

Chapitre II : Expérimentation
et résultats

II.1- Introduction

Dans ce chapitre nous présentons, explicitement la mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'un matériau destiné au domaine de la décoration externe (jardin, voie publique...etc.). Le matériau ciblé est à base de plastique (polystyrène) récupéré de l'environnement de la faculté des sciences et technologie de l'université de Jijel. Néanmoins, des études préliminaires; comme fut le cas pour toute méthode d'élaboration, sont réalisées sur les matériaux de départ (Sable, Poudre de Marbre: PM). Ces études (analyses) au niveau de la pétrographie (microscope binoculaire ou analyse morphoscopiques) et au niveau de la propreté (équivalent de sable visuel ESV et à piston ESP) pour le constituant sable, aident à cerner et à comprendre les interactions favorables ou défavorables engendrées suite à la combinaison de ce dernier avec le plastique (polystyrène) et la poudre de marbre ou la poudre de fer (PF).

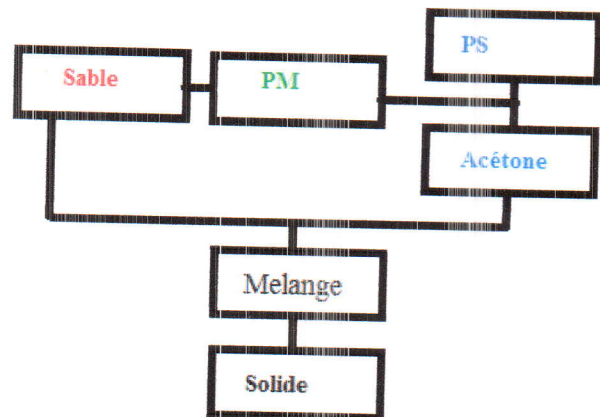
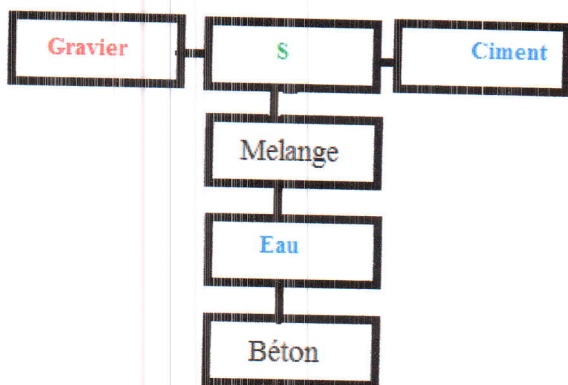
Le premier échantillon (éch01) (considéré comme notre échantillon de référence) est présenté par la matrice : Sable- Acétone- PS alors que le second échantillon (ech02) appartient au système : Sable-PM-Acétone-PS, et enfin le dernier (éch03) est considéré comme le matériau armé par l'introduction de la poudre de fer dans la matrice du matériau de référence (Sable-PF-Acétone-PS).

Les résultats obtenus, après la réalisation de plusieurs expérimentations afin de trouver les quantités massiques des constituants pour une cohabitation acceptable, sont présentés et discutés.

II.2- L'idée

La logique suivie pour l'élaboration du procédé de fabrication d'un matériau à base de polystyrène récupéré est fondée sur la structure matricielle du Béton et/ou Béton armé, à savoir Sable-Gravier-Ciment-Eau. Cette dernière nous a inspiré pour construire notre système par simple analogie. Le liant dans le béton qui est le ciment, sera le polystyrène en changeant son aspect par une méthode chimique ou mécanique. Le remplacement des matériaux de base dans le béton par autres matériaux qui formeront en présence du liant un corps dure et solide.

La différence entre la taille des grains du gravier et le sable dans le béton est exploitée dans notre démarche par une différence entre la taille du sable et celle d'un matériau récupéré dont la taille des grains est inférieure à celle du sable. La poudre de marbre est un potentiel candidat pour satisfaire ce rôle, le sable dans notre approche remplace le gravier du béton, la poudre de marbre celle du sable, alors que le polystyrène joue le rôle du liant comme le ciment



Schématisation de notre idée d'inspiration pour la mise en œuvre du procédé de fabrication du matériau a base de polystyrène récupéré.

II.3- Description de notre approche pour l'élaboration du matériau

Pour l'élaboration du matériau ciblé, nous proposons une nouvelle approche pour ce but. Cette approche prend en considération les effets néfastes de la méthode par régénération du plastique, qui, consiste à la 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), par conséquent, son impact négatif sur l'environnement qui se résume dans l'émergence des constituants évoqués. Ce dégagement est flagrant comme le montre la figure suivante prise durant un essai pour l'élaboration du matériau ciblé par cette méthode.

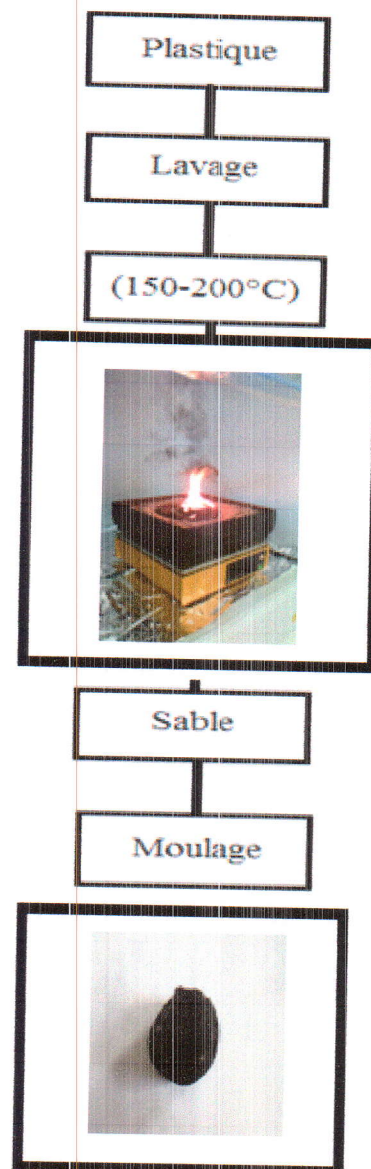


Fig [II.1]: Etape de la valorisation par régénération.

Notre approche consiste à l'élaboration d'un matériau à base de polystyrène récupéré. Afin d'éviter le traitement que nous considérons étant sévère (pyrolyse à 150°C) de la méthode par régénération et le dégagement d'éventuels gaz toxiques, nous avons opté pour une voie d'obtention relativement douce (en solution) basée sur la combinaison de la matière plastique avec un solvant adéquat.

L'acétone est connue pour être un solvant approprié pour le polystyrène, néanmoins, la combinaison PS-Acétone offre un changement d'aspect du polystyrène qui se présente sous forme de pâte. Il s'est avéré que cet aspect est l'un des difficultés rencontrées durant l'étape du mixage suite à l'ajout du sable à cause de la formation rapide de la pâte qui se solidifie au fur et à mesure que le temps passe. Pour aller au delà de cette contrainte majeure, nous avons utilisé l'acétone en excès afin de faciliter le mixage et par conséquent homogénéisé au maximum notre matériau, aussi, cet excès ne peut en aucun cas être gênant vu que l'acétone est une solution volatile et que le volume en excès peut servir à l'élaboration de plusieurs pièces du matériau et seule une quantité bien déterminée se volatilise comme nous le verrons ultérieurement.

Le changement d'aspect du polystyrène en présence de l'acétone et avec l'ajout du sable. Un mixage manuel est assuré jusqu'à homogénéisation maximale. Le produit est mis dans un moule que nous avons fabriqué à base de Zinc dont les parois sont rincées avec une pâte pour faciliter le démoulage et éviter le collage du matériau une fois séché. L'ensemble est laissé en plein air et à l'ombre pour séchage car nous avons constaté que le séchage sous les rayons du soleil abîme la morphologie du matériau dans le moule (gonflement et déformation) et prend plus de temps pour un séchage total.

Toutefois, nous tenons à signaler que le béton est notre source d'inspiration pour la réalisation de la matrice PS-Acétone-Sable, dont le plastique (pâte) joue le rôle du liant (ciment).

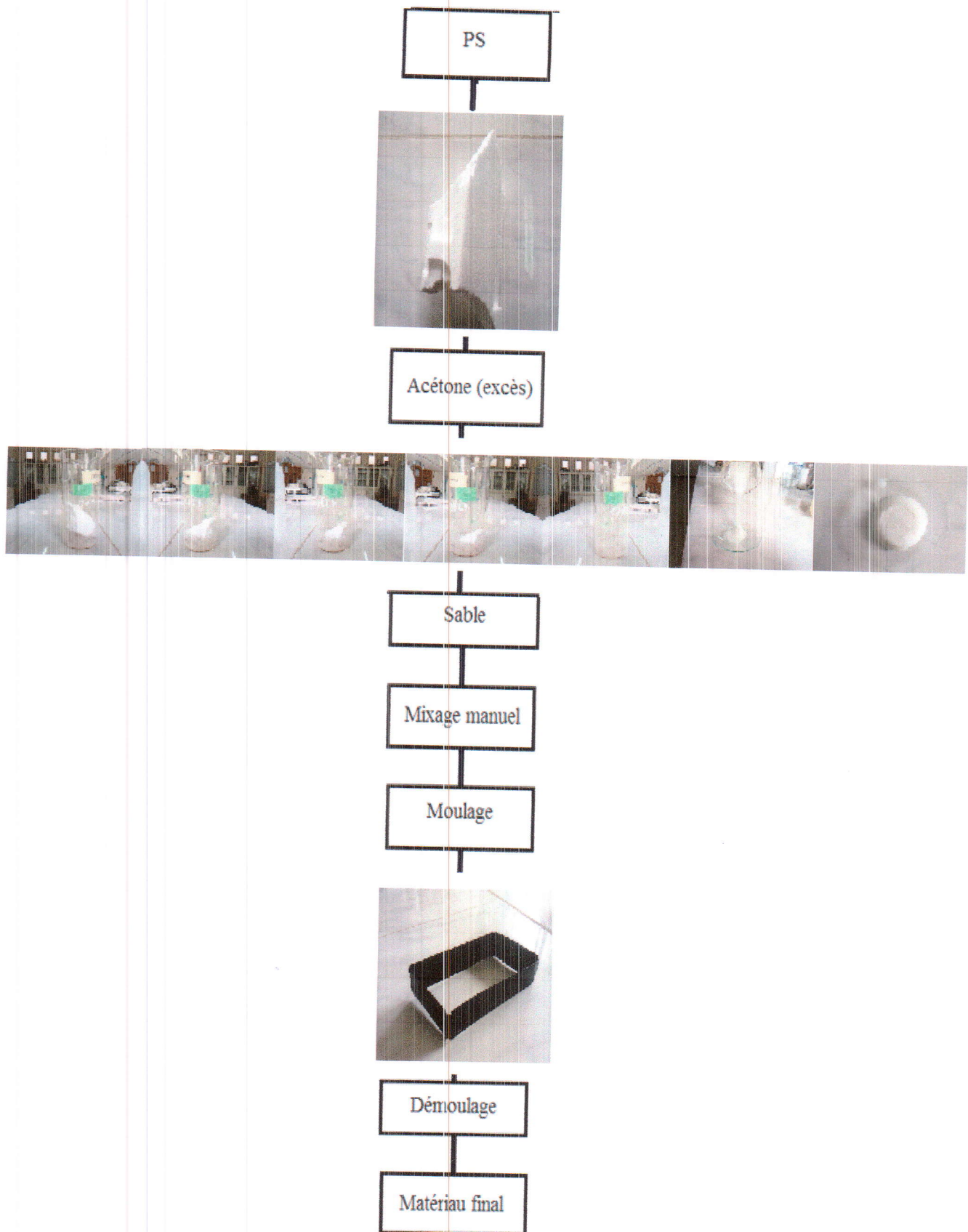


Fig [II.2]: Représentation de notre approche pour l'élaboration du matériau.

II.4- Elaboration

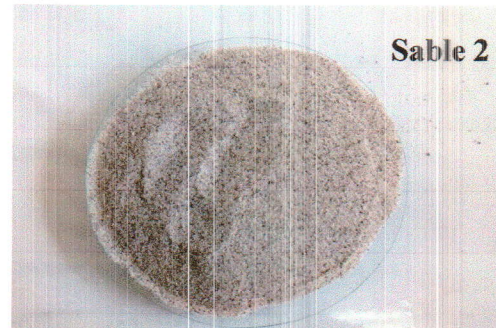
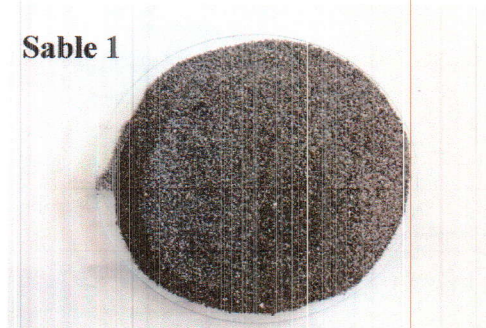
Comme nous l'avons mentionné en début, toute étude dans le domaine de l'élaboration, impose une maîtrise et connaissance au niveau des propriétés chimiques, physiques, physicochimiques, mécaniques et autres des produits (matériaux) de base. Pour cette raison, nous avons réalisé des analyses préliminaires pour les sables que nous avons utilisé et qui sont présentés au dessous, aussi pour la poudre de marbre (PM) et la poudre de fer (PF). Ces analyses se sont portées sur le cap de la morphologie en utilisant le microscope binoculaire (analyses pétrographiques) ainsi que sur le cap de la sédimentologie en effectuant des analyses ESV et ESP afin de se statuer sur la propreté des sables et aussi la taille des grains de ces derniers.

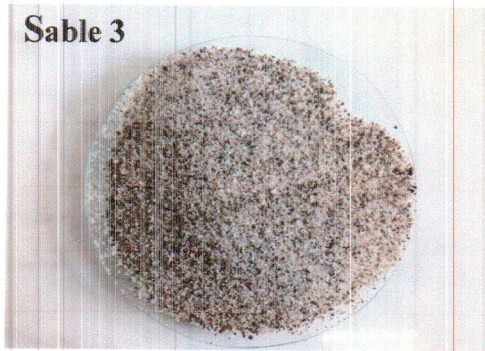
II.4.1- Analyse préliminaire par microscopie binoculaire

Cette analyse concerne les matériaux : sable, poudre de marbre ainsi que la poudre de fer. Elle a été réalisée au laboratoire de Paléontologie de la faculté de science de la terre et de l'univers de l'université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel, grâce au microscope binoculaire Stemi 2000 (Zeiss) avec les conditions suivantes:

- Zoom * 2,5 et * 1
- Appareille photos (canon) fixé sur le microscope (haut)

Concernant la matière sable, nous avons choisie, des sables de plage se trouvant sans aucune exception dans la localité Ouest de la Wilaya de Jijel, a savoir : plage des grottes merveilleuses (Sable1), plage d'Andreux (Sable2), plage de Kissir (Sable3) et celle des Aftis (Sable4). Le choix de ses derniers n'a pas été ciblé, ça aurai pu, bien évidemment, être autres sables dont l'origine est différente.

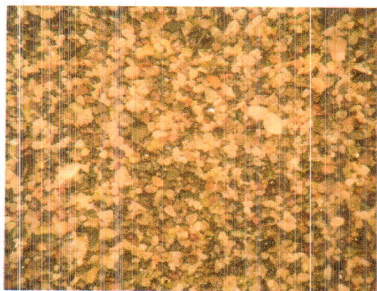




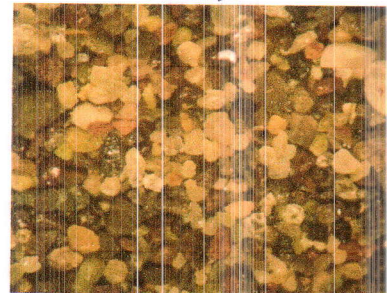
Pour les analyses morphoscopiques, nous avons réalisé deux prises photographiques avec les deux zooms déjà évoqués (1 et 2,5) pour chacun des sables étudiés dans le but de se statuer sur la différences entre eux au niveau de la forme des grains, la couleur et surtout au niveau de leurs tailles. Les résultats sont présentés dans les figures qui suivent :

Sable 1 (Grottes merveilleuses)

Zoom1



Zoom2,5



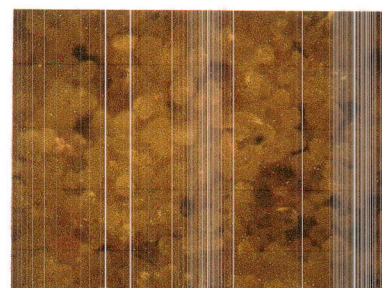
Nous observons une variété de grains au niveau de la couleur et de la formes même si en majorité, ces grains présentent des faces et des arrêtes et une forme sub-arrondie. Les grains de couleur marron foncé peuvent être du grenats (couleur et forme arrondie et/ou sub-arrondie) Ceux dont la forme est sub-arrondie et incolores peuvent présenter le zircon [12].

Sable 2 (Plage d'Andreux)

Zoom1



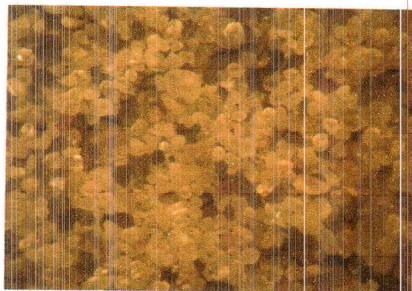
Zoom2,5



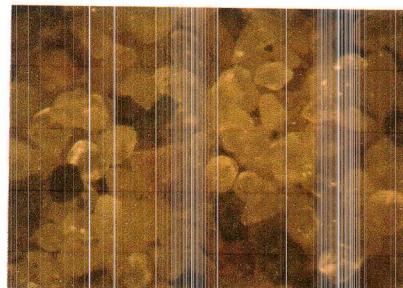
La forme sub-arrondie est presque majoritaire, nous observons clairement que la majorité des grains sont de la même couleur (incolore) avec l'absence totale de face et d'arrêtes. Les grains incolores peuvent être du zircon.

Sable 3(plage de Kissir)

Zoom1



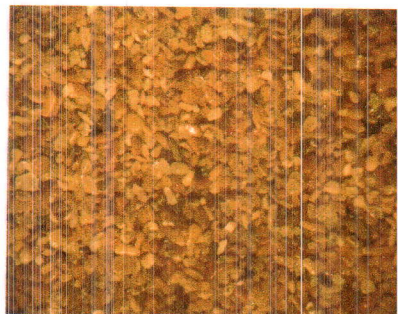
Zoom2,5



La forme sub-arrondie est presque majoritaire, nous observons clairement que la majorité des grains sont de la même couleur (incolore) avec l'absence totale de face et d'arrêtes. Ces grains incolores peuvent être du zircon.

Sable 4(plage des Aftis)

Zoom1



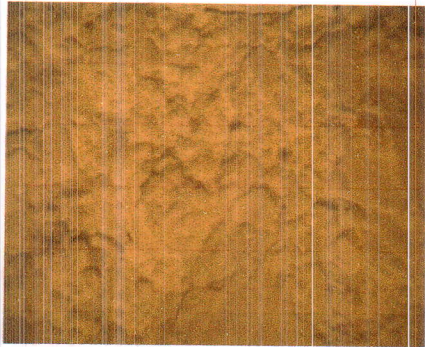
Zoom2,5



La prise photographique (*2,5) montre clairement l'aspect peu anguleux et émoussés des grains. Ces derniers se présentent en des formes quasi régulières et de même taille. Les grains en rouge brun peuvent être du rutile alors que les grains verts allongés peuvent représenter les silicates ferromagnésiens [12].

La poudre de marbre a subit la même exploration par le microscope binoculaire et avec les mêmes conditions que celle réalisées sur le sable. Il est à signaler que la résolution du microscope binoculaire est conséquente seulement pour des tailles de grains considérables et bien déterminées. Pour les matières ou poudre dont l'aspect est friable (ciment par exemple), le microscope binoculaire ne peut explorer en donnant des résultats signification ou exploitable, l'imagerie offre l'aspect de la surface du matériau, il se présente sous forme de relief, la raison de cette incapacité revient à la faible résolution

des loupes. Ce cas est rencontré en explorant la poudre de marbre (photographies en dessous). Cette constatation seule (sans la réalisation de calcul) nous a permis de conclure que la taille des grains de la poudre de marbre est inférieure à celle des grains de sable dont leur exploration est possible par le microscope binoculaire.

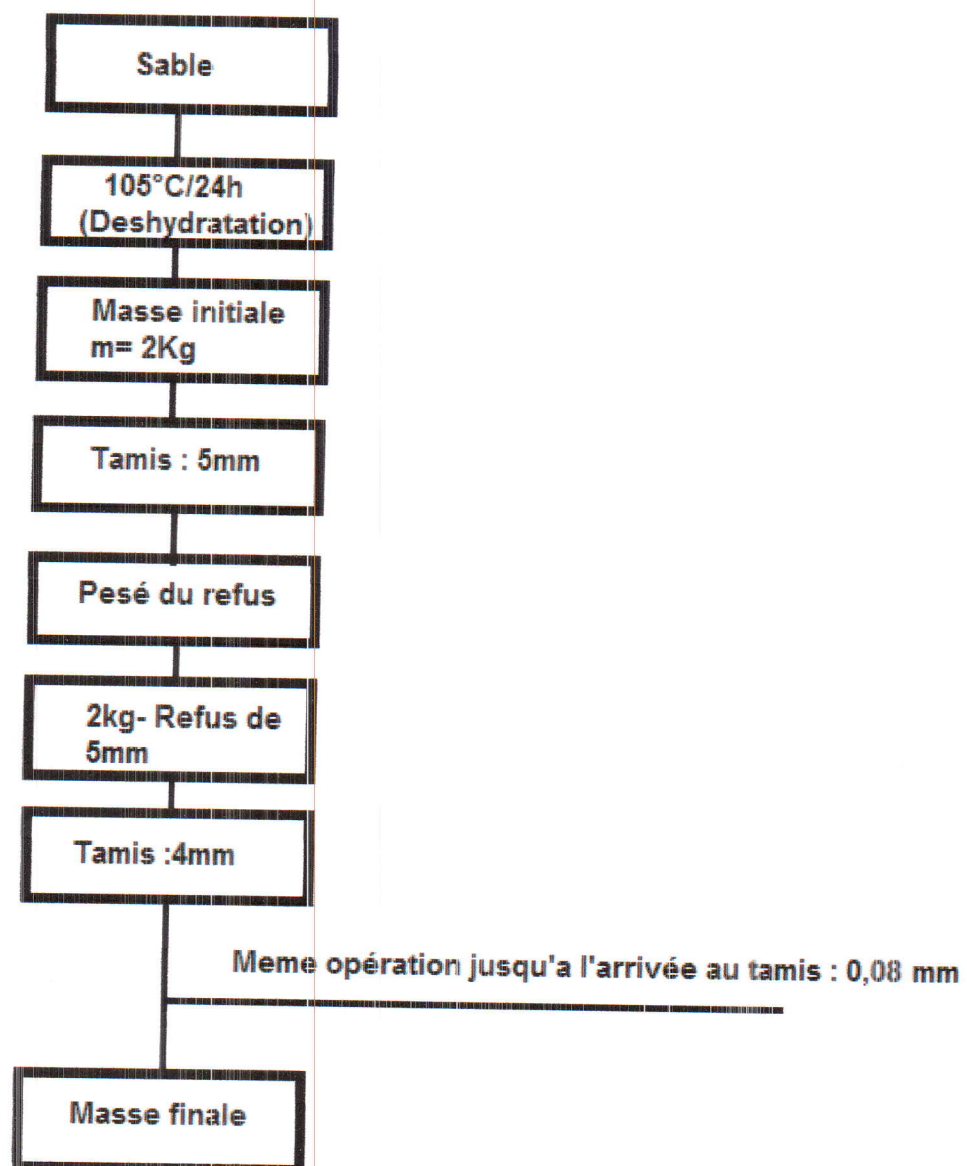
Zoom1*Zoom2,5*

II.4.2- Analyses préliminaire de sédimentologie

Les analyses réalisées en sédimentologie ont été faites au laboratoire de mécanique des sols du département de génie civil de l'université MSB- Jijel. Elles se sont portées sur le calcul de la taille moyenne des grains par tamisage et le calcul de l'équivalent de sable visuel (ESV) et à piston (ESP) pour se fixer sur la propreté du sable utilisé.

II.4.2.1- Tamisage

Comme nous l'avons mentionné au chapitre I, la réalisation de la granulométrie s'est effectuée par l'utilisation d'une série de tamis dont les diamètres sont : 0,08 / 0,1 / 0,125 / 0,16 / 0,16 / 0,2 / 0,25 / 0,315 / 0,4 / 0,5 / 1 / 1,25 / 1,6 / 2 / 2,5 / 3,15 / 4 / 5. Cette utilisation est une de manuelle et non de la tamiseuse (électrique). Le protocole que nous avons suivie est bien évidemment un de classique. Une masse initiale de 2kg est prise du sable étudié après qu'il a subit une déshydratation a 105°C durant 24h. Cette masse initiale est tamisée dans le premier tamis de diamètre 5mm, le refus est pesé et il est bien noté pour la poursuite de l'opération pour le reste des tamis a diamètres différents.



Fig[II.3]: Etapes suivies pour le tamisage des sables étudiés

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants :

Sable 1(Grottes merveilleuses)

<i>Poids de l'échantillon</i>	<i>Dimension Tamis (mm)</i>	<i>poids des refus partiels</i>	<i>Poids des Refus cumulés</i>	<i>% des Refus cumulés</i>	<i>Complément a 100 des refus cumulés</i>	<i>Tamisât</i>	
P =	Gros Grains	31,5					
		25					
		20					
		16					
		12,5					
		10					
		8					
		6,3					
	Sable 0/5	5	00	00	00	100	100
		4	00	00	00	100	100
		3,15	1,25	1,25	0,062	99,938	99,94
		2,5					
		2	1,55	2,8	0,14	99,86	99,9
		1,6	0,08	3,61	0,158	99,842	99,84
		1,25	2,91	6,52	0,326	99,674	99,7
		1	2,73	9,25	0,462	99,538	99,54
	Grains fins	0,8	18,76	28,01	1,40	98,6	99
		0,63					
		0,5	143	171,01	8,55	91,45	91,5
		0,4	135	306,01	15,30	84,7	85
		0,315	1102	1408,01	70,40	29,6	30
		0,25					
		0,2	319	1727,01	86,35	13,65	13,7
		0,16	138	1865,01	93,25	6,75	6,8
		0,125	104,64	1969,65	98,482	1,518	1,52
		0,1	19,69	1989,34	99,467	0,533	0,53
	0,08	08,09	1997,43	99,871	0,129	0,13	

Tableau [II.1] : Analyse granulométrique du sable des grottes merveilleuses.

Sable 2(Plage d'Andreux) :

<i>Poids de l'échantillon</i>	<i>Dimension Tamis (mm)</i>	<i>poids des refus partiels</i>	<i>Poids des Refus cumulés</i>	<i>% des Refus Cumulés</i>	<i>Complément a 100 des refus cumulés</i>	<i>Tamisât</i>	
P =	Gros Grains	31,5					
		25					
		20					
		16					
		12,5					
		10					
		8					
		6,3					
	Sable 0/5	5	00	00	00	100	100
		4	00	00	00	100	100
		3,15	00	00	00	100	100
		2,5					
		2	0,06	0,06	0,003	99,997	100
		1,6	00	0,06	0,003	99,997	100
		1,25	0,05	0,11	0,0055	99,9945	99,995
		1	0,06	0,17	0,0085	99,9915	99,992
	Grains fins	0,8	0,7	0,87	0,0435	99,9565	99,96
		0,63					
		0,5	17,69	18,56	0,928	99,072	99,1
		0,4	55,82	74,38	3,719	96,281	96,3
		0,315	1707	1781,38	89,069	10,931	10,93
		0,25					
		0,2	183	1964,38	98,219	1,781	1,8
		0,16	28,39	1992,77	99,6385	0,3615	0,4
		0,125	4,47	1997,54	99,877	0,123	0,123
		0,1	0,35	1997,89	99,8945	0,1055	0,11
		0,08	0,1	1997,99	99,8995	0,1005	0,101

Tableau [II.2] : Analyse granulométrique du sable de la plage d' Andreux.

Sable 3(plage de Kissir)

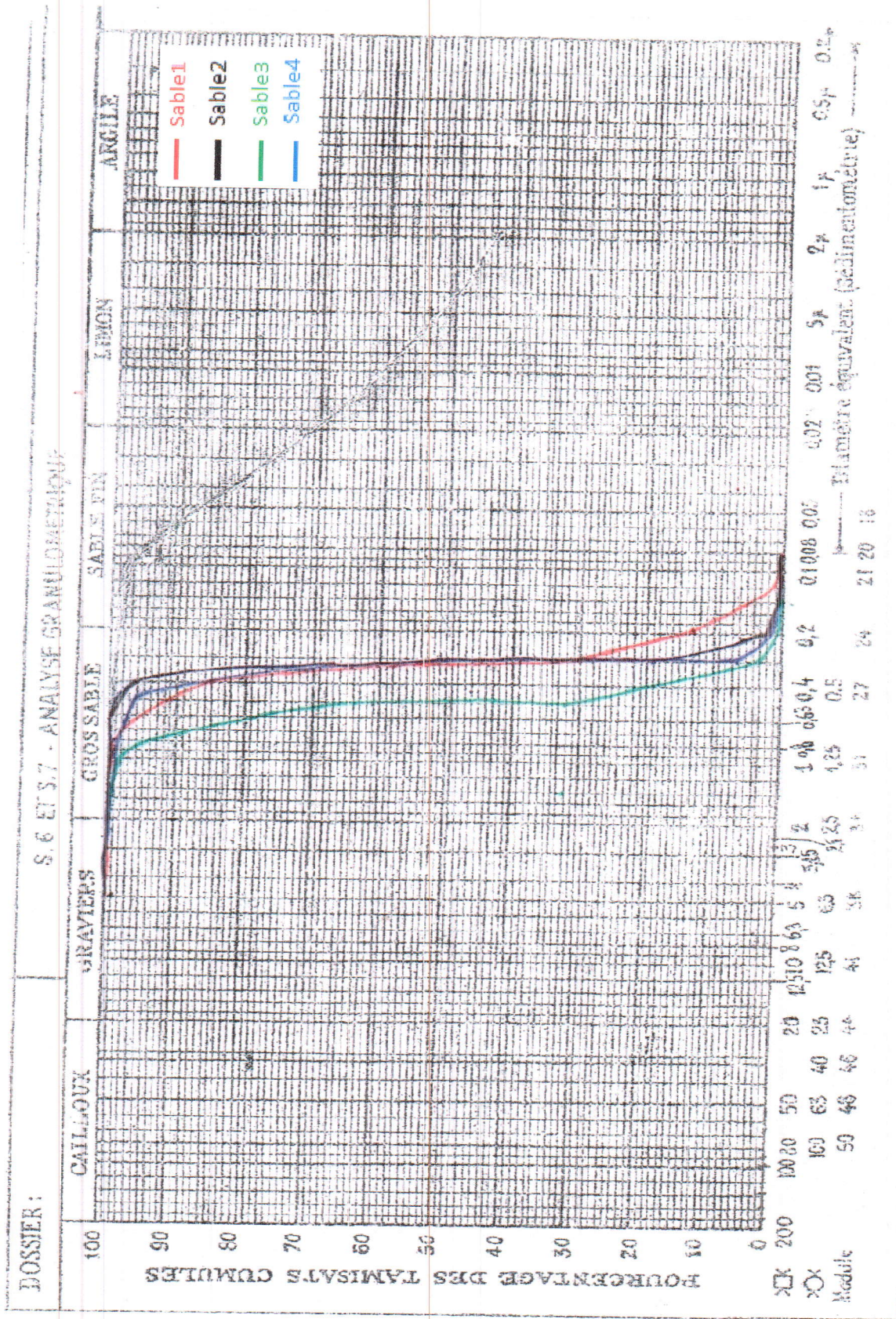
<i>Poids de l'échantillon</i>	<i>Dimension Tamis (mm)</i>	<i>poids des refus partiels</i>	<i>Poids des Refus cumulés</i>	<i>% des Refus Cumulés</i>	<i>Complément a 100 des refus cumulés</i>	<i>Tamisât</i>	
P =	Gros Grains	31,5					
		25					
		20					
		16					
		12,5					
		10					
		8					
		6,3					
	Sable 0/5	5	00	00	00	100	100
		4	0,3	0,3	0,015	99,985	99,99
		3,15	1,8	2,1	0,105	99,895	99,9
		2,5					
		2	1,46	3,56	0,178	99,822	99,8
		1,6	1,38	4,94	0,247	99,753	99,75
		1,25	8,79	13,73	0,6865	99,3135	99,3
		1	10,50	24,23	1,2115	98,7885	98,8
	Grains fins	0,8	110	134,23	6,7115	93,2885	93,3
		0,63					
		0,5	1224	1358,23	67,9115	32,0885	32,1
		0,4	227	1585,23	79,2615	20,7385	20,74
		0,315	352	1937,23	96,8615	3,1385	3,14
		0,25					
		0,2	57,53	1994,76	99,738	0,262	0,03
		0,16	4,26	1999,02	99,951	0,049	0,15
		0,125	0,54	1999,56	99,978	0,022	0,022
		0,1	0,17	1999,73	99,9865	0,0135	0,014
		0,08	0,11	1999,84	99,992	0,008	0,01

Tableau [II.3]: Analyse granulométrique du sable de la plage de Kissir.

Sable 4(plage des Aftis) :

<i>Poids de l'échantillon</i>	<i>Dimension Tamis (mm)</i>	<i>poids des refus partiels</i>	<i>Poids des Refus cumulés</i>	<i>% des Refus Cumulés</i>	<i>Complément a 100 des refus cumulés</i>	<i>Tamisât</i>	
P =	Gros Grains	31,5					
		25					
		20					
		16					
		12,5					
		10					
		8					
		6,3					
	Sable 0/5	5	2,75	2,75	0,1375	99,8625	99,87
		4	2,55	5,3	0,265	99,735	99,74
		3,15	2,11	7,41	0,3705	99,6295	99,63
		2,5					
		2	7,10	14,51	0,7256	99,2745	99,3
		1,6	1,41	15,92	0,796	99,204	99,2
		1,25	5,32	21,24	1,062	98,938	98,94
		1	2	23,24	1,162	98,838	98,84
	Grains fins	0,8	6,76	30	1,5	98,5	98,5
		0,63					
		0,5	48,07	78,07	3,9035	96,0965	96,1
		0,4	214	292,07	14,6035	85,3965	85,4
		0,315	1602	1894,07	94,7035	5,2965	5,3
		0,25					
		0,2	95,56	1989,63	99,4815	0,5185	0,52
		0,16	8,24	1997,87	99,8935	0,1065	0,11
		0,125	0,69	1998,56	99,928	0,072	0,1
		0,1	0,28	1998,84	99,942	0,058	0,06
		0,08	0,13	1998,97	99,948	0,052	0,05

Tableau [II.4]: Analyse granulométrique du sable de la plage des Aftis.



Fig[II.4] : Superposition des courbe de l'analyse granulométrique des sables étudiés

Selon le graphe de granulométrie, nous constatons que les sables étudiés font partie de différents classes de grains, même si en majorité de sable gros dont la taille des grains va de 2 a 0,2mm.

II.4.2.2- Analyse en sédimentologie ESV et ESP

L'analyse en sédimentologie de nos sables s'est faite au niveau de l'équivalent de sable visuel et à piston dans but d'avoir une idée précise sur le degré de la propreté de ces derniers (présence de refus de sable qui est considéré comme de la boue).

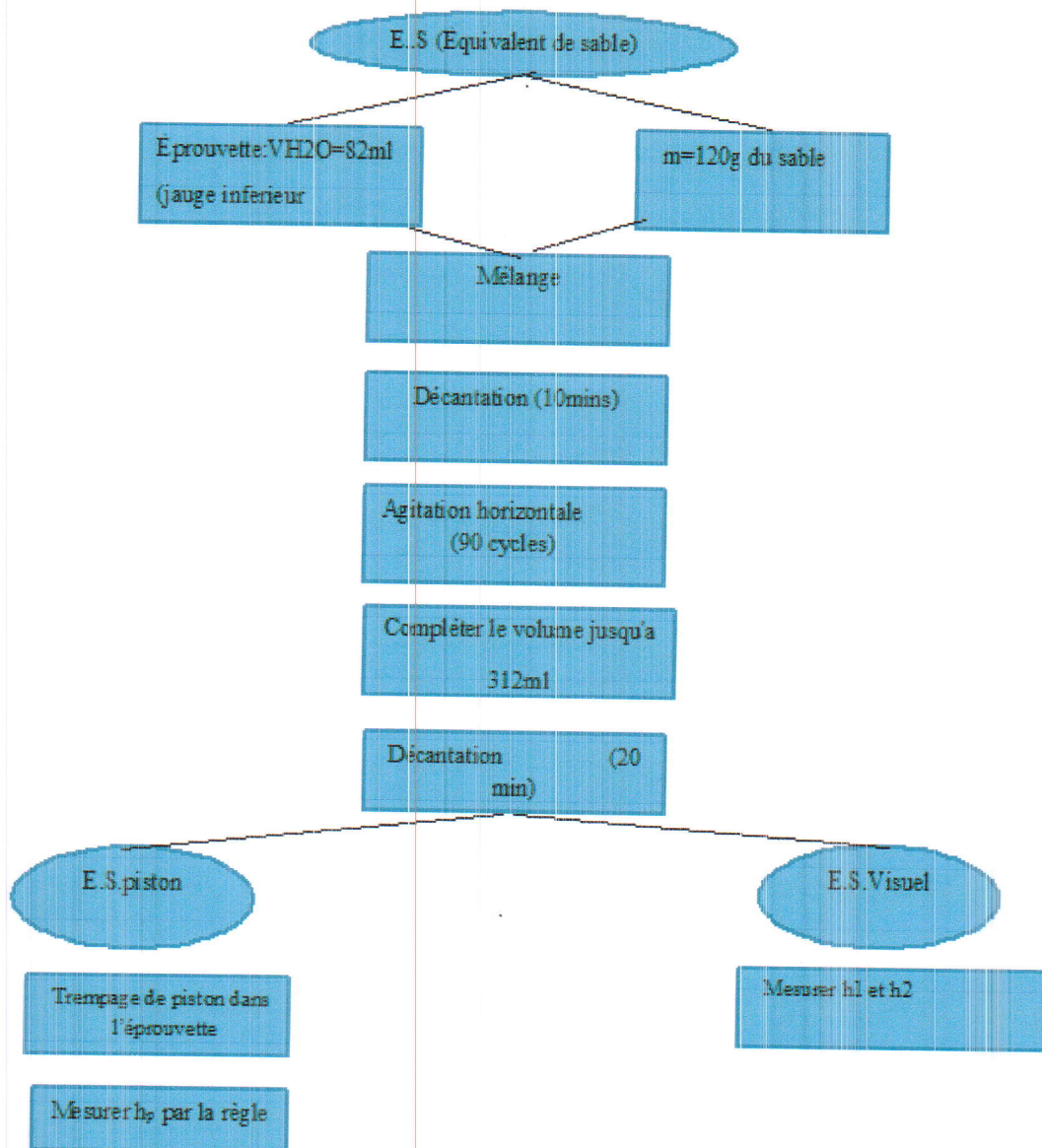


Fig [II.5]: Etape suivie pour la réalisation d'une analyse d'équivalent de sable.

Après la mesure de h_1 qui est la hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette et la mesure de h_2 qui est considérée comme la hauteur la partie sédimentée toujours par rapport au fond de l'éprouvette, et après l'application des lois exprimant ESV et ESP en fonction de h_1 , h_2 et h_p (calcul de pourcentage) : expression de ESV et ESP en fonction de h_1 , h_2 pour le premier et h_1 et h_p pour le second :

$$ESV = h_2 \div h_1 \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$ESP = h_p \div h_1 \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

h_p étant la hauteur du sédiment au niveau de la face supérieur de manchon.

Les résultats obtenu pour nos sables étudiés sont présenté dans le tableau suivant:

Sable	ESV (%)	ESP (%)
Sable 1	99.41	100
Sable 2	100	99.89
Sable 3	100	98.98
Sable 4	100	99.02

Tableau [II.5]: les résultats ESV et ESP en pourcentage obtenu après mesure et réalisation des calculs selon les expressions (1) et (2).

Suite à ces résultats, nous pouvons conclure que les sables étudiés sont des sables appartenant la catégorie de sables très propres (sans aucune présence d'argile).

En conclusion, les analyses préliminaires effectuées sur les matériaux de base et du faite que les sables appartiennent a la même catégorie (selon l'analyse granulométrique) et qu'ils sont très propres (selon l'analyse d'équivalent de sable) nous avons élaboré notre matériau d'essai en utilisant seulement deux sables dont la seule différence réside dans la couleur et sans tenir compte de la différence au niveau minéralogique.

II.4.3- Elaboration du matériau dans le système S-Acétone-PS

Après la mise en œuvre du procédés de fabrication pour l'obtention du matériau ciblé au départ, une question primordiale s'est imposée : " quelles sont les proportions adéquates de coexistence ou de cohabitation Sable-Polystyrène pour l'obtention d'un matériau qui ne manifeste pas de défauts de fissuration ou de refus de sable (poussière) dans le cas de l'excès d'un contribuant ou à défaut de celui-ci. Pour répondre à cette question, de nombreux essais sont réalisés afin de pouvoir trouver ces proportions.

Partant d'une masse initiale du polystyrène $m(\text{PS})$ sous sa forme de pâte (après l'ajout de l'acétone), la masse du sable $m(\text{S})$ est pesée dont la quantité massique sable est fixé (pour la réalisation du mélange S-PS) par rapport a la masse de la pâte PS et cela selon le tableau suivant :

PS(Pâte)	Sable
$m(\text{PS})$	$3m(\text{PS})$
	$2m(\text{PS})$
	$1,5m(\text{PS})$

Tableau [II.6]: Cohabitation massique PS-S en présence de l'acétone pour la réalisation du mélange avant le mixage.

La figure [II.6] présente le premier échantillon élaboré est celui dont la cohabitation massique $m(\text{S})$ égale à $3m(\text{PS})$. La première constatation est que le mixage se fait d'une manière très difficile, la seconde, est que la quantité du sable ne se marie pas parfaitement avec celle du PS, cela nous a permis de déduire que la quantité du sable est en excès. La seconde observation est constatée durant l'étape du séchage, nous remarquons des gonflements repartie sur de différentes zones de la surface et/ou latéral du matériau dans le moule au fur et a mesure que le temps passe et par conséquent l'apparition de déformations multiples. Ces constatations sont considérées comme des inconvénients majeurs. Pour éviter ces contraintes, nous avons opté pour des masses de sable inférieures, d'où le choix de $2m(\text{PS})$ et $1,5(\text{PS})$ est pris.

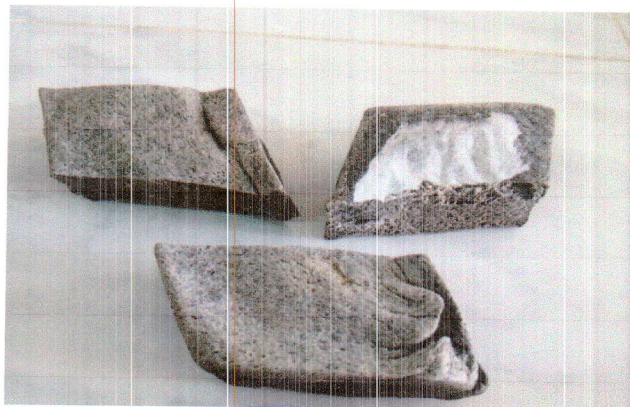


Fig [II.6]: Matériau obtenu suite a la combinaison de $m(\text{S}) = 3m(\text{PS})$ montrant les gonflements et déformations. S=Sable1.

Par contre, les résultats obtenus sont plus que satisfaisant pour $m(\text{S})$ égale à $2m(\text{PS})$ et $1,5m(\text{PS})$. Nous avons remarqué, d'une part, que le mixage pour les matériaux correspondant aux proportions évoquées se fait de manière plus facile que pour celui à

$m(S)$ égale à $3m(PS)$. Les matériaux obtenus ne présentent aucune fissure "apparente" comme ils ne présentent aucun refus de sable, les déformations de surface au niveau latéral du matériau sont présentes mais pas autant que dans le premier matériau évoqué en dessus. Il est à noter que le séchage dépend directement de la masse /volume/forme du matériau final. La couleur est imposée par la couleur du sable utilisé (rouge brique, gris, blanc...etc).



Fig [II.7]: Echantillons du matériau d'essai pour les quantités massiques (a): $m(S) = 2m(PS)$ et (b) : $m(S) = 1,5m(PS)$. S=Sable 2 et 4 respectivement.



Fig [II.8]: Matériau final a grande échelle (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S) = 2m(PS)$. S=Sable4.

Pour l'obtention d'une pièce (Figure précédant) dont le volume du moule qui l'a contient est de $15 \times 7,5 \times 3 = 337,5 \text{ cm}^3$, nous avons utilisé 190g de polystyrène (pâte) et 380g de sable2 (masse totale : 570g) pour remplir le moule à volume indiqué en dessus.

A la pesée finale, le matériau obtenu avec ces dimensions est pesé et sa masse est égale à 451,08g. Cette valeur nous a permis de déduire directement la quantité massique nécessaire de l'acétone qui s'est volatilisé du matériau durant le séchage. Par simple soustraction, cette quantité massique est de 118,92g. Le tableau qui suit, présente une première fiche technique pour l'élaboration du matériau ciblé en prenant compte des masses initiales, totale et réelle du matériau final avec la présentation des calculs réalisés pour se statuer sur la quantité volumique effective de l'acétone qui s'est volatilisé.

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_{totale} - m_{pesé}	g	118,92
ρ_{acétone}	kg/m ³	784
V_{acétone volatilisé}	ml	151,6
Temps de séchage de la pièce	jours	10

Tableau [II.7]: Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes.

II.4.4- Elaboration du matériau dans le système Sable-Acétone-PS-PM

Le système du matériau suivant est basé sur le système du précédent avec l'introduction d'un autre constituant qui est la poudre de marbre (PM) en suivant le même mode opératoire. Cette démarche est inspirée du béton conçu pour la construction des édifices. Le système du béton est bien connu étant: Sable-Gravier-Ciment-Eau, le rôle du ciment en présence de l'eau est de réaliser un liant solide entre les deux autres matériaux malgré la différence au niveau de la taille des grains. L'analyse morphoscopique a montré que la poudre de marbre est une poudre friable car l'image présente des reliefs contrairement aux sables étudiés dont les grains sont nettement apparents. L'inspiration réside dans le fait que le sable par rapport à la poudre de marbre jouera le rôle du gravier et la poudre de marbre celui du sable dans le béton. Toutefois,

nous tenons à signaler que la poudre de marbre utilisée est aussi une poudre récupérée auprès des artisans marbrier (roche) et non pas du carbonate de calcium du laboratoire; et, qu'avant la réalisation du système PS-Acétone-S-PM, le système S-PM est mis en œuvre pour une bonne répartition des grains (sable, poudre de marbre).

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}	ml	152,5
Temps de séchage de la pièce	jours	10

Tableau [II.8]: Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de marbre.

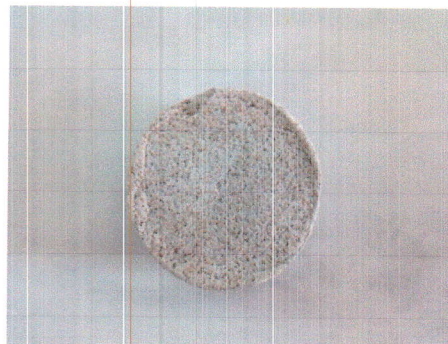


Fig [II.9]: Echantillons du matériau d'essai pour les quantités massiques $m(S) = 1,5m(PS)$ et $m(PM) = 0,5m(PS)$.Sable4.

Toutefois, il est a signalé que le phénomène du gonflement provoquant automatiquement des déformations du matériau se sont nettement amoindrie par rapport a ceux du matériau dont la quantité du sable est trois plus que celle de la pâte polystyrène.

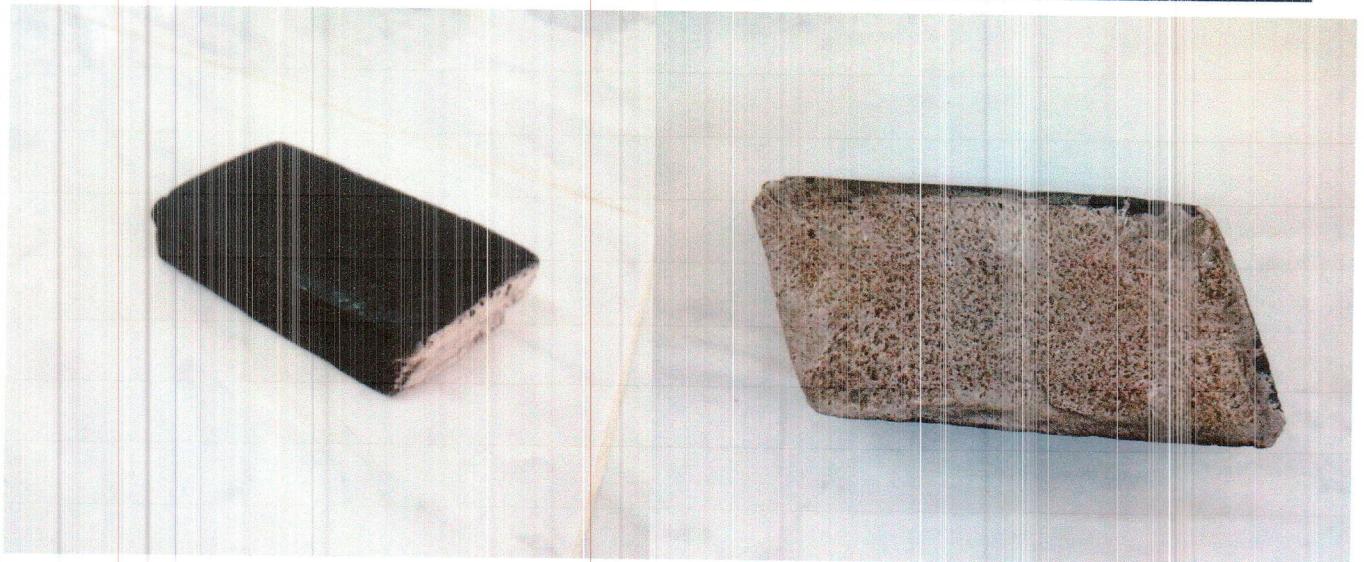


Fig [II.10]: Matériau final (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S)=1,5m(PS)$ et $m(PM)=0,5m(PS)$. $S=Sable4$.

II.4.5- Elaboration du matériau dans le système Sable-Acétone-PS-PF

En voulant évoluer dans le même sens que l'évolution du béton (béton -- béton armé), nous nous sommes orientés vers l'élaboration d'un matériau "armé" dont la fiche technique conçu est présentée dans le tableau[II.9]

Cet armement peut se faire en introduisant de la poudre de fer par exemple dans la matrice initiale (S-PS-Acétone) même si cette introduction "peut" éventuellement nous écarter de l'usage et de l'utilisation de notre matériau pour la décoration extérieure et dans la voie publique à cause du caractère conducteur qu'il peut se procurer de la poudre de fer ajoutée, Une pièce est réalisée en suivant minutieusement les étapes du procédé d'élaboration.

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}	ml	164,54
Temps de séchage de la pièce	jours	10

Tableau [II.9]: Fiche technique pour l'obtention du matériau avec le rapport masses/volumes en présence de la poudre de fer.

La poudre de fer est aussi une poudre récupérée et elle n'a subi aucune étude préliminaire comme les précédents matériaux de base pour la simple raison, la taille des grains dépendent directement de l'épaisseur de l'outil utilisé pour scier. Le matériau obtenu par cette combinaison présente des gonflements quasiment inexistant d'où l'absence de déformation du sujet.

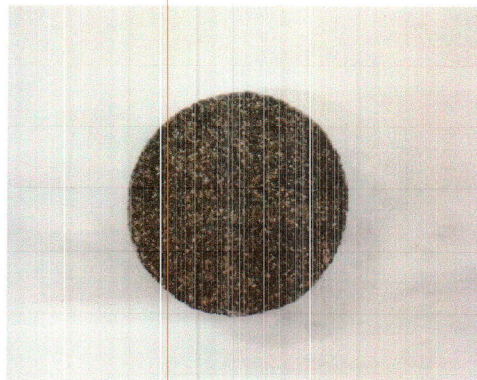


Fig [II.11]: Echantillon d'essai dans le système S-PS-PF-Acétone. S=Sable4.

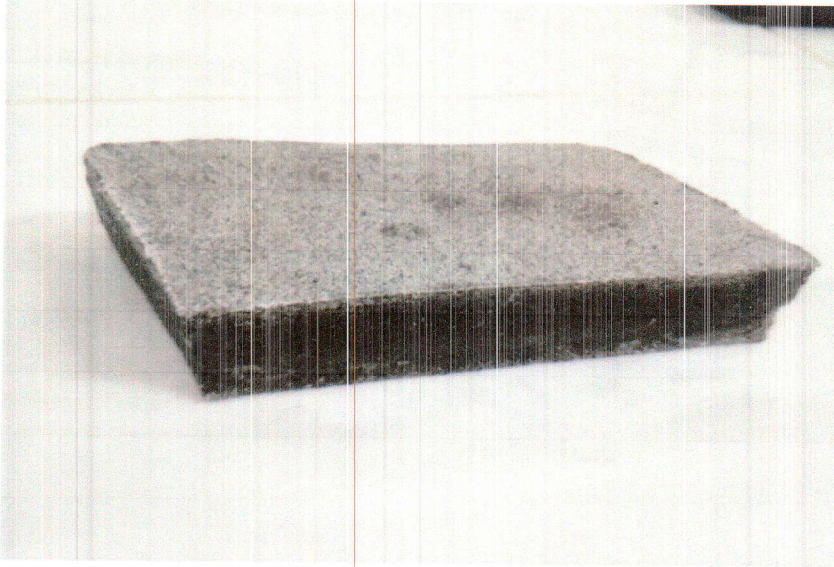


Fig [II.12]: Matériau final (une pièce) obtenu après séchage et démoulage dont $m(S)=1,5m(PS)$ et $m(PM)=0,5m(PS)$. Sable2.

Après longue réflexion sur les raisons du gonflement observé dans les matériaux élaborés des différents systèmes ; et, en voulant comprendre la raison de la différence de l'ampleur de ce dernier sur chacun, nous nous sommes orientés vers la différence entre les différents constituants, en premier lieu : la structure interne du matériau :

Systeme	Gonflement/déformation
S-PSpâte	Présent
S-PSpâte-PM	Présent mais amoindrie
S-PSpâte-PF	Quasiment nulle

Tableau [II.10]: Présentation des gonflement/déformation dans les systèmes étudiées.

A ce stade il est primordial d'avoir une idée claire et précise sur cette structure. Pour atteindre à ce but, les matériaux élaborés ont subi un découpage en utilisant une scie mécanique (électrique). Les résultats de cette exploration structurale est présentée comme suit:

- S-PSpâte

La figure qui suit donne une idée très large sur la structure interne du matériau. Cette prise est faite après le découpage de ce dernier. Il est bien clair que des pores considérables et imposants sont présents. ils se sont formés par le piégeage de l'air au sein du matériau. Certes que ce piégeage est un inconvénient

majeur car il amoindrie le degré de résistance du matériau (facilement cassable) mais il peut expliquer l'apparition des gonflements durant le séchage.

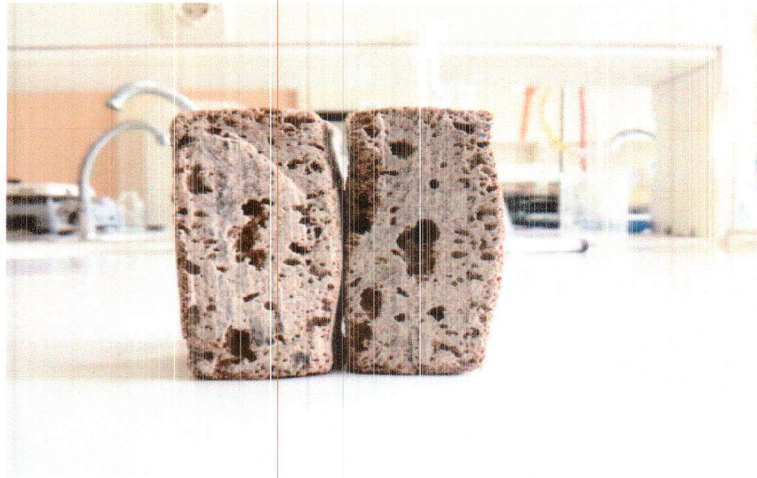


Fig [II.13]: Existence de cavités considérable au sein du matériau.

- *S-PS_{pâte}-PM*

En introduisant la poudre de marbre, les pores (cavités remplies d'air) sont présents, il est nettement clair que cette présence n'est pas de la même ampleur que celle du matériau précédant. Cette diminution de pores peut revenir à la présence du nouveau constituant qui est la poudre de marbre. Néanmoins les pores sont toujours présents.



Fig [II.14]: Diminution claire des cavités au sein du matériau qui contient la poudre de marbre.

- S-PS_{pâte}-PF

Pour le matériau du dernier système, la présence du fer a contribué d'une manière directe à l'obtention d'un matériau qui n'a montré aucune contrainte durant le découpage à la scie électrique contrairement aux deux autres matériaux. L'ampleur de la présence des pores est moindre par rapport aux deux matériaux précédents.



Fig [II.15]: Diminution considérable de cavités au sein du matériau par rapport aux deux pièces précédant.

Sur la base de la différence entre les systèmes au niveau des constituants du matériau final, nous avons remarqué que plus la densité des matériaux de base ajoutés au polystyrène pâteux est grande plus la présence des pores est moindre, à savoir $2,65 \text{ g/cm}^3$ pour le sable (majoritairement de la silice) et $2,71 \text{ g/cm}^3$ pour la poudre de marbre (majoritairement du carbonate de calcium) et $7,87 \text{ g/cm}^3$ pour le fer. Le fer est presque trois fois plus lourd que la poudre de marbre. Néanmoins, cette explication paraît simple et non suffisante, elle n'explique toujours pas d'une manière intégrale la présence des pores au sein du matériau.

En s'inspirant de l'élaboration du béton, il est connu que le mixage suivi par des vibrations du matériau avant séchage contribue directement à homogénéiser le matériau et à optimiser au maximum la présence des poches d'air qui fragilisent ce dernier. Afin de minimiser cette présence, un mixage mécanique lent et non manuel est assuré tout en soumettant notre matériau à des vibrations.

Toutefois, il faut savoir que pour assurer une vibration à un matériau type béton pour qu'il soit homogène et bien entassé (absence de cavités d'air), il existe deux techniques: la vibration externe et la vibration interne. La première consiste à l'enfoncement d'une aiguille dans le matériau dit: frais en assurant des mouvements vibratoires successifs et la seconde technique consiste à assurer une oscillation sur un support contenant le matériau [13].

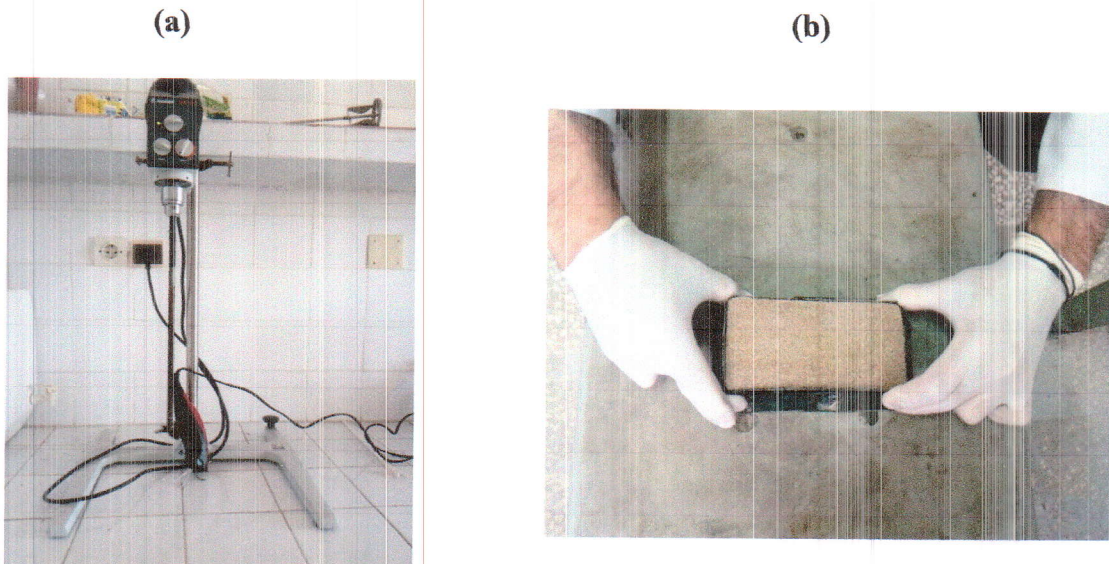


Fig [II.16]: Montage assurant le mouvement vibrationnel: (a) interne, (b): externe.

Nous avons constaté que le mixage mécanique est plus difficile à réaliser que le mixage manuel (avec les mains). La difficulté réside dans la solidification de la pâte de polystyrène formée par l'ajout de l'acétone. Afin d'amoinrir cette contrainte, l'acétone est ajouté au fur et à mesure que la pâte tend vers la solidification et cette dernière reste maniable (consommation de l'acétone s'élève). Une fois que la matière est mise dans un moule, un mouvement vibrationnel interne et/ou externe est assuré. l'échantillon qui a subit cette action est celui qui appartient au système Pâte-Sable. Après le séchage, démoulage et découpage, le matériau obtenu est présenté sur la figure suivante :

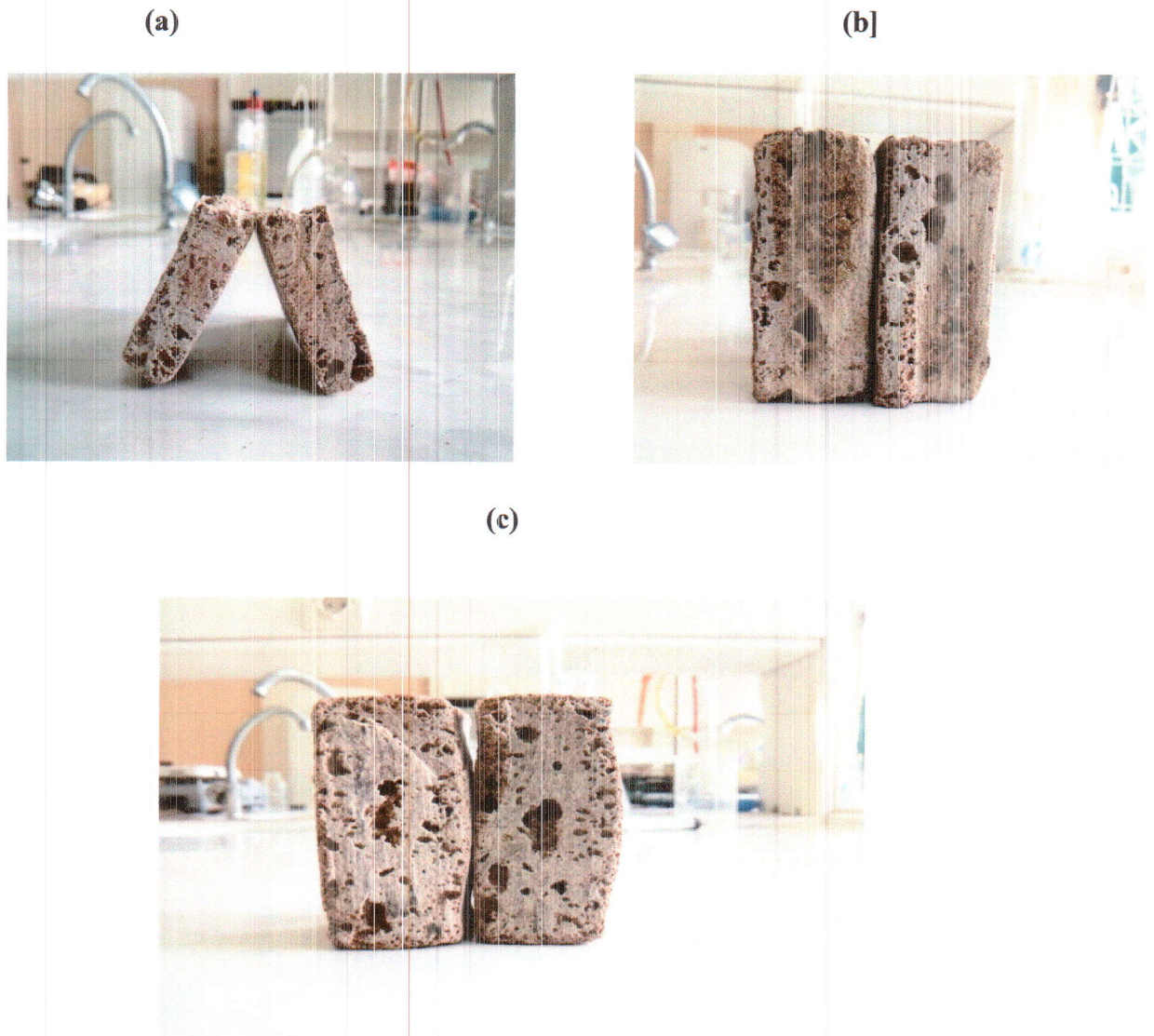
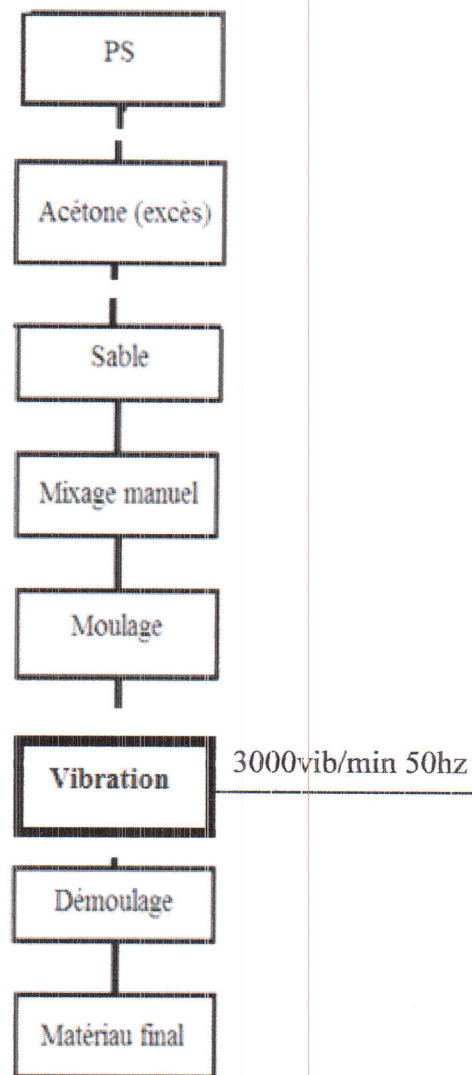


Fig [II.17] : Matériau obtenu après satisfaction du facteur vibrationnel pour amoindrir le nombre des pores. (a) vibration interne, (b) vibration externe ($t=20\text{mns}/3000\text{Vib}/\text{min}$), (c) sans vibration.

La figure montre nettement qu'il y a eu une amélioration au niveau de la présence des pores, bien évidemment cette amélioration est due au facteur de vibration qui est assuré durant l'étape du moulage et dont l'absence des gonflements est observé (parois bien droites).

Suite à l'introduction du facteur : Vibration, le protocole expérimentale pour l'obtention du matériau ciblé a connu une actualisation. Il se présente comme un de final comme suit:



II.5- Conductivité électrique du matériau S-PS_{pâte}-Poudre de Fer

L'introduction de la poudre de fer pouvait donner un caractère conducteur au matériau, pour avoir une certitude sur ce point, nous avons effectué une mesure de la conductivité électrique pour notre matériau. Le teste est simple à réaliser en utilisant un multimètre au laboratoire des mesures électriques, du département d'électronique de l'université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel. La lecture sur l'écran du multimètre, montre clairement que notre matériau « armé » ne conduit en aucun cas l'électricité, c'est un matériau isolant.

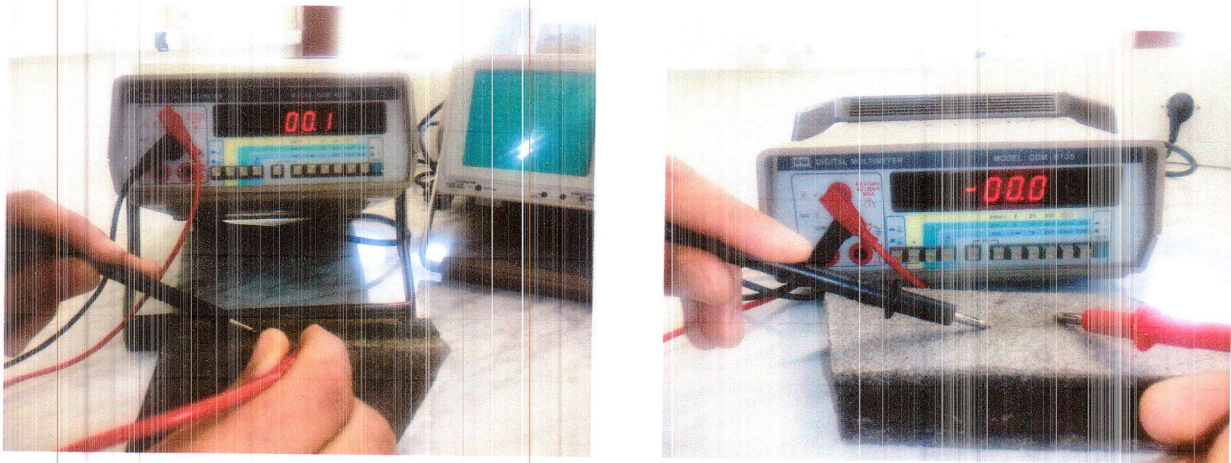


Fig [II.18]: Test au multimètre réalisé sur le matériau armé avec la poudre de fer.

II.6- Comportement aux produits chimiques du matériau

Dans l'esprit de l'essai et l'expérimentation, nous avons estimé qu'il est primordial d'avoir une idée plus ou moins précise sur le comportement du matériau ciblé obtenu via notre approche vis-à-vis de certaines solutions chimiques dites : sévères et considérées comme des solutions corrosives, à savoir, l'acide nitrique HNO_3 , l'acide sulfurique 96% (H_2SO_4), l'acide fluorhydrique (HF), l'acide chlorhydrique (HCl), l'hydroxyde de sodium (NaOH) et l'eau régale (HCl/HNO_3).

Les résultats ont montré que le matériau manifeste une très bonne résistance au contact de ces solutions agressives et aucune réaction « instantanée » n'est observée, aucune détérioration apparente de la surface du matériau n'est constatée le matériau présente une stabilité envers les solutions acides. Hors, nous avons noté que suite à la plonger du matériau dans de l'eau régale, nous avons observé le dégagement instantané de bulles qui, au bout d'un moment ont disparues. Ce n'est qu'à la suite de la récupération de l'échantillon que nous avons constaté que l'eau régale a pénétré au sein du matériau, peut-être qu'en atteignant les cavités d'air(pores), l'air qui s'y trouve se dégage et ce dégagement s'exprime par l'apparition de bulles. Par ailleurs, une réaction instantanée est remarquée en présence de NaOH caustique avec l'apparition d'une couleur blanchâtre même si à la base le polystyrène ne présente aucune réaction en présence de cette base.


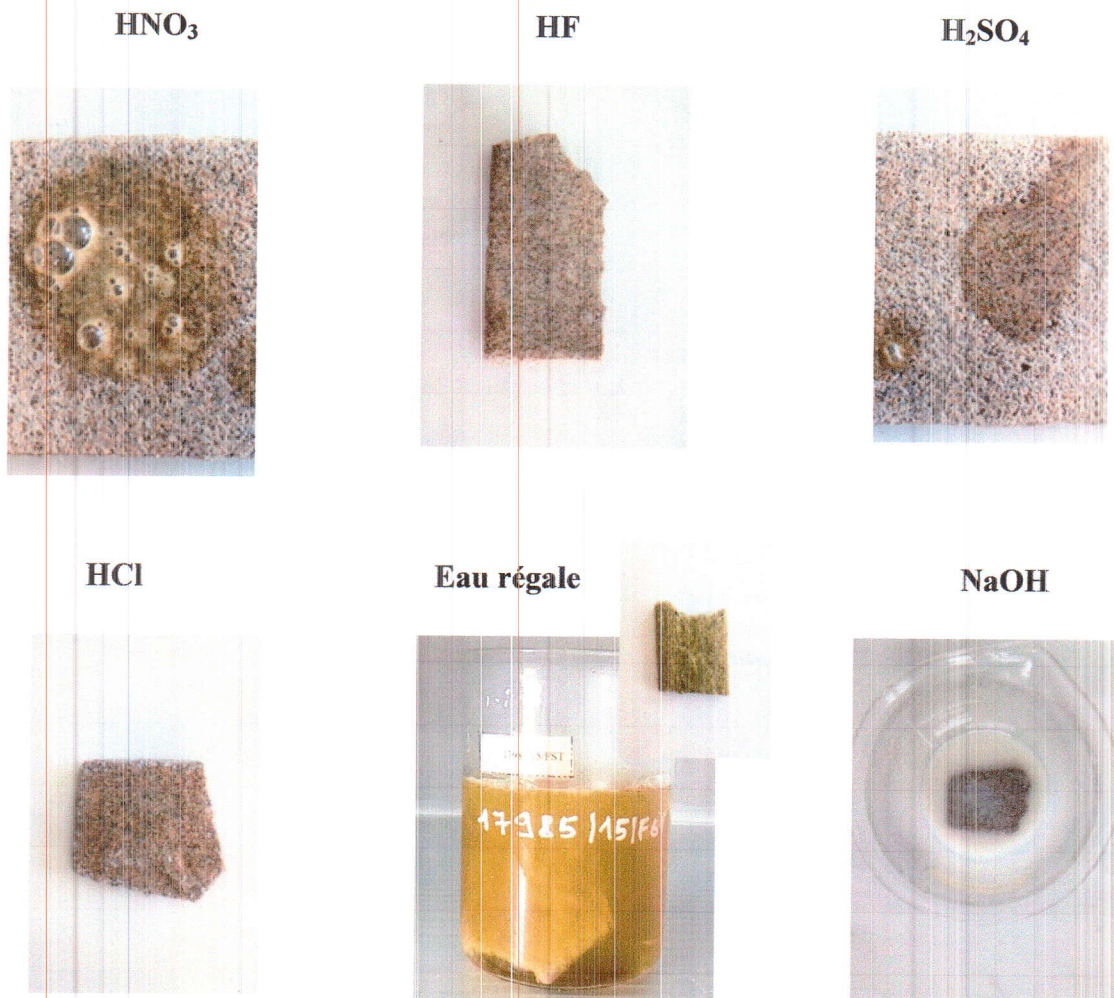
Solution Chimique	SIMDUT	Réaction Instantanée
HF		Aucune
HNO ₃		Aucune
H ₂ SO ₄		Aucune
HCl		Aucune
NaOH		Aucune
Eau Régale		Aucune

Tableau [II.11]: Comportement immédiat du matériau au contact de solutions corrosives (SIMDUT : Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail).



Comme ce test n'est pas vraiment concluant, nous avons décidé de refaire le même test avec les mêmes produits chimiques mais en laissant le temps de contact (matériau-solution) pour une durée de 24h. Les résultats obtenus sont présentés comme suit :


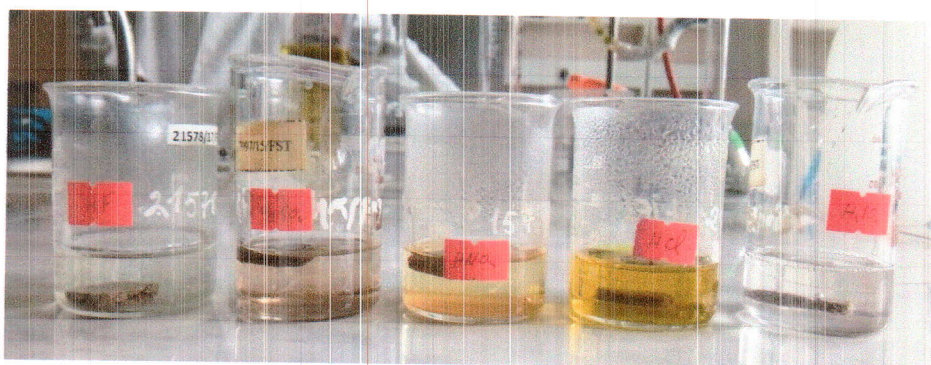
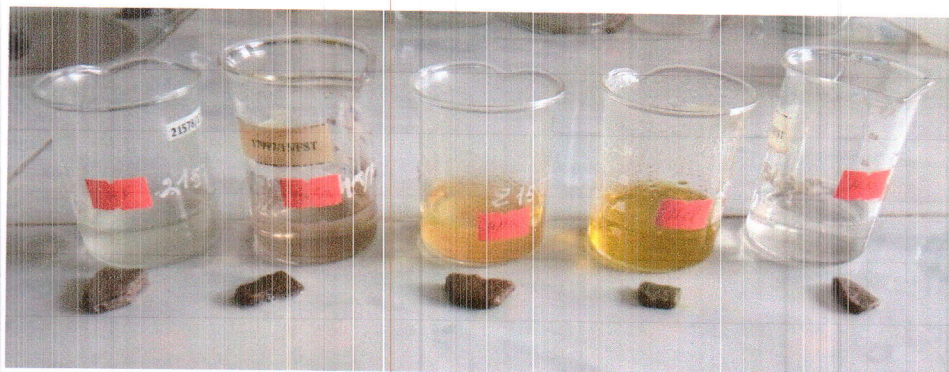
Solution Chimique	SIMDUT	Réaction après 24h00
HF		Aucun
HNO ₃		Aucun
H ₂ SO ₄		Aucun
HCl		Aucun
NaOH		Aucun
Eau régale		Aucun
H ₃ PO ₄		Aucun
Eau Régale : pas de test a l' eau régale car elle perd ses propriétés dont le pouvoir oxydant de HNO ₃		

Tableau [II.12]: Comportement du matériau après 24h de contact avec des solutions corrosives.



Un échantillon est plongé dans les solutions chimiques et récupéré après 24heures de contact après 24heures



II.7- Application

A cause de son aspect maniable avant l'étape du séchage, le matériau obtenu peut prendre toutes formes fixées par le moule. Comme nous l'avons présenté, une pièce en forme de brique a pu être réalisée et qui est destinée à la construction des petites murettes dans les jardins ou pour la séparation dans voie publique. Les pièces qui contiennent la poudre de fer et qui présentent une nette amélioration du matériau peuvent être utilisés comme parquet.

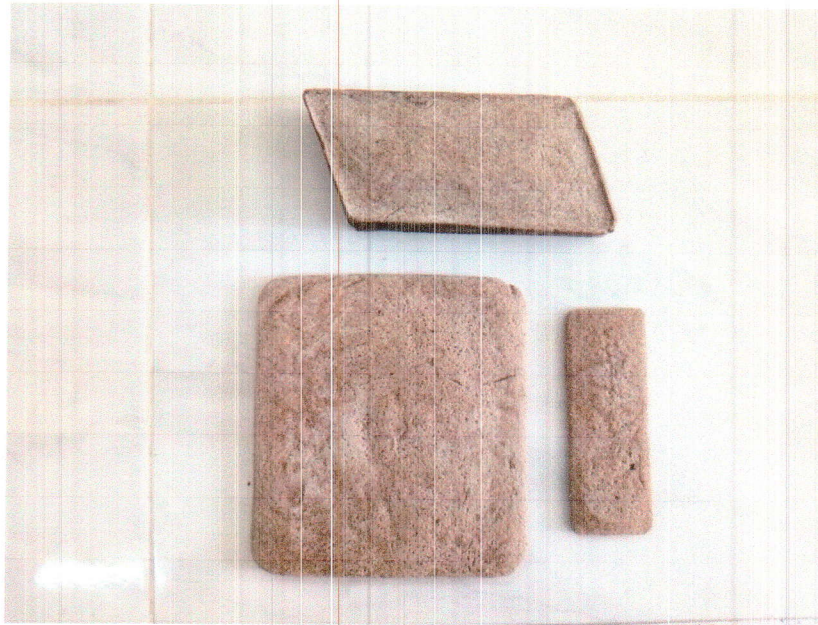


Fig [II.19]: Brique pour petites muraille et forme carré pour revêtement.

Des formes rectangulaires ou carrées sont aussi possibles, ces formes sont destinées au revêtement de mur extérieur, plinthe et le contour des arbres.....etc.

Conclusion générale et
perspectives

Conclusion Générale et perspectives

Notre étude est une d'expérimentale, elle à pour but de mettre en œuvre un procédé innovateur d'élaboration d'un matériau à base de polystyrène récupéré (déchets) en vu de réaliser un recyclage de ce dernier et amoindrir l'impact de cette matière plastique sur l'environnement.

La nouvelle approche pour l'obtention du matériau ciblé, s'effectue en milieu doux sans aucun traitement thermique et sans aucun chauffage (même modéré) contrairement à la méthode régénération du plastique pour la fabrication des matériau pour le même usage et utilisation, par conséquent, notre approche par rapport à la dernière , ne génère aucun gaz éventuellement toxiques, ne contribue en aucune manière à l'effet de serre. Cette approche est une approche non polluante.

La réalisation du mélange polystyrène-sable s'est avérée difficile pour tous les échantillons élaborés, car cet ajout impose un changement d'aspect de la matière plastique qui réside dans la transformation de cette dernière en une pâte (réaction endothermique). Cette nouvelle forme de la matière plastique est une contrainte majeure durant le mixage(répartition homogène des grains de sable dans la pâte) et après l'ajout du constituant sable. Pour détourner cette contrainte, nous avons travaillé avec un excès d'acétone tout en usant du caractère volatil de cette solution.

Les analyses préliminaires effectuées sur les matériaux de départ, a savoir, le sable, la poudre de marbre et la poudre de fer au niveau de la morphoscopie et sédimentologie (Granulométrie, ESV, ESP) ont montré , d'une part, que les sables choisis pour notre expérience sont de qualité pure (très propre) sans aucun refus et/ou présence d'argile, qu'ils appartiennent à la famille de gros sables. D'autre part, la poudre de marbre récupérée auprès des artisans marbriers présente des grains dont la taille est inférieure a celle des sables utilisés.

Les essais réalisés ont montré que les proportions adéquates pour l'obtention d'un matériau qualifié de "Bon" (notre matériau de référence) est celui qui contient deux tiers (66%) du sable cohabitant avec un tiers(33%) de polystyrène dont l'aspect est pâteux alors que le matériau contenant un quart (25%)de polystyrène pâteux cohabitant avec trois quart (75%) de sable est de mauvaise qualité. Nous nous sommes permit de le qualifier ainsi a cause de la présence flagrante de déformations et gonflement du matériau après séchage, ce qui n'est guère le cas pour notre le matériau de référence.

L'introduction de la poudre de marbre (roche) dans le matériau, s'est effectuée par l'occupation de 25% du pourcentage du sable (66%) dans le matériau de référence. Le résultat

obtenu est plus que satisfaisant a cause de la non présence de fissure apparente, ni gonflement ni même de déformation. Le même résultat est obtenu pour le matériau dans la poudre de marbre est remplacée par la poudre de fer avec les mêmes proportions de cohabitation.

Enfin, notre approche pour l'élaboration d'un matériau à base du polystyrène récupéré est une approche prometteuse, non couteuse, non polluante et surtout simple à réaliser et elle est convenable pour les micros entreprises.

Pour les perspectives, nous envisageons de réaliser des essais mécaniques à savoir attraction, sciesaiement, élasticité, dureté...etc, ainsi que des essais du comportement au feu, qui sont des essais très délicats soumis à des protocoles définis et conventionnels.

Références

Références Bibliographiques

- [1]: BEMMAMI Kamel-Edinne, TCHOUAR Amine, " Conception et Réalisation d'une Unité de Recyclage-Plastique-", Master, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen (2017).
- [2]: Jean-Paul Bailon, Jean-Marie Dorlot, "Des Matériaux", 3èd, Montréal (2000).
- [3]: Soraya Mahiout, "mettre en valeur ou bannir le polystyrène-approches dans un cadre développement durable", thèse de doctorat, université de Sherbrooke (2014).
- [4]: J.P. ARLIE, "Les thermoplastique de grand tonnage", Edition Technip, Paris (1987).
- [5]: Ammari ramzi, Nouar hamza, "Caractérisation électrique des matériaux composites PS/PANI destinés à des applications semi-conductrices", thème de master, université MSB- Jijel (2015).
- [6]: Michel Biron, "Transformation des matières plastiques", Dunod, Paris (2010).
- [7]: BENAMRANE Dounia Zed, "L'effet de la méthode de formation sur la résistance à la compression du béton", Master, université KASDI Merbah Ouargla (2017).
- [8]: Norme Française NF, "Analyse granulométrique", P 94-056 (1996).
- [9]: Norme Française NF, "Equivalent de sable", P 18-598 (1991).
- [10]: Carl Zeiss, Mikroskopie, D-07740 Jena, B 40-002 (12/98).
- [11]: Fournier J, Bonnot-Courtois C, Analyse granulométriques, principe et méthode, CNRS, Dinard, Paris (2012).
- [12]: Sonia Belmedrek, Mémoire de magister, Université Mentouri-Constantine-Algérie (2001).
- [13]: Guillaume Grampix, "Vibration des bétons", thèse de doctorat, Université Paris-Est (2013).