

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2019

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par :

**Melle. ZANE Messaouda**

**Melle. DJEMAA Nabila**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2en** :

**Filière** : Génie Civil

**Spécialité** : Matériaux en Génie Civil

**Thème** :

**Elaboration et caractérisation d'un mortier léger par  
introduction de billes de polystyrène.**

**Devant le jury composé de :**

SAOUDINacira

KENNOUCHE Salim

HAMI Brahim

MAA

MCB

MCB

UAMOB

UAMOB

UAMOB

Président

Encadreur

Examineur

**Année Universitaire 2018/2019**

## **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : Salim Kennouche pour ses précieux conseils, son aide et son soutien qu'il nous apporté dans les moments les plus difficiles de la réalisation de ce mémoire, son expériences et la confiance qu'il nous à accordée.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail Surtout Mr Aissa Rezig contrôleur de qualité au niveau de laboratoire de Msila, Mr Djourdikh Zouhir et le directeur de L. N.H.C Mr Mouhamed Rkibi.*

*Ce travail a été réalisé à l'université d'Akli Mohand Oulhadj BOUIRA au sein du laboratoire matériaux de construction de département de génie civil. C'est pourquoi nous tenons à remercier les responsables qui nous ont accueillies dans le laboratoire, Monsieur Farid et Madame Louiza.*

*Merci*



## **Dédicace**

*Je dédie ce modeste travail à.*

- *A ma Mère «Farida» qui m'a encouragé durant toutes mes études, et qui est toujours disponible pour m'aider, je lui confirme mon attachement et mon profond respect.*
- *A Mon père «Mohammed», qui est toujours disponible pour me soutenir et pour que je puisse arriver à ce stade.*
- *A Mon chère seul frère «Sofiane» qui a toujours été à mes côtés pour m'encourager et à sa femme «Soraya» et ses enfants.*
- *A mes chères sœurs «Nihad», «Saadia», «Hana» et leurs époux «Youssef», «Mustafa», «Salah» pour son soutien moral et ses conseils précieux tout au long de mes études.*
- *A Mon cher grand-père et ma chère grand-mère, qui je souhaite une bonne santé.*
  - *A toute la famille Zane et Harmoune.*
- *A la mémoire de ma grand-mère «Faroudja» que dieu la garde dans son vaste paradis.*
- *A mes chères ami(e)s tout particulièrement «Samir», «Zahir», «warda» et «Housseem Eddine » qui m'ont aidé et soutenue dans les moments difficiles ...*
  - *A ma chère binôme «Nabila» et à toute sa famille.*
    - *A tous mes amis de ma promotion.*
  - *Et à tous ceux que j'ai connus durant mon cycle d'étude.*

**ZANE Messaouda**

## **Dédicace**

*Je dédie ce modeste travail à.*

*- A mes chers pères « Abd el Karim, Azzedine » A mes exemples éternels, mes soutiens moral et source de joie et de bonheur, celui qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation, celui qui se sont toujours sacrifié pour me voir réussir, je ne peux pas tout expliquer ici, ce sera trop long, que dieu vous garde.*

*- A ma chère mère « Akila » A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, à celle qui a été là pour moi dans mes moments de moins, dans mes périodes de noirs, entre elle et moi, il y aura toujours plus que ce lien de sang. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit par toi maman, pour mon éducation et mon bien être, que DIEU te bénisse.*

*- A Mon cher grand père et mes grandes mères « Amer, Hjila, Fatma » j'espère que le Dieu vous garde dans son vaste paradis.*

*- A Ma chère mère «Halima».*

*- A Mes chères sœurs « Samira, Ibtissem, Bouchra, Doae, Roeya » « Assia, Asma, Somia, N.elhouda ,Imane et leurs hommes»*

*- A les fleurs « Nourhen, Aya, Rahim ,didou ,Adem ,Loeay, Wassim ,Lodjeyn et Raniya »*

*A sœur de cœur « Chaima et sa mère et son père, Meriem B et toute sa famille »*

*- A Mon cher frère « Zaki »*

*- A ma grande famille qui est intéressée à mon succès.*

*Aux personnes qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures mes aimables amies, collègues d'étude, « Zahir , Meriem, Amina Samir et wissem »*

*A ma chère binôme «Jila et à toute sa famille»*

**DJEMAA Nabila**

## **Résumé**

Le mortier est un matériau largement utilisé dans le domaine de la construction, la tendance à alléger d'avantage les matériaux, notamment avec l'introduction des matériaux légers tel que le polystyrène, qui confère aux matériaux une densité faible, et une isolation thermique et acoustique, avec une optimisation d'utilisation du polystyrène, permettant de garder les propriétés physicomécaniques du matériau.

Ce travail présenté dans ce mémoire, a pour principal objectif de faire une étude sur l'effet de l'introduction du polystyrène sous forme de billes dans les mortiers, avec différents pourcentages, qui varient de (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, et 50%), et cela avec la formulation de plusieurs variantes d'éprouvettes qui ont été élaborées sous forme prismatique, pour évaluer les caractéristiques physicomécaniques des échantillons issus de chaque variante, une campagne d'essais physique et mécanique à travers des essais de détermination des masses volumiques, des essais de flexion trois points et de compression ont été réalisées, afin d'estimer l'effet d'addition sur les propriétés physicomécaniques essentielles des mortiers légers par rapport aux échantillons témoins.

Les résultats obtenus permettent de confirmer l'amélioration de la légèreté des mortiers, notamment de garder les résistances mécaniques en compression acceptables même à 30 % d'introduction.

**Mots clé :** *Mortier léger, billes de polystyrène, résistances mécaniques.*

## **Abstract**

Mortar is widely used material in the field of construction, the tendency to further lighten the materials, especially with the introduction of lightweight materials such as polystyrene, which gives materials with a low density, and thermal insulation and acoustic too, with the optimization of polystyrene, making it possible to keep the physico-mechanical properties of the material.

The main objective of this work, presented in this thesis, is to study the effect of the introduction of polystyrene in the form of beads in mortars, with different percentages, which vary from (0%, 5%, 10%, 15 %, 20%, 30%, and 50%), and this with the formulation of several variants of specimens were developed in prismatic form, to evaluate the physico-mechanical characteristics of the samples from each variant, a companion of physical tests and mechanical tests through density determination tests, three-point bending and compression tests are doing to estimate the effect of polystyrene addition on the essential physico-mechanical properties of lightweight mortars compared to control samples.

The results obtained confirm the improvement in the lightness of the mortars, in particular to keep the mechanical compressive strengths acceptable even at 30% introduction.

**Key words:** *light mortar, polystyrene beads, mechanical strength.*

## ملخص

يعتبر الملاط مادة تستخدم في نطاق واسع في مجال البناء، تهدف هذه الدراسة الى تخفيف وزنهذه المادة، وبإضافة مواد ذو كتلة حجمية صغيرة مثل خرز البولسترين ، والذي يخفف كثافة المواد، كما يأنثر إيجابيا علنالعزل الحراري والصوتي ، مع مراعات الحفاظ على الخواص الفيزيائية الميكانيكية لهذه المادة.

الهدف الرئيسي من هذا العمل المقدم في هذه الأطروحة ، هو دراسة تأثير إضافة البولسترين على شكل خرز في تركيبة الملاط، بنسب مئوية مختلفة ، والتي تتراوح من (0 % ، 5 % ، 10 % ، 15 % ، 20 % ، 30 % ، و 50 %) ، وهذا مع صياغة العديد من العينات التي تم صنعها في قوالب موشورية الشكل ، وذلك لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لكل عينة وهذا بإجراء معايير اتميكانيكية وفيزيائية من خلال تحديد الكثافة وكذا قوى المقاومة للضغط والشد عن طريق الإنحناء لتقدير تأثير إضافة البولسترين على الخواص الفيزيائية الميكانيكية الأساسية بالمقارنة بعينات لملاط مرجعية.

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها ملاحظة انخفاض كثافة الملاط بعد إضافة البولسترين، ولا سيما للحفاظ على قوة الضغط الميكانيكية مقبولة حتى عند إضافة 30 % من البولسترين.

**الكلمات المفتاحية:** الملاط الخفيفة، خرز البولسترين، القوة الميكانيكية.

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique .....	3
1 er partie : Les mortiers .....	4
I. Introduction.....	4
I.1. Définition .....	5
I.2.Constituants des mortiers .....	5
I.2.1. Le Liant.....	5
I.2.2. Le sable.....	5
I.2.2.1.Origines de sable.....	5
I.2.2.2. Granulométrie .....	7
I.2.2.3. Rôle du sable dans le mortier.....	7
I.2.2.4. Exigences sur le sable d’usage général .....	7
I.2.3. L’eau de gâchage .....	7
I.2.4.L’adjuvant.....	8
I.2.5. Les ajouts.....	9
I.3. Différents types des mortiers.....	9
I.3.1. Les mortiers de ciment .....	9
I.3.2. Les mortiers de chaux.....	9
I.3.3. Les mortiers bâtards.....	9
I.3.4. Mortier réfractaire.....	10
I.3.5. Mortier rapide .....	10
I.3.6. Mortier industriel .....	10
I.4. Classification des mortiers .....	10
I.5. Emplois des mortiers .....	11
I.6. Préparation des mortiers.....	13
I.7. Caractéristiques des mortiers .....	14
I.7.1.Ouvrabilité .....	14
I.7.2. Prise .....	15
I.7.3. Résistances mécaniques.....	15
I.7.4. Retraits et gonflements .....	16
I.7.5. Masse volumique apparente .....	17



## *Table des matières*

---

I.7.6. Masse volumique absolue.....	17
I.7.7. Porosité et compacité.....	17
I.8. Le rôle d'utilisation de mortier.....	18
Conclusion.....	18
2 <sup>ème</sup> partie .....	20
I.2. Introduction générale.....	20
I.2.1. Définition.....	20
I.2.2. Origine du polystyrène .....	20
I.2.3. Forme de polystyrène .....	21
I.2.4. Propriétés du polystyrène .....	23
I.2.5. Les différents types de polystyrènes.....	24
I.2.6. Caractéristiques techniques du polystyrène (PS).....	24
I.2.7. Les applications .....	25
I.2.8. Le polystyrène expansé .....	25
I.2.8.1. Introduction.....	25
I.2.8.2. Histoire de sa découverte .....	26
I.2.8.3. Fabrication de PSE.....	26
I.2.7.4. Polystyrène expansé et environnement.....	29
I.2.7.5. Le polystyrène est 100% recyclable .....	30
I.2.7.6. Les performances .....	30
I.2.7.6.1. La performance thermique .....	30
I.2.7.6.2. La performance acoustique .....	30
I.2.8. L'utilisation de l'additifs polystyrène dans les mortiers légers et béton léger .....	31
a. Béton léger.....	31
b. mortier léger .....	34
Conclusion.....	35
Travaux de recherches.....	35
Travaux de recherche .....	38
Chapitre II : Partie expérimentale .....	39
Partie 1.....	40
II. Introduction .....	40
II.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.....	40
II.1.1. Masse volumique (absolue).....	40

II.1.2. Masse volumique apparente .....	41
II.1.3. Porosité.....	42
II.1.4. Compacité.....	42
II.1.5. L'indice des vides.....	42
II.1.6. Equivalent de sable.....	42
II.1.7. Analyse granulométrique .....	45
II.1.8. Module de finesse.....	47
II.1.9. Le degré d'absorption .....	47
II.2.L'eau de gâchage .....	48
II.3. Fiche technique du ciment portland compose CPJ-CEM II/A 42,5.....	48
II.3.1. Propriété physique.....	48
II.3.2. Temps de prise .....	48
II.3.3. Résistance à la flexion.....	48
II.3.4. Résistance à la compression.....	49
II.4. Caractéristiques techniques du polystyrène (PS).....	49
II.5. Notice technique super plastifiant SIKA VISCOCRETE 665.....	49
II.5.1. Description .....	50
II.5.2. Domaines d'application .....	50
II.5.3. Propriétés.....	51
II.5.4. Conditions d'application Dosage .....	51
II.5.5. Caractéristique.....	51
II.5.6. Délai de conservation .....	52
II.5.7. Précaution d'emploi.....	52
II.6. Formulation des mortiers .....	52
II.6.1. Formulation des mortiers .....	52
II.6.2. Les différentes étapes de confection .....	52
II.6.2.1. Pesée des constituants.....	52
II.6.2.2. L'incorporation de polystyrène .....	52
II.6.4. Préparation des moules.....	53
II.6.5. Préparation des éprouvettes.....	54
II.6.6. Conservation des éprouvettes.....	54
II.7. Conclusion .....	56
Chapitre II : Partie expérimentale .....	57

Partie 2 : Résultats expérimentaux et interprétations .....	58
II.2.1. Introduction.....	58
II.2.2. La masse volumique et le degré d'absorption .....	58
II.2.2.1. La masse volumique.....	58
II.2.2.2. Absorption d'eau (A%) .....	60
II.2.3. Les résistances mécaniques.....	61
Conclusion.....	66
Recommandations et perspectives .....	71
Références bibliographiques .....	72
<i>Annexes</i> .....	75
Annexe A.....	76
Annexe B.....	80
Annexe C.....	81
Annexe D.....	83
Annexe E.....	87

### **Les figures I**

Figure I. 1 : Sable roulé (naturel) et Sable concassé (artificiel).....	6
Figure I. 2 : Mode d'action de Superplastifiants Haut réducteurs d'eau.....	9
Figure I. 3 : Pose de mortier de hourdage. ....	12
Figure I. 4 : Enduits isolants et enduits de façade.....	12
Figure I. 5 : Les chapes fluides et chape ciment. ....	12
Figure I. 6 : Les scellements.....	13
Figure I. 7 : Table à secousse. ....	14
Figure I. 8 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre.....	14
Figure I. 9 : Cône.....	15
Figure I. 10 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge. ....	15
Figure I. 11 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier. ....	16
Figure I. 12 : Dispositif de rupture en compression.....	16
Figure I. 13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	16
Figure I. 14 : Appareillage pour la mesure du retrait. ....	17
Figure I. 15 : Volume quelconque et le volume unitaire.....	17
Figure I. 16 : Schéma d'obtention du polystyrène. ....	20
Figure I. 17 : Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène. ....	21
Figure I. 18 : Polystyrène cristal. ....	21
Figure I. 19 : Photos polystyrène choc. ....	22
Figure I. 20 : Photos PS expansé.....	23

Figure I. 21 : Les boîtiers de CD, PS cristal et les emballages alimentaires.....	25
Figure I. 22 : Les plaques de polystyrène.....	25
Figure I. 23 : Pré-expansion. ....	27
Figure I. 24 : Silos de pré-expansion.....	27
Figure I. 25 : Moule abloc.....	28
Figure I. 26 : Unité de découpage. ....	28
Figure I. 27 : Produit finie.....	29
Figure I. 28 : Image sur l'isolation acoustique d'une maison.....	31
Figure I. 29 : Mortier léger en sac.....	34
Figure I. 30 : Mortier léger.....	34
Figure I. 31 : Les résistances mécaniques en compression et en flexion. ....	36
Figure I. 32 : Mousse de polyuréthane extrudé rigide et de polystyrène expansé utilisées. ....	36
Figure I. 33 : Propriétés mécaniques (Rc résistance à la compression ; Edyn: module d'Young dynamique) des mortiers à 28 j. ....	37

## **Les figures II**

Figure II. 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau. ....	41
Figure II. 2 : Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau. ....	42
Figure II. 3 : Agitateur mécanique et 120 gr du sable.....	43
Figure II. 4 : Repos de 20 min pour les éprouvettes. ....	43
Figure II. 5 : L'essai d'équivalent de sable. ....	44
Figure II. 6 : Analyse granulométrique par tamisage NF P18.560. ....	47
Figure II. 7 : Le polystyrène.....	49
Figure II. 8 : Le super plastifiant SIKA VISCOCRETE 665.....	50
Figure II. 9 : Des moules prismatique (4x4x16) cm <sup>3</sup> .....	53
Figure II. 10 : Les constituants et le malaxeur automatique. ....	54
Figure II. 11 : Le malaxage.....	54
Figure II. 12 : Les éprouvettes prismatique (4x4x16) cm <sup>3</sup> .....	55
Figure II. 13 : La Conservation des éprouvettes. ....	55
Figure II. 14 : La machine de flexion et de compression.....	55
Figure II. 15 : La masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en polystyrène. ....	58
Figure II.16 : Masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène à 7 jours.....	60
Figure II.17 : Masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène à 28 jours.....	60
Figure II.18 : L'effet du polystyrène sur l'absorption.....	61
Figure II.19 : Effet de polystyrène sur la résistance à la flexion.....	63
Figure II.20 : Effet de polystyrène sur la résistance à la compression.....	63
Figure II. 21 : Corrélation entre les résistances en compression et en flexion.....	63
Figure II. 22 : Corrélation entre les résistances en compression et les masses volumiques. ...	64
Figure II. 23 : Corrélation entre les résistances en compression et celles en flexion.....	64
Figure II. 24 : Epreuve après l'écrasement en flexion. ....	66

**Tableau I**

Tableau I. 1 : Les masses volumiques des bétons avec le polystyrène. .... 35  
Tableau I. 2 : Proportions massique et volumique des mortiers étudiés. .... 37

**Tableau II**

Tableau II. 1 : La masse volumique absolue du sable..... 41  
Tableau II. 2 : La masse volumique apparente du sable. .... 42  
Tableau II. 3 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable..... 42  
Tableau II. 4 : Les résultats d'équivalent du sable..... 44  
Tableau II. 5 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable. .... 45  
Tableau II. 6 : Analyse granulométrique du sable. .... 46  
Tableau II. 7 : Le degré d'absorption pour le sable. .... 48  
Tableau II. 8 : Propriété physique de ciment. .... 48  
Tableau II. 9 : Début et fin de prise de ciment. .... 48  
Tableau II. 10 : Résistance à la flexion de ciment. .... 49  
Tableau II. 11 : Résistance à la compression de ciment..... 49  
Tableau II. 12 : Les caractéristiques de Le super plastifiant. .... 51  
Tableau II. 13 : Dosage de mortier..... 53  
Tableau II. 14 : Les différents dosages de polystyrène dans le mortier..... 53  
Tableau II. 15 : La masse volumique à l'état frais. .... 58  
Tableau II.16 : Masses volumiques des différentes variantes à l'état durci ..... 59  
Tableau II.17 : Le moyen des masses Volumiques des différents variantes..... 59  
Tableau II.18 : Le degré d'absorption de quelques éprouvettes. .... 61  
Tableau II.19 : Effet du polystyrène sur la résistance à la flexion. .... 62  
Tableau II.20 : La résistance à la compression des différents types. .... 62

# **Introduction Générale**

### Introduction générale

Dans toute construction, il est indisponible de réunir entre eux les différents éléments (bloc de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier ou d'autre liant qui ont pour but de:

- 1- Solidariser les éléments entre eux ;
- 2- Assurer la stabilité de l'ouvrage;
- 3- Comblent les interstices entre les blocs de construction les mortiers peuvent être:
  - Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
  - Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré dosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
  - Livrés par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Dans notre étude, le matériau utilisé est un mortier léger au polystyrène qui est connu par sa faible densité.

### Problématiques

Est-ce que l'ajout de polystyrène dans le mortier influence-t-il sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques? Si oui, comment et par quoi les améliorer?

### Objectif de l'étude :

Le but de la présente étude est de formuler des mortiers allégés avec différents pourcentages du polystyrène (5%, 10%, 15%, 20%, 30%, et 50%), pour remédier à ce point faible nous avons formulé plusieurs variantes d'éprouvettes qui ont été élaborées sous forme prismatique. Nous faisons varier le mortier par la variation du dosage en polystyrène mais le dosage de super plastifiant (haut réducteur d'eau) est fixe.

Après l'élaboration des mélanges plusieurs essais ont été effectués pour bien caractériser et identifier ce type de mortier.

Ce travail est structuré en deux chapitres principaux et chaque chapitre divisé en deux parties.

### Chapitre I : l'étude bibliographique (La partie théorique).

**La première partie :** Consacrée aux mortiers, dont on va aborder par une introduction et des définitions, puis leurs domaines d'utilisation.

**La deuxième partie:** Dédiée au polystyrène, sa présentation, et une revue sur mortier léger et le béton léger.

**Chapitre II :** Axé sur la caractérisation des matériaux utilisés et les méthodes expérimentales réalisées dans la partie pratique et l'élaboration des différentes variantes des mortiers étudiés.

## Introduction Générale

---

**La première partie :**Présentera les différents essais physicomécaniques effectués sur les échantillons issus des variantes des mortiers élaborés.

**La deuxième partie:** Consacrée à la présentation des résultats obtenus après les caractérisations physicomécaniques (la masse volumique, l'absorption d'eau et le comportement mécanique (les résistances en compression et en flexion) à l'état frais et durci des différents mortiers étudiés, puis nous présenterons une discussion des résultats.

**En fin,** une conclusion générale sur cette étude, des perspectives et des recommandations seront présentées.



# Chapitre I : Etude bibliographique

## Partie 1

Nous présenterons dans ce chapitre deux (02) parties d'études principales à savoir :

1<sup>er</sup> partie : Les mortiers de l'introduction et définition jusqu'à Le rôle d'utilisation de mortier.

2<sup>ème</sup> parties : Le polystyrène, présentation, mortier léger et le béton léger .....Etc.

## **1 er partie : Les mortiers**

### **I. Introduction**

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de :

- Solidariser les éléments entre eux ;
- Assurer la stabilité de l'ouvrage ;
- Comblent les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau.

En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier. Les mortiers peuvent être:

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrés par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers.

A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être dédié à :

- La protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits monocouche),
- La pose des carrelages (mortier colles et mortier des joints),
- La préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- Les assemblages (élément de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),
- L'isolation et l'étanchéité (système d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),

- Les travaux spéciaux (gunitage, épations d'ouvrage d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages) [1].

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon [2].

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que les constituants, classification des mortiers, emplois, le rôle, méthode de formulation et les essais.

### **I.1. Définition**

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant [2].

### **I.2. Constituants des mortiers**

#### **I.2.1. Le Liant**

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [3].

Généralement, on peut utiliser:

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

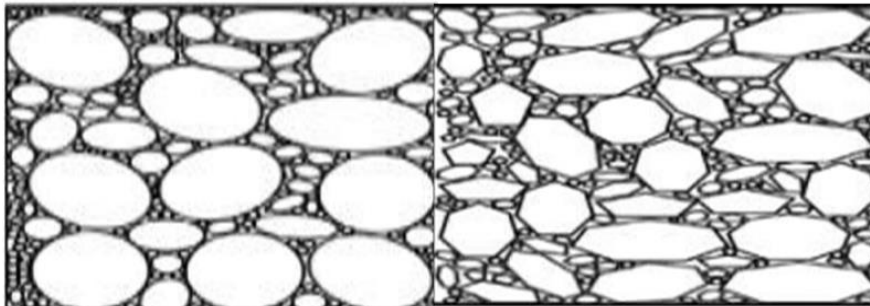
#### **I.2.2. Le sable**

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [4].

##### **I.2.2.1. Origines de sable**

**Sable d'origine naturelle,** Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers

agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho -scopie) (**figure I.1**) au cours des temps géologiques. Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux [2].



**Figure I. 1** : Sable roulé (naturel) et Sable concassé (artificiel).

### **Sable d'origine artificiel**

Provient de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (Pouzzolane), dit aussi sable concassé, caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant [2]. (**figure I.1**)

### **Sables spéciaux (lourds, réfractaires, légers**

- Sable de laitier;
- Sable d'oxydes de fer, de chromite;
- Corindon;
- Sable de briques concassées;
- Polystyrène expansé;
- Vermiculite, perlite.

**I.2.2.2. Granulométrie**

Certains sables sont à éviter, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu'à 0,08 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins : jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm.
- Gros : jusqu'à 5 mm [2].

**I.2.2.3. Rôle du sable dans le mortier**

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant du ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [2].

**I.2.2.4. Exigences sur le sable d'usage général**

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable L'indice fourni par cet essai (ESV) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 3mm. En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m<sup>3</sup> de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0% à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m<sup>3</sup> de sable soit modifié, c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable [2].

**I.2.3. L'eau de gâchage**

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le

béton/mortier lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton/mortier frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle.

Le rapport E/C est un critère important des études de béton, c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité. Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher le béton. Certes, l'eau potable distribuée par le réseau du service public est toujours utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable. La norme XP P 18-303 [Afnor, 2007], a permis de préciser à quelles conditions une eau est utilisable [5].

#### **I.2.4.L'adjuvant**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons, l'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés des bétons et des mortiers dans le mélange à l'état frais et / ou à l'état durci.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, qui présenter une ou plusieurs fonctions secondaires, additionner aux mortiers en fonction du besoin envisagé, tels que :

- Les plastifiants (réducteurs d'eau);
- Les entraîneurs d'air;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- Les hydrofuges [4].

La norme **NF EN 934-2** [6] classe les adjuvants en onze 11 Catégories différentes :

#### **Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton**

- Plastifiants/Réducteurs d'eau ;
- Superplastifiants/Haut réducteurs d'eau ;
- Plastifiants/Réducteurs d'eau/Retardateur de prise ;
- Superplastifiants/Haut réducteurs d'eau/Retardateur de prise ;
- Superplastifiants/Haut réducteurs d'eau/Accélérateur de prise.

#### **Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement du béton**

- Accélérateurs de prise ;
- Accélérateurs de durcissement ;

- Retardateurs de prise.

#### Autres catégories normalisées d'adjuvants

- Hydrofuges de masse ;
- Entraîneurs d'air ;
- Rétenteurs d'eau.

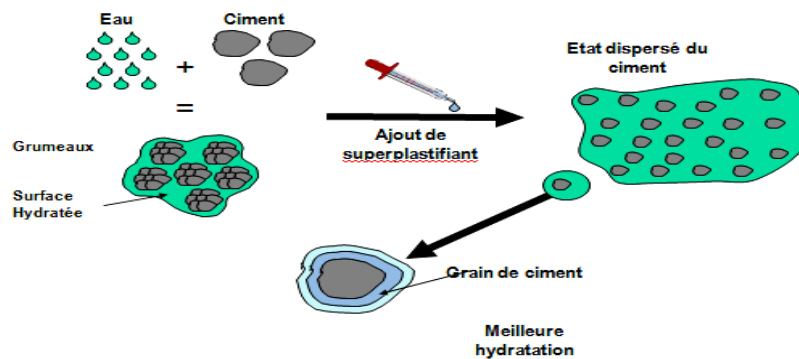


Figure I. 2 : Mode d'action de Superplastifiants Haut réducteurs d'eau.

#### I.2.5. Les ajouts

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont:

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..);
- Fibres de différentes natures;
- Colorants (naturels ou synthétiques);
- Polymères [4].

#### I.3. Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en :

##### I.3.1. Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciments très résistants, il présente une meilleure résistance à la compression et sa prise est plus rapide. En revanche, il est davantage sujet au retrait [7].

##### I.3.2. Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciments [7].

##### I.3.3. Les mortiers bâtards

Le mortier bâtard est composé de ciment et de chaux aérienne ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), plus élastique et plus facile à mettre en œuvre que le mortier de ciment pour son retrait est en outre moins marqué. Le temps de durcissement relativement long, surtout en cas de menace de gel [7].

**I.3.4. Mortier réfractaire**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues [2].

**I.3.5. Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les Scellements [2].

**I.3.6. Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiment.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ...
- Mortier de réparation [2].

**I.4. Classification des mortiers****1) Selon leur domaine d'utilisation**

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes [2] :

- Mortier de pose ;
- Mortier de joints ;
- Mortier pour les crépis ;
- Mortier pour le sol ;
- Mortier pour les stucs ;
- Pierres artificielles ;
- Support pour les peintures murales ;
- Mortier d'injection ;
- Mortier pour les mosaïques ;
- Mortier de réparation pour pierres.

**2) Selon la nature du liant**



On peut classer les mortiers selon la nature du liant :

- **Mortier de ciment portland**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables [2].

- **Mortier de chaux**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air ; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide [2].

- **Mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées [2].

- **Mortier à base de ciment de maçonnerie**

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte(calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants [2].

### **I.5. Emplois des mortiers**

- **Le hourdage de maçonnerie**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche [7].



**Figure I. 3 :** Pose de mortier de hourdage.

#### - Les enduits

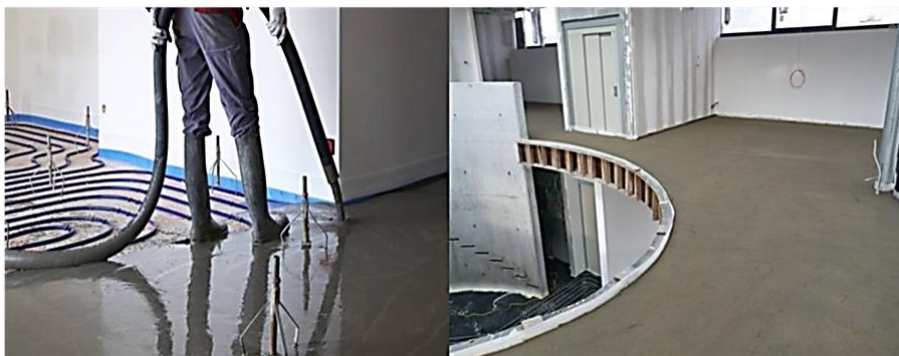
Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches décrites dans la norme NF P 15 201-1 et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants [7].



**Figure I. 4 :** Enduits isolants et enduits de façade.

#### - Les chapes

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique [8].



**Figure I. 5 :** Les chapes fluides et chape ciment.

#### - Les scellements et les calages

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite [8].



**Figure I. 6 :** Les scellements.

### **I.6. Préparation des mortiers**

La préparation du mortier s'appelle le gâchage, il s'agit simplement de mélanger les trois composants, ciment, sable et eau.

#### **1- Fabrication à la main**

Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et liant aussi parfaitement que possible et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage. La masse est humectée progressivement puis malaxée à l'aide d'un robot à mortier.

Cependant il faut savoir :

- Le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse.
- L'eau doit être versée en plusieurs fois, d'abord pour la commodité et la qualité du mélange, ensuite parce qu'il est facile d'ajouter un peu d'eau alors qu'on ne peut pas enlever.

#### **2- Fabrication mécanique**

La fabrication des mortiers se fait à l'aide des engins appelés bétonnières Avec certains modèles, le mélange doit être fait à sec, en partie avant l'introduction dans les tambours mélangeur où il est mouillé convenablement. D'autres font elles-mêmes le mélange complet : on introduit soit directement dans le tombeur, soit dans une benne, l'ensemble des éléments

constitutifs du mortier. L'opération ne dure que quelques minutes, elle est beaucoup plus rapide et moins pénible qu'à la main.

### I.7. Caractéristiques des mortiers

Les caractéristiques principales des mortiers sont: [2]

#### I.7.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont :

- **Table à secousses**

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec :  $D_r$ : diamètre final ;

$D_i$ : diamètre initial.

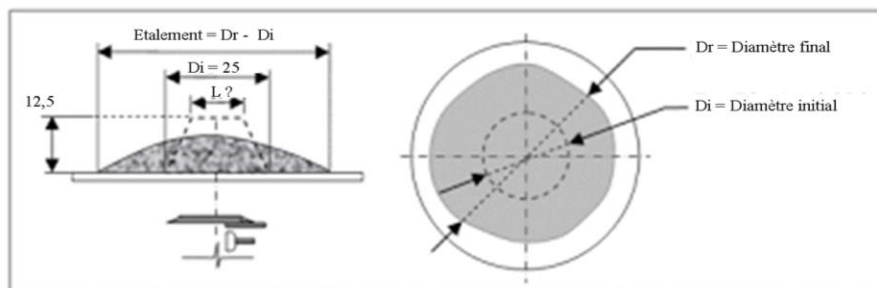


Figure I. 7 : Table à secousse.

- **Maniabilimètre du LCPC**

Est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule [2].

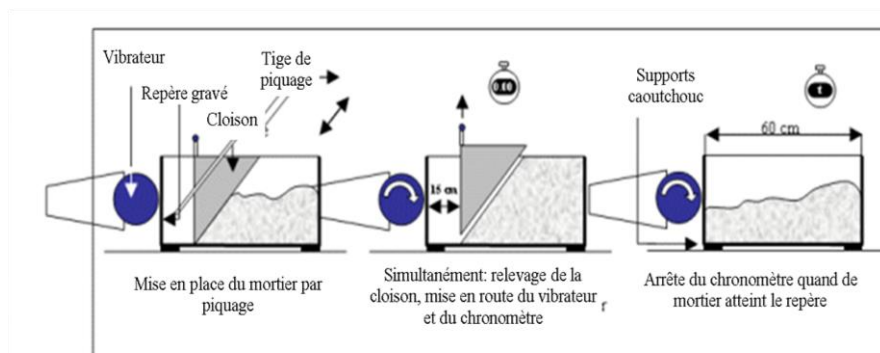
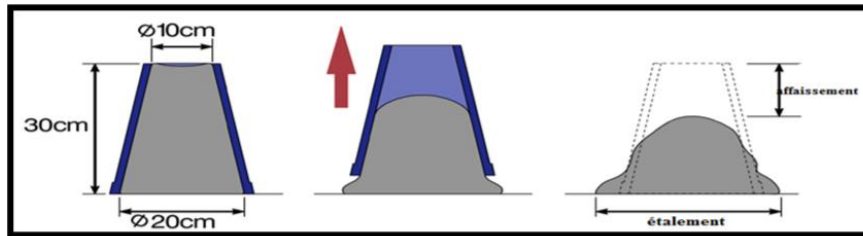


Figure I. 8 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre.

- **Le cône**

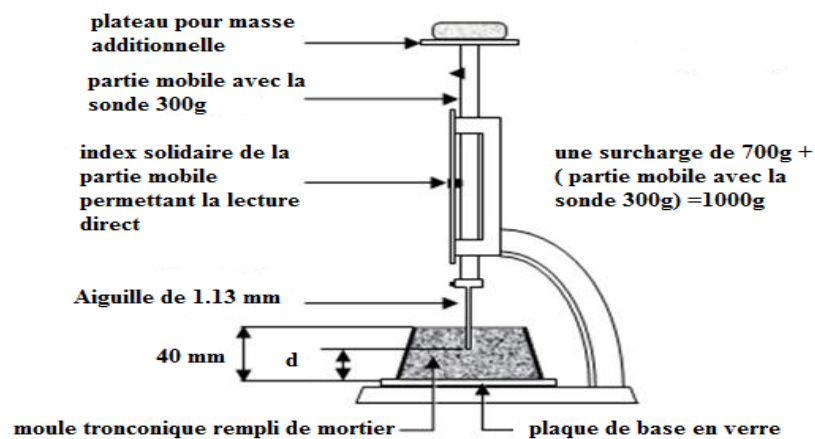
Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur [2].



**Figure I. 9 : Cône.**

### I.7.2. Prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur [2].



**Figure I. 10 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge.**

### I.7.3. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$  conservés dans l'eau à 20 °C.

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

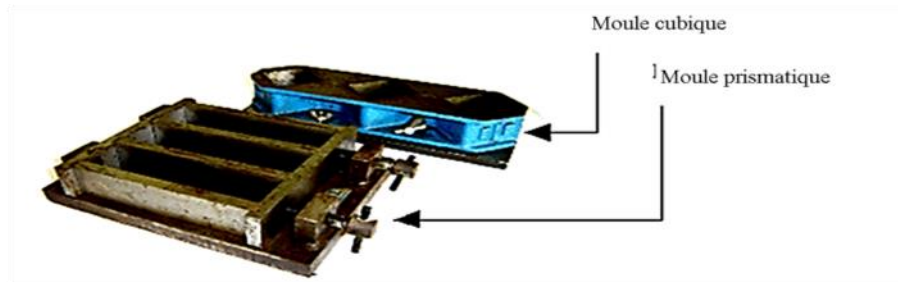


Figure I. 11 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.

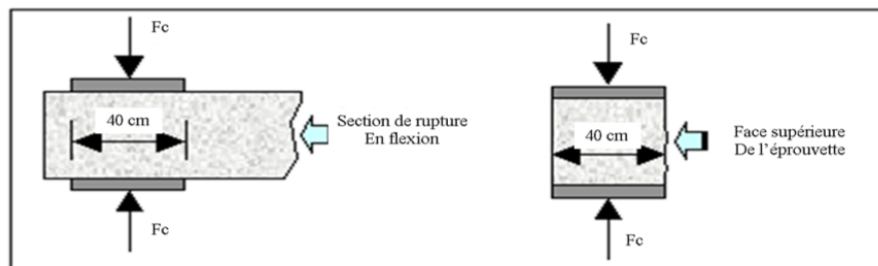


Figure I. 12 : Dispositif de rupture en compression.

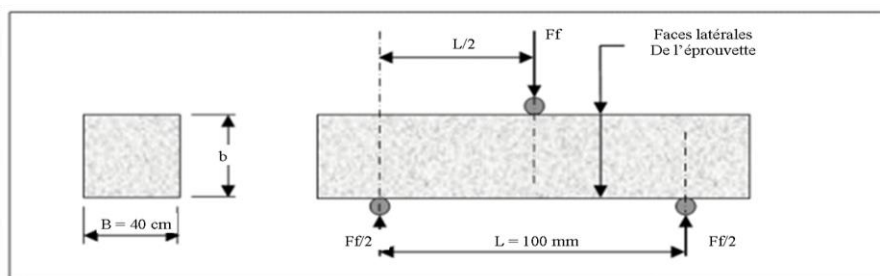


Figure I. 13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment;
- Rapport C/E;
- Granulométrie et nature du sable;
- Energie de malaxage et mise en œuvre;
- Protection les tous premiers jours [2].

#### I.7.4. Retraits et gonflements

##### - Le Retrait

Les retraits se mesurent sur des prismes  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$  en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à  $20^\circ\text{C}$  et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis

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

### Le gonflement

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de leChatelier inférieure sur pâte pure à 10mm) [2].

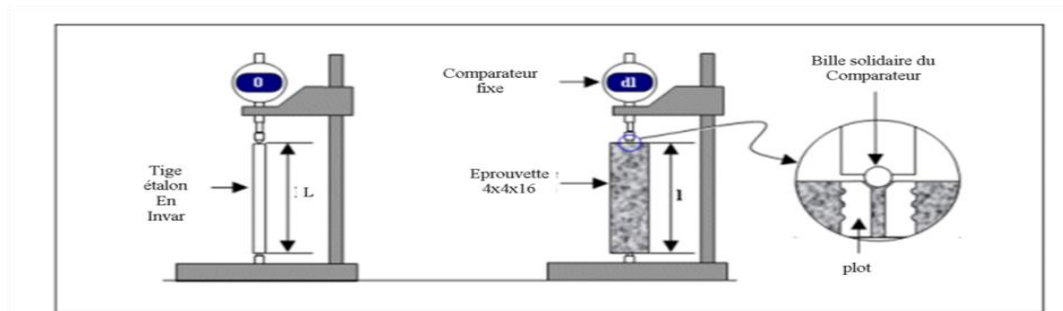


Figure I. 14 : Appareillage pour la mesure du retrait.

### I.7.5. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou  $\text{t}/\text{m}^3$ ) [2].

### I.7.6. Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou  $\text{t}/\text{m}^3$ ) [2].

### I.7.7. Porosité et compacité

#### - La porosité

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total [2].

$$p = \frac{\text{volume de vide}}{\text{volume total}}$$

#### - La compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total [2].

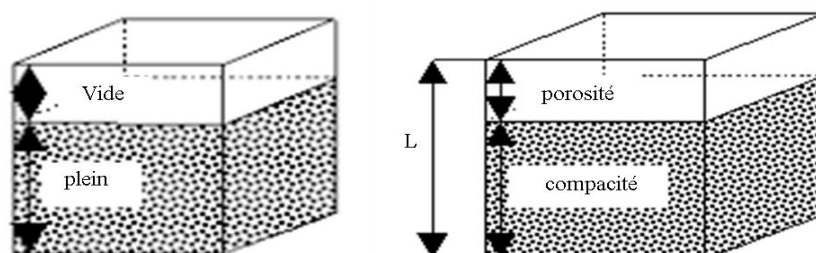


Figure I. 15 : Volume quelconque et le volume unitaire.

**I.8. Le rôle d'utilisation de mortier****La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels**

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Être le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection [9].

**Conclusion**

Dans cette partie, on a vu les différents mortiers formulés par d'autres auteurs du point de vue caractéristiques mécanique en compression et en flexion ainsi que le comportement en retrait, en gonflement et temps de prise ...est.



## **Chapitre I : Etude bibliographique**

### **Partie 2**

2<sup>ème</sup> partie

## I.2. Introduction générale

Le polystyrène est le polymère obtenu par polymérisation des monomères de styrène. C'est un matériau solide à 20°C et pâteux à 120°C, qui fond entre 150°C et 170°C. Il est inflammable et combustible, avec une température d'auto-inflammation d'environ 490°C. Il est également soluble dans les hydrocarbures chlorés et aromatiques. Ce matériau dur cassant et transparent se décline en différents types de polystyrène aux applications multiples. On utilise notamment ce polymère très courant pour réaliser des emballages, des jouets et des maquettes [10].

## I.2.1. Définition

Le polystyrène est un matériau plastique c'est le polymère obtenu par polymérisation des monomères de styrène. Ce dernier est formé d'un benzène accroché au composé CH-CH<sub>2</sub>. Le polystyrène est obtenu dans un autoclave, par polymérisation du styrène. Le styrène est, quant à lui, l'un des produits du raffinage du pétrole. Solide et dur, le polystyrène peut être mélangé à un gaz pour créer un matériau très léger. Ce matériau dur, cassant et transparent se décline en différents types de polystyrènes aux applications multiples [11].

Le polystyrène (PS) est essentiellement dans les emballages, mais également dans des accessoires de la vie de tous les jours. Il existe différents types de PS, homopolymère (plus rigide) ou copolymère (plus résistant au choc) appelé HIPS, ou encore sous la forme expansée, très légère [12].

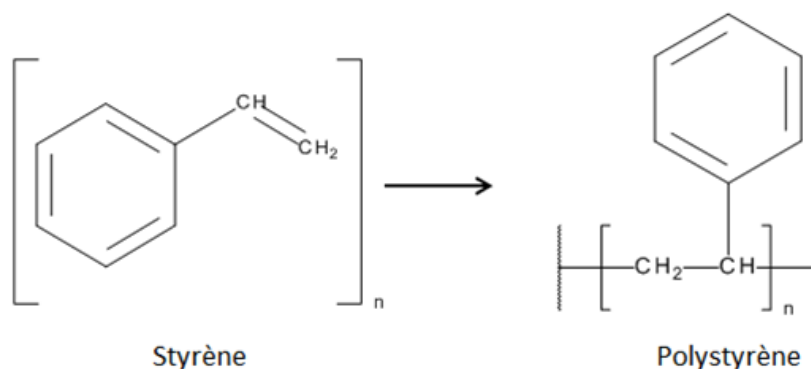
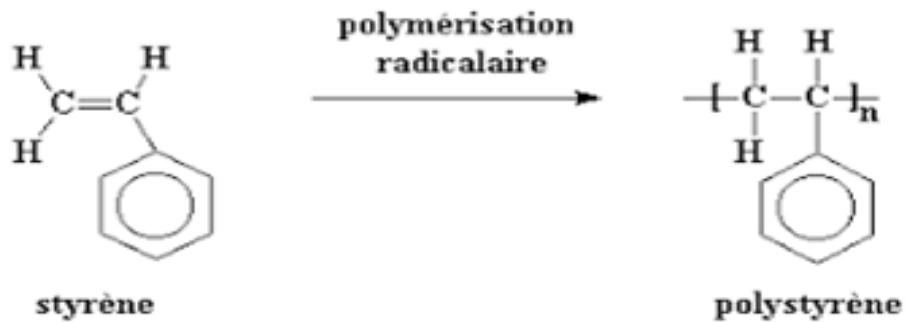


Figure I. 16 :Schéma d'obtention du polystyrène.

## I.2.2. Origine du polystyrène

Le PS est obtenu par polymérisation du styrène, un matériau issu de la pétrochimie. Plus de 90% de la production de styrène provient de la déshydrogénation de l'éthylbenzène et de l'éthylène. Sa formule chimique est  $(C_8H_8)_n$ , il ne contient que du carbone et de l'hydrogène comme éléments chimiques.



**Figure I. 17** : Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène.

Deux procédés de polymérisation sont actuellement utilisés pour la fabrication du PS : la polymérisation radicalaire en suspension et la polymérisation radicalaire en masse. Pour empêcher la polymérisation à basse température, lors de stockage et du transport du styrène liquide, le monomère est stabilisé avec des inhibiteurs tels que le 4-tert-butyle catéchol [13].

### I.2.3. Forme de polystyrène

Selon l'usage final, on peut distinguer les formes suivantes

#### a) Polystyrène standard

Préparé dans des suspensions aqueuses pour obtenir des masses molaires élevées, en milieu aqueux sous di azote, en présence de plastifiant, fluidifiant et d'un catalyseur peroxydes (peroxyde de benzoyle et hydro peroxyde de tertio butyle) le monomère, présent sous forme de gouttelettes dans la suspension grâce à l'action d'un tensioactif (polyalcool vinylique et phosphates tricalcique) [14].

Ce PS est également appelé le polystyrène d'utilisation général ou bien le polystyrène rigide (PSR). c'est un polymère amorphe, transparent, brillant, rigide, cassant et pouvant être coloré. il est souvent appelé PS cristal à cause de son aspect transparent. C'est le premier PS obtenu suite à la polymérisation. Toutes les autres formes du PS sont obtenues par modification de celui-ci [13].



**Figure I. 18** : Polystyrène cristal.

**b) Polystyrène choc**

C'est le matériau qui résulte de la polymérisation du styrène en présence d'un élastomère renforçant. Le PS choc est également un polymère amorphe constitué de deux phases distinctes l'une continue, composée de PS, appelée matrice et l'autre discontinue comprenant des nodules de polybutadiène dans la matrice. la couleur du PS choc va de translucide à opaque, car les deux phases n'ont pas le même indice de réfraction. sa résistance au choc est aussi une conséquence de cette structure à deux phases. Les PS chocs supportent des impacts plus importants que le PS normal.



**Figure I. 19** : Photos polystyrène choc.

**c) Le polystyrène expansé**

On trouve deux types de ce polystyrène(PSE) l'expansé moulé et l'expansé extrudé

- Le polystyrène expansé moulé (PSEM) est obtenu à partir d'un PS expansible composé de perles de PS (billes sphérique) de types standard (cristal) contenant un agent d'expansion (un solvant à forte tension de vapeur) ajouté lors de la polymérisation du PS. ces perles subissent l'expansion par effet thermique (mélange avec la vapeur d'eau) leur volume peut atteindre 60 fois le volume des perles pré-expansion, elle sont ensuite stabilisées puis soudées entre elles dans des moules, par un nouveau chauffage à la vapeur.
- Le polystyrène expansé extrudé (PSX) est obtenu à partir d'un procédé d'extrusion.

le plus répandu est connu sous le nom directe l'anglais expansion physique .il consiste à faire fondre sous pression dans une extrudeuse des granulés de PS cristal, puis à mélanger au polymère fondu un ou plusieurs agents de nucléation et un agent d'expansion liquide ou gazeux. le mélange est maintenu sous pression et poussé à travers la filière. la plaque ou la feuille expansée obtenue est ensuite refroidie[13].



**Figure I. 20** : Photos PS expansé.

#### **I.2.4. Propriétés du polystyrène**

##### **a) Propriétés électriques et thermiques**

Les polystyrènes possèdent de bonnes propriétés d'isolation électrique. Ils peuvent recevoir des additifs pour devenir antistatique ou conducteurs. Ce sont de faibles conducteurs de chaleur.

##### **b) Comportement au feu**

Ce sont des polymères facilement combustibles et dégagent une odeur sucrée. Lors d'une combustion, ils se décomposent vers 300°C en formant du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de la vapeur d'eau mais les combustions incomplètes ajoutent du monoxyde de carbone (CO). Puisque toutes les combustions ouvertes utilisent l'air contenant 78% d'azote en plus de l'oxygène, des oxydes d'azote sont toujours présents [13].

##### **c) Vieillessement**

Une exposition prolongée à l'extérieur provoque l'oxydation de ces polymères. Leur couche superficielle devient jaunâtre et s'effrite. L'incorporation d'agent protecteur ou la coloration permet d'améliorer la résistance au vieillissement [13].

##### **d) Résistance aux produits chimiques-corrosion**

Les PS sont facilement attaqués par de nombreux solvants organiques. Leur résistance aux produits inorganiques (comme des solutions aqueuses) et aux produits alimentaires est bonne. Ils ont une bonne résistance aux acides, bases, agents oxydants et réducteurs.

Les PS gonflent ou se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures. Leur stabilité dimensionnelle (capacité à maintenir ses dimensions face aux variations de températures, d'humidité et à certaines charges physiques) est excellente [13].

Les propriétés remarquables du polystyrène sont notamment :

- Sa faible masse volumique située généralement, suivant les applications, entre 10 et 30 kg/m<sup>3</sup>,
- Son pouvoir isolant thermique,
- Ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs),
- Son insensibilité de mise en forme (moulage, découpage, ...) [15].

### I.2.5. Les différents types de polystyrènes

Il existe trois types de polystyrènes :

- Le polystyrène « Cristal », ainsi appelé en raison de son aspect transparent
- Le polystyrène « choc » caractérisé par l'ajout plastifiant ou de caoutchouc (butadiène)
- Le polystyrène expansé ou PSE. Ce matériau est surtout connu du grand public sous sa forme expansée (parfois appelée « frigolite »), qui sert à emballer les appareils électroménagers ou hifi sensibles aux chocs. Cependant, il peut aussi se présenter sous la forme d'un plastique transparent et dur utilisé pour les boîtes et boîtiers : le PS « cristal » [16].

### I.2.6. Caractéristiques techniques du polystyrène (PS)

- Le PS est un thermoplastique amorphe ;
- Le PS peut être injecté en très fine épaisseur, on peut donc en faire de petites pièces ;
- Aspect et toucher plutôt sec ; bruit « métallique » lorsqu'il tombe ;
- Transparent : nouveaux grades pouvant être transparents et résistants au choc ;
- Rigidité : parmi les plus rigides : Module de 3 GPa ;
- Résistance au choc : plutôt fragile ; de 0 à +80°C ; mais résistant si expansé ;
- Densité : 1,015 kg/dm<sup>3</sup> ; mais expansé, on divise sa densité par 10 ;
- Perméabilité aux gaz et à l'humidité : médiocre ;
- Température d'utilisation : de 0° à +100°C ;
- Température de mise en œuvre : 190 à 250°C ;
- Soudabilité : soudure à chaud. Se colle bien [16].
- Le polystyrène est un thermoplastique semi-rigide.
- Sa température de transition vitreuse Tg est de 120° C et sa température de fusion de 110° C.
- C'est un matériau solide à 20 ° C et pâteux à 120°C, qui fond entre 150°C et 170°C.
- Il est inflammable et combustible, avec une température d'auto inflammation d'environ 490°C

- C'est une matière qui n'a ni odeur ni gout [14].

### I.2.7. Les applications

Les principales utilisations du polystyrène dans les vies courantes sont :

- Les boîtiers de CD et 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 expansé ou extrudée [1].



Figure I. 21 : Les boîtiers de CD, PS cristal et les emballages alimentaires.

### I.2.8. Le polystyrène expansé

#### I.2.8.1. Introduction

Le polystyrène expansé (P.S.E.) est un matériau alvéolaire peu dense. Il est généralement utilisé dans le cadre de l'isolation thermique des bâtiments, ce type d'utilisation ne nécessite pas une connaissance poussée de son comportement mécanique. Le P.S.E. est aussi employé dans le domaine de l'emballage, ce qui fait appel à ses caractéristiques vis à vis des phénomènes de chocs [17].



Figure I. 22 : Les plaques de polystyrène.

### I.2.8.2. Histoire de sa découverte

En Norvège, dans les années 1970, un nouveau type d'application est apparu : l'utilisation du P.S.E. en remblais routiers allégés sur sols compressibles ou instables. L'utilisation des remblais légers évite les surcharges pouvant créer des tassements à long terme de ce type de terrains. En effet, la densité des blocs de P.S.E. utilisé en remblais routiers est de l'ordre de 20 kg/m<sup>3</sup> contre 2000 kg/m<sup>3</sup> pour un remblai classique. Les remblais en P.S.E., pouvant atteindre des hauteurs de plusieurs mètres, sont constitués de couches de blocs assemblés entre eux par un système de crochets. Ce type d'application présente de plus un intérêt économique évident et est utilisé en France depuis une vingtaine d'années. Ce type d'emploi faisant appel aux caractéristiques mécaniques du P.S.E., quelques auteurs ont alors proposé des études mécaniques sur ce sujet, principalement dans le cadre d'essais de compression triaxiale et de fluage en compression [17].

### I.2.8.3. Fabrication de PSE

Le polystyrène est fabriqué à 98% d'air, ce qui en fait de lui un isolant très léger et très performant, le produit de base est le styrène qui par introduction de divers composants et en plusieurs étapes est transformé en une matière légère et résistante [16].

Le polystyrène est fabriqué selon ces étapes :

- PS expansible : la fabrication du polystyrène expansible à la transformation en une matière première 100% recyclée, le PSE contribue de manière significative à l'amélioration de l'environnement. Si ses performances techniques, notamment thermique, ne sont plus à démontrer, on connaît moins sa faculté à consommer très peu d'énergie lors de sa fabrication. Il faut, par exemple, environ 10 Kg de pétrole pour produire 1 m<sup>3</sup> de polystyrène alors qu'une maison isolée permet d'économiser environ 3400 litres de fuel par an [18].

- L'envoi du polystyrène expansible vers le pré-expandeur (mélangeur).
- Le mélangeage de la matière première par contrôle automatique.
- Le réglage de température (entre 80-90°C).
- Pré-expansion : cette étape se déroule chez les fabricants d'emballage de protection en PSE. A l'intérieure d'une cuve en inox et en présence de vapeur d'eau, l'agent expansion (pentane) se dilate et provoque une première expansion de polystyrène expansible (jusqu'à 30 fois leur volume initial). Les billes pré-expansées ainsi obtenues sont dotées d'une structure alvéolaire composée à 98% d'air [19].





**Figure I. 23** : Pré-expansion.

- Le contrôle de la densité souhaitée.
- Le stockage de la matière pré-expansée.
- Maturation : ces billes pré-expansées reposent dans des silos pendant plusieurs heures pour permettre leur stabilisation[18].



**Figure I. 24** : Silos de pré-expansion.

- Transport des billes pré-expansion qui reposent vers le moule abloc.
- Réglage des Motors (l'après chauffage, le temps, la vitesse, la vapeur, l'air).
- Fermeture du moule.
- Moulage de l'emballage : après maturation, les billes pré-expansées sont introduites dans un moule fermé et soumises à une nouvelle injection de vapeur d'eau. Elles reprennent leur expansion (jusqu'à 50fois le volume initiale), occupent tout l'espace du moulée et se soudent entre elle pour constituer l'emballage. La technique de moulage de l'emballage PSE lui permet de s'adapter à toutes les demandes du marché protection mécanique et protection iso thermique. Ainsi les produits emballés du PSE sont protégés tout au long de la chaîne

logistique, et ce, jusqu'au consommateur. Le PSE est le matériau de protection par excellence [18].



**Figure I. 25 :** Moule abloc.

- Mesure du poids des blocs par une balance.
- Quitter le bloc pour se repos
- Réglage de la vitesse de la machine (la découpe).
- La découpe : son bâti principal est fabriqué en tube d'acier cubique et acier profilé, ainsi sa structure est solide. La découpe est effectuée pour transformer ces gros blocs de plusieurs mètres de haut en panneau de 120 cm sur 60 cm avec une épaisseur allant en général de 2 à 30 cm. Elle peut réaliser une découpe horizontale, une découpe verticale et une découpe en bloc [16].



**Figure I. 26 :** Unité de découpage.

- Recyclage par broyage : les chutes ou les déchets de PSE doivent être stockés dans des zones bien ventilées avant d'être réutilisés, recyclés ou éliminés [20].
- Extrusion en matière recyclée. Produits finis en attente de livraison.



**Figure I. 27** : Produit finie.

- Transport et livraison.
- Personnalisation des produits.

#### **I.2.7.4. Polystyrène expansé et environnement**

Le polystyrène expansé, que l'on appelle aussi PSE, dispose de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDE&S), telles que décrites dans ce chapitre, et de certificats délivrés par l'ACERMI et le CSTB. Par ailleurs, l'étude thermique et l'étude d'impact environnemental identifient clairement le polystyrène expansé comme matériau d'isolation pouvant être utilisé dans un projet de construction environnemental.

- La préservation d'une ressource naturelle :

Le polystyrène expansé provient de la valorisation d'un dérivé de raffinage du pétrole brut que l'on appelle le naphta. Si l'on rapporte la production annuelle de polystyrène expansé à l'extraction totale de pétrole brut, celle-ci utilise moins de 0, 1 % de la ressource. Le polystyrène expansé n'utilise donc que très peu de matière première pour être fabriqué et contribue dans sa fonction d'isolant à la préservation de cette ressource naturelle épuisable qu'est le pétrole. Par ailleurs, c'est le naphta qui est valorisé comme matière première. Celui-ci n'est pas utilisable comme combustible et deviendrait un déchet s'il n'entrait pas dans la chaîne de production du polystyrène expansé. On évite ainsi la création d'une pollution supplémentaire [21].

### **I.2.7.5. Le polystyrène est 100% recyclable**

#### **- La filière de valorisation**

Puisque que le polystyrène expansé est recyclable, 7000 tonnes de polystyrène expansé sont recyclées chaque année grâce à la filière de valorisation organisée par ECO PSE\*\*. En effet, un réseau de 120 points de collecte ECO PSE organise, depuis une quinzaine d'année, le recyclage et la valorisation du polystyrène expansé sur tout le territoire. Des dispositions ont notamment été prises pour diminuer l'impact lié au transport. Ainsi, après broyage du PSE, un camion de 120 m<sup>3</sup> peut transporter 1 tonne de polystyrène expansé au lieu de 500 kg en vrac. Après compactage, le même camion peut transporter 15 à 20 tonnes de polystyrène [21].

*\*\*ECO PSE est un Groupement d'intérêt Économique dont la mission est d'organiser et de développer des filières pérennes de valorisation et de recyclage des emballages professionnels de PSE en proposant des solutions techniquement, économiquement et géographiquement adaptées.*

### **I.2.7.6. Les performances**

#### **I.2.7.6.1. La performance thermique**

La principale caractéristique d'un isolant réside en son excellente performance thermique.

Un logement bien isolé thermiquement et économique en consommation d'énergie participe au bien-être et à l'amélioration des conditions de vie.

Isoler correctement un bâtiment, qu'il soit neuf ou en cours de rénovation, consiste à limiter les déperditions de chaleur en installant un isolant entre l'enveloppe extérieure et l'enveloppe intérieure qui permettra de réduire la quantité d'énergie demandée pour chauffer ou climatiser. Les performances du polystyrène expansé sont exprimées en conductivité thermique et en résistance thermique.

#### **- La conductivité thermique**

La conductivité thermique, appelée lambda (exprimée W/m.K) exprime la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur. Plus le lambda est faible, plus le produit est isolant [22].

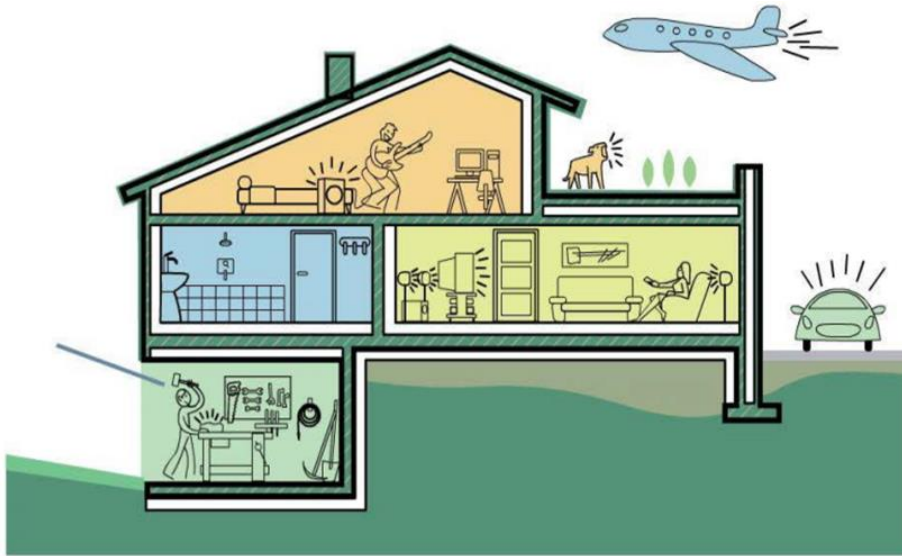
#### **I.2.7.6.2. La performance acoustique**

Le confort dans l'habitat passe par la qualité de l'isolation acoustique afin d'éviter la propagation des bruits de pièce à pièce et de l'extérieur vers l'intérieur.

On distingue deux sources de bruit :

- Les bruits aériens, émis par une source sans contact avec la structure de la maison, comme les paroles, la télévision, la musique, la circulation routière ...

- Les bruits d'impact qui ont pour origine une mise en vibration directe de la structure, comme des pas sur un plancher ou des chocs sur une paroi ... [21].



**Figure I. 28 :** Image sur l'isolation acoustique d'une maison.

Actuellement sur le marché des matériaux de construction, il existe des mortiers et des bétons légers prêt à l'emploi, qui préparent au niveau des usines telles que (EDILITCO : boîte française de production des produits « POLYS BETO » dont la fiche technique des produits sont mentionnée en annexe.

### **I.2.8. L'utilisation de l'additifs polystyrène dans les mortiers légers et béton léger**

#### **a. Béton léger**

##### **1. Introduction**

L'utilisation du polystyrène dans le secteur du bâtiment est encore timide dans notre pays, il est disponible en plaque d'isolation acoustique et thermique. Ce matériau innovant peut aussi être introduire à la formulation du béton pour former des « **placo-styrènes** », dix fois plus légers et trente fois plus isolants et tout aussi résistants que le béton traditionnel.

L'Algérie est un pays chaud. En été les constructions ont besoin de matériaux d'isolation thermique. Le polystyrène expansé c'est un matériau climatiseur, qui absorbe le surplus de chaleur pendant la journée, en été. Il offre un espace sec et confortable : il élimine l'humidité qui peut se condenser sur les murs.

Ce matériau n'est néfaste pour de l'environnement. Le polystyrène est un produit écologique, il n'est certes pas biodégradable. Mais il est recyclable.

Certain producteur a introduit une technique innovante d'origine allemande, utilisée dans le domaine de la construction : utiliser des hourdis en polystyrène, avec armature métallique pour les dalles, les murs de séparation et les toitures. Le produit est isolant, léger et résistant et

il est certifié par le CTC. Les hourdis en polystyrène armé sont tout aussi solides que le béton conventionnel.

Les billes de polystyrène ont été retenues pour confectionner des bétons légers considérant leur faible masse volumique, leur disponibilité et leur facilité d'utilisation. Ces bétons ont été utilisés à partir de 1978 notamment pour la réhabilitation et aussi pour des ouvrages neufs (forme de pente, terrasse, panneaux légers, remplissage) ainsi pour fabriquer également des enduits légers à base de billes de polystyrène expansé.

Bien utilisé, ce type de béton permet d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction. Le béton léger de polystyrène expansé se caractérise par sa faible masse volumique, par son excellent rapport poids/résistance et par sa bonne isolation thermique, sa résistance à la chaleur, sa résistance au gel ainsi que par sa sensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction [23].

## **2. Composition des bétons légers de polystyrène expansé**

On obtient ces nouveaux bétons par le remplacement total ou partiel du granulats traditionnels par des perles de polystyrène expansé jusqu'à ce qu'on arrive à un mélange de classes granulaires adéquates, cela conduit à une gamme étendue de bétons légers de construction dotés de masses volumiques et de résistances variées.

Les constituants utilisés dans la confection des bétons légers de polystyrène sont les mêmes que ceux utilisés pour les bétons conventionnels. En définitive, la principale caractéristique recherchée est davantage axée sur sa masse volumique que sur sa résistance mécanique.

Puisque le granulats occupent une partie importante du volume dans le béton, il faut donc tenter de substituer une partie de la masse granulaire par des granulats légers et même ultra-légers. [24].

## **3. Les propriétés du Polystyrène dans les bétons**

Les performances techniques du polystyrène expansé lui permettent de jouer un rôle déterminant dans la construction moderne, La structure du PSE offre de nombreux avantages techniques :

- 1- Sa légèreté est une propriété intrinsèque.
- 2- Excellent pouvoir d'isolation thermique,
- 3- Protection sur mesure contre les chocs et les chutes,
- 4- Bon rapport résistance/légèreté : 98 % d'air, 2 % de produit,
- 5- Stabilité aux intempéries, neutralité pour l'environnement,

- 6- Aptitude au contact alimentaire ;
- 7- Ignifugées,
- 8- Résistantes à haute température [24].

Les polystyrènes sont des alvéoles plastiques de la famille de polymères, de styrène. Il y a des douzaines de types et de qualités différentes.

#### **4. Le polystyrène normal non traité**

Plusieurs recherches ont été effectuées sur des essais d'incorporation du polystyrène normal dans le béton. Nous pouvons constater que : Si nous mélangeons le polystyrène non traité normal avec le ciment et l'eau :

- Le polystyrène revient à la surface du béton et flottera.
- Le ciment tombe au fond à cause de la différence de densité entre le polystyrène expansé et le ciment. Cependant on peut réduire le phénomène "du retour à la surface par flottement du polystyrène", en employant des équipements spécifiques et si le béton est très épais (avec une petite quantité d'eau). Et aussi en employant du polystyrène perméable, car les alvéoles du polystyrène normal seront remplis d'eau pour réduire la différence de densité dans le mélange "eau /ciment/polystyrène".

#### **Mais malgré cela, l'utilisation de cette sorte de béton aura des inconvénients**

- Il y aura des difficultés d'obtention d'une homogénéité du matériau, en employant l'équipement traditionnel pour faire le béton ;
- Difficulté de pomper ou de vibrer le béton ;
- Constatation d'aucune résistance au feu.

#### **D'où les conséquences négatives suivantes**

- Le béton contiendra une quantité d'eau ;
- Résistance à la compression faible ;
- Pas économique : car il y aura une grande consommation de polystyrène pour alléger le béton à cause des 5 à 30 % des alvéoles du polystyrène qui seront remplis d'eau et de ciment ;
- L'eau contenue dans le béton produira des germes et donnera de mauvaises odeurs dans le polystyrène ainsi que dans le béton ; particulièrement dans des climats chauds et humides ou dans des pièces humides comme la salle de bains ou la cuisine.
- Délai trop grand de séchage pour le béton
- Retrait important du béton dû à la grande quantité d'eau évacuée
- Possibilité d'employer des renforts d'acier écartée parce qu'ils seraient attaqués par la corrosion (à cause de l'eau contenue dans les alvéoles du polystyrène).

En conclusion l'emploi du polystyrène normal dans le béton a une pauvre image de fragilité, pour minimiser ces problèmes nos doivent traiter ces billes de polystyrène de façons d'améliorer ces caractéristiques. En Algérie la société IBERCONSTRUCTION traite les billes de polystyrène qui sont fabriquées à l'usine ENL sise à la zone industrielle d'Oued Smar Alger pour obtenir le produit **POLYS BETO**[24].

**b. mortier léger** : Exemple d'un mortier léger prêt à l'emploi isolant et fibré  $500 \text{ kg/m}^3$ .

### 1. Définition

XX<sup>®</sup> est un mortier léger en sac prêt à l'emploi, allégé par des billes de polystyrène vierge Expansé à granulométrie contrôlée et enrobées de l'adjuvant E.I.A. (diamètre 2-3 mm).

XX est fibré et possède de bonnes propriétés isolantes [22].



**Figure I. 29** : Mortier léger en sac.

### 2. Applications

Le mortier léger XX<sup>®</sup> est destiné à alléger les structures (gain de poids d'environ 78 % par rapport à des bétons traditionnels), à isoler et à traiter thermiquement et acoustiquement les différents types de supports existants dans les immeubles collectifs et les maisons individuelles en travaux neufs ou de rénovation, à réaliser tous supports de revêtement de sol, ravaillages isolants et sous-chapes, rattrapages de niveaux, formes de pentes, isolation thermique et acoustique aux bruits de chocs[22].



**Figure I. 30** : Mortier léger.

### 3. Avantages

- Collage direct du carrelage après 48 heures, sans ragréage.
- Léger :  $500 \text{ kg/m}^3$ .
- Sac prêt à l'emploi de 70 litres.



- Fibré = suppression du treillis fissuration.
- Pompable sur de longues distances et à grande hauteur.
- Bonne isolation thermique.
- Mise en œuvre simple et facile.
- Compatible avec tous les revêtements (cf. tableau de revêtement).
- Stable dans le temps.
- Qualité constante du mélange tout au long du chantier [22].

### Conclusion

Les mortiers ou bien les bétons légers de polystyrène sont donc devenus des matériaux particulièrement performants grâce aux qualités qui leur sont conférés par l'association de la matrice cimentaire et des perles de polystyrène expansé.

Ces caractéristiques les rendent performants dans des applications très diverses

- Dalles de béton léger, isolation, rénovation.
- Remplissage de murs à ossature bois-rénovation de maisons à colombages, constructions neuves.
- Isolation de toiture.
- Enduits à caractère isolant : amélioration du confort thermique, correction acoustique, décoration, possibilité d'épaisseurs importantes.

### Travaux de recherches

#### Le premier article

Dans les travaux Costin Andrei Cadere et al (2017), sur l'étude de l'effet du remplacement des granulats de dimension (4-8) mm par différents pourcentages de polystyrène sur les propriétés physicomécanique des bétons, les résultats de cette étude montrèrent une diminution des masses volumique des différentes variantes de bétons étudiée par apport au béton témoins, le tableau suivant illustre l'effet du remplacement des granulats par le polystyrène [25].

**Tableau I. 1** : Les masses volumiques des bétons avec le polystyrène.

Mélange de béton	Densité [kg/m <sup>3</sup> ]
CC1	2250
FACC1	2134
FACC2	2076
FACC3	1997
FACC4	1942
FACC5	1880

CC1 : Témoins

FACC1 : 20 % de remplacement des granulats (4-8) mm par le polystyrène.

FACC2: 40 % de remplacement des granulats (4-8) mm par le polystyrène.

FACC3: 60 % de remplacement des granulats (4-8) mm par le polystyrène.

FACC4: 80 % de remplacement des granulats (4-8) mm par le polystyrène.

FACC5: 100 % de remplacement des granulats (4-8) mm par le polystyrène.

L'étude aussi a montrée l'effet du remplacement des granulats par le polystyrène, sur les résistances mécaniques en compression et en flexion, les histogrammes suivants présentent les résultats obtenus [25].

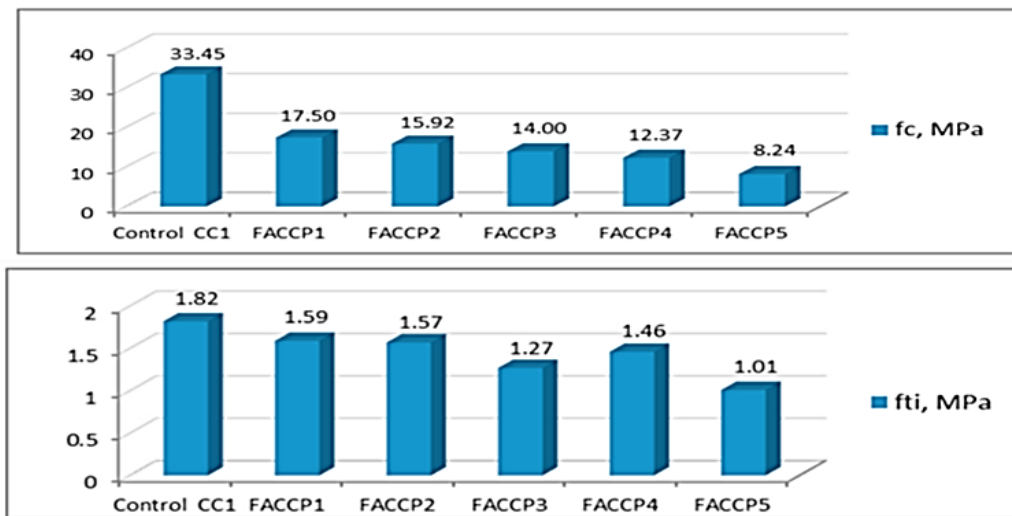


Figure I. 31 : Les résistances mécaniques en compression et en flexion.

### Le deuxième article

Dans les travaux de M. kismi , et P.Mounanga (2012), sur l'étude de la valorisation de déchets de mousse de polyuréthane rigide (PUR) et de billes de polystyrène expansé (PSE) de diamètre compris entre 1,5 et 2,5 mm et le les taux de remplacement volumique considérés sont de 25 et 50 % a fin de l'élaboration de matériaux cimentaires légers. Pour étudier l'effet du remplacement sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression et module d'Young dynamique), par apport au mortier de référence (Réf) [26].



Figure I. 32 : Mousse de polyuréthane extrudé rigide et de polystyrène expansé utilisées.

Cinq mortiers ont été formulés avec différents teneurs en mousse PUR et en billes PSE. La composition des mortiers est détaillée dans le Tableau suivant :

**Tableau I. 2** : Proportions massique et volumique des mortiers étudiés.

Nomenclature des mortiers	Réf		PUR - 25		PUR-50		PSE-25		PSE-50	
	Mass	Vol	Mass	Vol	Mass	Vol	Mass	Vol	Mass	Vol
Ciment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eau	0,50	0,58	0,50	0,58	0,50	0,58	0,50	0,58	0,50	0,58
Sable	2,20	2,69	1,65	2,02	1,10	1,35	1,65	2,02	1,10	1,35
Mousse PUR	0	0	0,01	0,67	0,02	1,34	0	0	0	0
Billes PSE	0	0	0	0	0	0	0,01	0,67	0,02	1,34
Densité fraîche (-)	2,308		2,162		2,050		1,634		1,190	
Densité après 90 j de séchage (-)	2,219		2,077		1,915		1,551		1,141	

Réf : Mortier de référence.

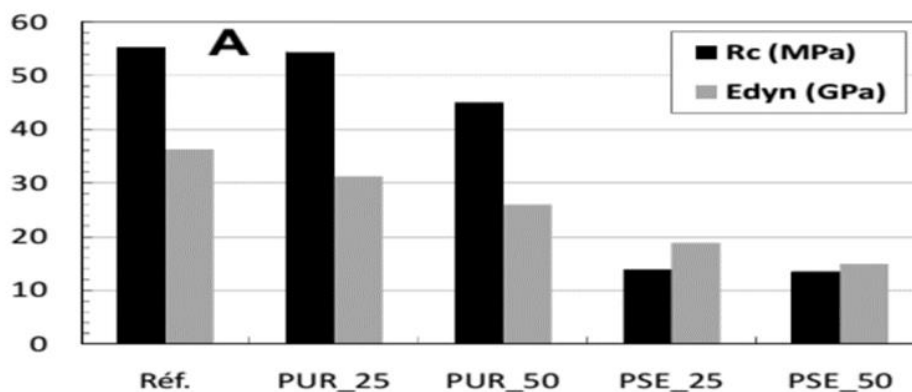
PUR - 25 : Mousse de polyuréthane rigide au taux de remplacement volumique 25%.

PUR-50 : Mousse de polyuréthane rigide au taux de remplacement volumique 50%.

PSE-25 : Billes de polystyrène au taux de remplacement volumique 25%.

PSE-50 : Billes de polystyrène au taux de remplacement volumique 50%.

L'étude aussi a montrée l'effet du remplacement sur les performances mécaniques des mortiers sont présentées à la Figure (I.31).Le remplacement du sable par des granulats plastiques légers engendre une diminution attendue de la résistance à la compression (Rc) et du module d'Young dynamique (Edyn), liée à l'augmentation de la porosité des mortiers. L'incorporation des billes PSE provoque la réduction la plus importante des propriétés mécaniques, et conjointement la plus forte diminution de la densité (Tableau I .2). Les histogrammes suivants présentent les résultats obtenus [26].



**Figure I. 33** : Propriétés mécaniques (Rc résistance à la compression ; Edyn: module d'Young dynamique) des mortiers à 28 j.

En fin ils sont conclus en perspectives, une optimisation de la formulation des mortiers à base de mousse PUR devrait permettre de minimiser leur densité, en maintenant des performances mécaniques acceptables.

L'utilisation de billes de PSE permet d'obtenir des densités plus faibles que les mortiers à base de mousse PUR, mais cette diminution de masse volumique s'accompagne d'une forte réduction des propriétés mécaniques [26].

### Travaux de recherche

Le développement durable est devenu l'un des thèmes majeurs guidant le développement de nouveaux matériaux de construction. Ainsi, des synergies sont de plus en plus recherchées entre matériaux, surtout lorsque l'un des matériaux est issu d'une filière de recyclage. L'utilisation de matériaux polymère recyclés tel -que le polystyrène dans les mortiers et béton permet d'en améliorer les propriétés finales, notamment en termes de légèreté, de propriétés thermiques et acoustiques.

Dans notre étude, le matériau utilisé est un mortier léger au polystyrène qui est connu par sa faible densité.

---

**Porogène** : ils sont synthétisés en présence d'un « porogène ». Il s'agit d'un composé qui est soluble dans le monomère mais insoluble dans le polymère : il en résulte la formation de pores de grandes dimensions qui ont pour conséquences un transfert de masse rapide.

**Pentane** : Le pentane est un alcane linéaire de formule  $C_5H_{12}$ . Le terme pentane désigne aussi par extension abusive les trois isomères  $C_5H_{12}$  : le n-pentane, le 2-méthylbutane ou iso pentane et le 2,2-diméthylpropane ou néopentane. Ces diverses molécules comportent toutes cinq [en grec πέντε, cinq] atomes de carbone.

# **Chapitre II : Partie expérimentale**

## **Partie 1**

**Partie 1****II. Introduction**

Ce chapitre est composé de deux parties :

La première partie, présentera les différents matériaux utilisés dans notre partie expérimentale, notamment les essais physiques réalisés au niveau des laboratoires LNHC de la région de Bouira et celui de département génie civil de l'université de Bouira, les matériaux utilisés dans cette partie sont énumérés comme suit :

- Le sable de carrière de la région de Bouira,
- L'eau de robinet de la région de Bouira ;
- Le ciment portland composé **CPJ-CEMII / A42, 5N**;
- Polystyrène expansé (récupérer de la société technique d'isolation du polystyrène expansé);
- Adjuvant Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau (SIKA).

La deuxième partie : elle est consacrée à la formulation des différentes variantes élaborées par l'addition du polystyrène à des taux de (5 %, 10 %, 15% 20 %, 30 % et 50 %), qui seront comparés aux échantillons de mortier témoins (sans addition), puis une présentation des résultats d'essais physicomécaniques, à savoir (la masse volumique, l'absorption et la résistance mécanique en flexion et compression), obtenus après les essais sur les différentes variantes étudiées.

**1<sup>ère</sup> partie****II.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé**

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de Bouira et au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction «**L.N.H.C**», suivant les normes françaises AFNOR dédiées aux essais effectués.

**II.1.1. Masse volumique (absolue)**

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est -à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu selon la norme **NF P 18-555 [27]**.

**Mode opératoire**

La détermination de la masse volumique du sable utilisé dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes :

- On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 1000 ml.
- On prend 03 échantillons de masse 300 g.

- On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 300ml d'eau préparé préalablement dans deuxième récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (Ve) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. Volume de sable :  $V_1 = V - 300$  (cm<sup>3</sup>). La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule  $\rho_{Abs} = M/V_1$

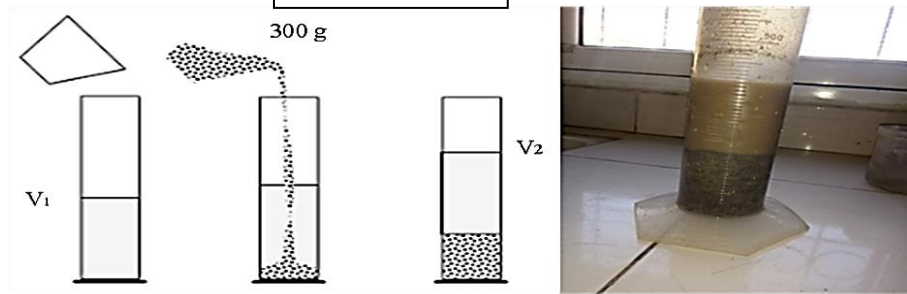


Figure II. 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II. 1 : La masse volumique absolue du sable.

N° d'essai	M (g)	Ve (cm <sup>3</sup> )	V l (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g /cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	300	300	100	3	2,825
2	300	300	109	2,75	
3	300	300	110	2,72	

### II.1.2. Masse volumique apparente

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existants entre les grains selon la norme NF P 18-554 [28].

#### Mode opératoire

La détermination de la masse volumique apparente de sable utilisé dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes :

- On pèse l'échantillon dans un récipient, soit M sa masse ;
- Une fois la masse est pesée, on remplit ce récipient avec de l'eau, soit V son volume, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M<sub>2</sub> ce poids.

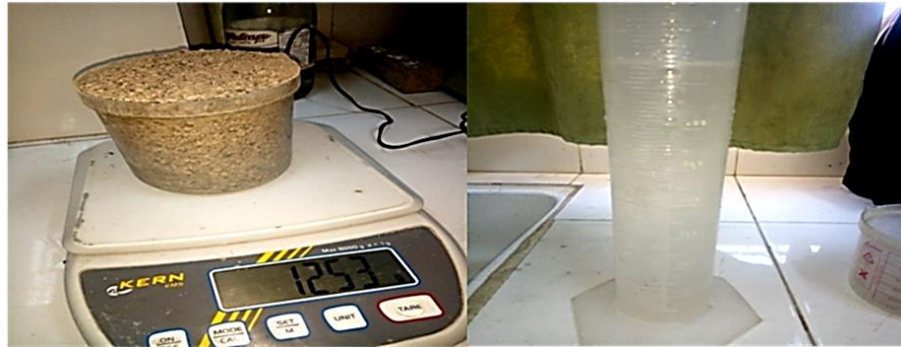
Volume de récipient  $V = 750$  cm<sup>3</sup>

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante  $\rho = \frac{M}{V}$

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 2 :** La masse volumique apparente du sable.

N° d'essai	M(g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	1253	750	1,670	1,675
2	1260	750	1,68	
3	1257	750	1,676	

**Figure II. 2 :** Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau.**II.1.3. Porosité**

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante selon la norme **NF P 18-554 [28]** :

$$P (\%) = 1 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue})$$

**II.1.4. Compacité**

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau. La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

**II.1.5. L'indice des vides**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide avec P en pourcent (%).

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P)$$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les Tableaux suivants :

**Tableau II. 3 :** La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable.

Porosité P (%)	Compacité C (%)	Indice des vides e(%)
<b>40,70</b>	<b>59,3</b>	<b>0,68</b>

**II.1.6. Equivalent de sable**

Cet essai permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable, le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui



diminuent la qualité du béton et mortier, l'essai d'équivalent de sable est déterminé selon la norme NF P 18-598 [29].

### Mode opératoire

La détermination de l'équivalent de sable dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes :

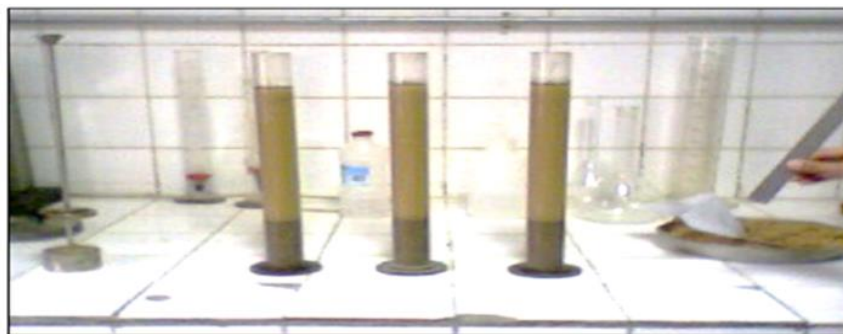
- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- Prendre une pesée de 120 g
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120 g) l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontales en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.



**Figure II. 3 :** Agitateur mécanique et 120 gr du sable.

Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, puis rincé les parois de celle-ci.

- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2<sup>ème</sup> repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 mn.



**Figure II. 4 :** Repos de 20 min pour les éprouvettes.

**A / Equivalent de sable visuel (ESV)**

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieure du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette. Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.  $ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100$

Où :  $h_2 < h_1$

Avec :  $h_1$  : hauteur de sable propre + hauteur des impuretés.

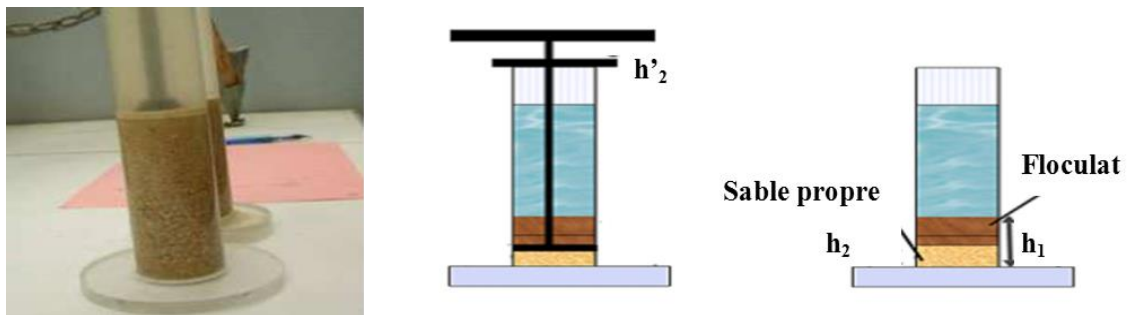
$h_2$  et  $h'_2$  : hauteur de sable propre.

**B / Equivalent de sable visuel (ESP)**

La détermination du ESP de sable utilisé dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h'_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.  $ESV = \frac{h'_2}{h_1} \times 100$



**Figure II. 5 :** L'essai d'équivalent de sable.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

**Tableau II. 4 :** Les résultats d'équivalent du sable.

L'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
	12	9	79,16	34	75,00

$ESV = 79,16 \quad ; \quad ESP = 75,00$

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

**Tableau II. 5** : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité de sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65≤ES≤75	60≤ES≤70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualités.
ES≥85	ES≥80	Sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation de la dose en eau.

D'après le tableau on constate que :

$$75 \leq ESV \leq 85 \quad \text{et} \quad 70 \leq ESP \leq 80$$

**Donc** : Pour le sable : C'est un Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

### II.1.7. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations selon la norme **NF P 18-560 [30]** :

- Tamisage
- Sédimentation

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

### Mode opératoire

La détermination d'Analyse granulométrique dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes :

- Prélever (1,5kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit mi la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 6,3-5-2,5-1,25-0,63-0,315 et éventuellement 0,08mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine tamiseuse, vibré pendant 10 minutes. Arrêter la machine, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément. Soit  $M_i$  la masse du tamis (1) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R, soit  $R_2$  la masse du refus cumuler du tamis 2( $R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis).

Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différent refus cumulés  $R_3, R_4$ , Le tamisât cumuler est donné par la relation suivante :  $T= 100 - RC$

Où :

T: Tamisât en %

RC: Refus cumulés en %

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 6** : Analyse granulométrique du sable.

	Refus Partiels(g)	Refus Cumulés(g)	Refus Cumulés(%)	Tamisas (%)
5	0	0	0	100
4	18	18	1,8	98,20
2	388	406	38,8	59,40
1	252	658	25,2	34,20
0,40	156	814	15,6	18,60
0,20	60	874	6	12,60
0,1	26	900	2,6	10,00
0,08	6	906	0,6	9,40

La figure II.6 illustre la courbe granulométrique du sable.

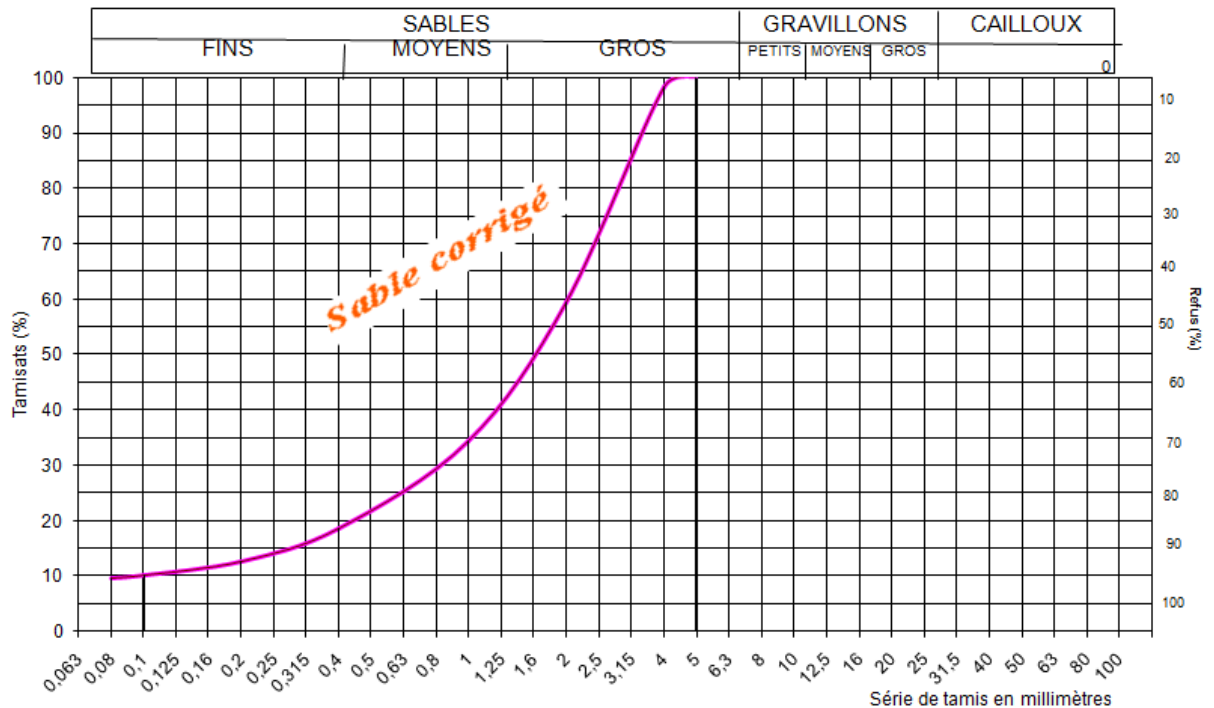


Figure II. 6 : Analyse granulométrique par tamisage NF P18.560.

### II.1.8. Module de finesse

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :  $Mf = \sum \frac{Rc}{100}$

Où : RC: Refus cumulé.

Pour notre sable:  $Mf = 2,424$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros  $Mf > 2,5$
- Sable moyen  $2 < Mf < 2,5$
- Sable fin  $1,5 < Mf < 2$
- Sable très fin  $1 < Mf < 1,5$

Pour notre sable :  $2 < Mf < 2,5 \leftrightarrow$  C'est un sable moyen.

### II.1.9. Le degré d'absorption

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage selon la norme NF P 18-555 [27] d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M2 - M1}{M1} \right) \times 100[\%]$$

Où :

- M1 : La masse du matériau sec en (g).
- M2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 7 :** Le degré d'absorption pour le sable.

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	A (%)	Amoy (%)
1	500	510	2	3,06
2	500	516	3,2	
3	500	520	4	

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est -à- dire  $A_b < 5\%$ .

- Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée.

### II.2.L'eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet de laboratoire du génie civil de l'UAMOB, donc elle ne nécessite aucun essai.

### II.3. Fiche technique du ciment portland compose CPJ-CEM II/A 42,5

D'après les essais applicables au niveau de l'laboratoire de cimenterie de Sour el Ghzlane (Voir la fiche technique à l'annexe).

#### II.3.1. Propriété physique

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 8 :** Propriété physique de ciment.

Désignations	Unités	Exigence	Moyenne
Masse volumique	$g/cm^3$	-	3,09
Surface spécifique Blaine	$m^2/g$	-	4080
Consistance normale	% H <sub>2</sub> O	-	25,8
Chaleur d'hydratation à (41h)	j/g	270	237
Expansion à chaud	mm	$\leq 10$	1,75
Refus sur tamis 45 $\mu m$	%	-	15,80

#### II.3.2. Temps de prise

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 9 :** Début et fin de prise de ciment.

Début de prise	(min)	131
Fin de prise	(min)	285

#### II.3.3. Résistance à la flexion

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 10 :** Résistance à la flexion de ciment.

02 jours (MPA)	4,74
07 jours (MPA)	6,52
28 jours (MPA)	6,56

**II.3.4. Résistance à la compression**

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 11 :** Résistance à la compression de ciment.

02 jours (MPA)	21,61
07 jours (MPA)	37,13
28 jours (MPA)	45,68

**II.4. Caractéristiques techniques du polystyrène (PS)**

- Le PS est un thermoplastique amorphe ;
- Le produit de base se présente alors sous la forme de granulés translucides (perles de polystyrène de 0,8 à 2 mm de diamètre de masse volumique sensiblement égale à 1,05 g/cm<sup>3</sup>) ;
- L'expansion s'effectue en deux temps : une pré-expansion de granulés et une expansion finale dans un moule qui donne un bloc de polystyrène expansé ;
- Les granulés de polystyrène sont expansés à la vapeur sous une température et une pression définie préalablement ;
- Le procédé de fabrication a l'avantage de donner des surfaces lisses et moins poreuses
- Le polystyrène expansé se ramollit à une température de 90°C.

Pour apprécier la qualité du polystyrène expansé en vue de sa destination projetée une série d'expérimentation a été effectuée à savoir :

- La détermination de la densité ;
- La tenue à la chaleur et l'émersion totale à l'eau. **(Voir la fiche technique à l'annexe)**

**Figure II. 7 :** Le polystyrène.**II.5. Notice technique super plastifiant SIKA VISCOCRETE 665**

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab 3.1 et 3.2. **Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau.**

### II.5.1. Description

C'est un Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement / l'étalement, ou qui produisent les deux effets à la fois.

Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux  $C_3A$  faible.

Dans notre étude on utilise 0,5 % de l'adjuvant par rapport le poids de ciment.

### II.5.2. Domaines d'application

Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication :

- De bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- De bétons à longs maintiens de rhéologie (>2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.



**Figure II. 8 :** Le super plastifiantSIKA VISCOCRETE 665.



### II.5.3. Propriétés

Grâce à ses propriétés le SIKA VISCOCRETE 665 permet :

#### Sur béton frais

- Diminution de la teneur en eau.
- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 – 3h00 à 20°C).
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique.

#### Sur béton durci

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
- Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment).
- Amélioration de la compacité.
- Amélioration de la liaison béton / acier.
- Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
- Diminution du coefficient de la perméabilité.

### II.5.4. Conditions d'application Dosage

- Mise en œuvre : Produits introduits soit dans l'eau de gâchage, soit en cours de malaxage.
- Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

### II.5.5. Caractéristique

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 12 : Les caractéristiques de Le super plastifiant.**

Aspect	Liquide
Couleur	Marron
PH	5± 1,0
Densité	1,085 ± 0,015
Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq	≤ 1,0%
Teneur en ions Cl <sup>-</sup>	≤ 0,1%
Extrait sec	33,0± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

**II.5.6. Délai de conservation**

12 mois dans son emballage d'origine intact.

**II.5.7. Précaution d'emploi**

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.

Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.

PV d'essais conforme aux normes, établi en Août 2016. Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et nos expériences à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelle de chantier.

**II.6. Formulation des mortiers****II.6.1. Formulation des mortiers**

Le mortier est préparé selon les modalités de la norme **NF P15-403 [31]**, qui prend en considération une partie de liant et trois parties de sable et d'une demi-partie d'eau (E/C= 0,5).

Cette norme **NF P15-403** fait l'objet d'une caractérisation à la flexion et à la compression simple à 7 jours et 28 jours, des éprouvettes prismatique (4×4×16) cm<sup>3</sup>, suivant ce protocole, nous avons confectionné des éprouvettes avec différents pourcentages de polystyrène (PS) : 5% ; 10% ; 15% ; 20% ; 30% ; 50%, et nous avons terminé avec ce dernier pourcentage parce que le polystyrène dépassée la quantité de mélange.

**II.6.2. Les différentes étapes de confection****II.6.2.1. Pesée des constituants**

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction des éprouvettes à préparer ; les pesées ont été réalisées avec une précision de 0,5 % de l'adjuvant par rapport le poids de ciment. Dans le cas de la préparation de 3 éprouvettes (4×4×16) cm<sup>3</sup>, les quantités sont respectivement les suivantes :

Sable .....1350 g ;  
Liant .....450 g ;  
Eau .....225 g (E/C=0,50).

**0,5 % de l'adjuvant par rapport le poids de ciment**

On a : 450 —————> 100%

X —————> 0,5%

Donc l'adjuvant = 2,25 g.

**II.6.2.2. L'incorporation de polystyrène**

L'incorporation de polystyrène (PS) en fraction volumique s'effectue selon le calcul suivant :

$$\rho = \frac{M \text{ polystyrène}}{V \text{ polystyrène}} \longrightarrow V_{\text{polystyrène}} = \frac{M \text{ polystyrène}}{\rho \text{ polystyrène}}$$

$$V_{\text{polystyrène}} = X \cdot V \text{ mortier}$$

$$\frac{M \text{ polystyrène}}{\rho_{\text{polystyrène}}} = X \cdot V \text{ mortier} \dots\dots\dots M \text{ polystyrène} = \rho_{\text{ps}} \cdot X \cdot V \text{ mortier.}$$

X = dosages de polystyrène (5% ; 10% ; 15% ; 20% ; 30% ; 50 %) par rapport au volume total du mélange.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

**Tableau II. 13 : Dosage de mortier.**

Les constituants	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (ml)	Superplastifiant
Les dosages	450	1350	225	2,25

**Tableau II. 14 : Les différents dosages de polystyrène dans le mortier.**

	V polystyrène (cm <sup>3</sup> )	M polystyrène (g)	□□□□□g/cm <sup>3</sup>
0% polystyrène	0	0	0,015
5 %	38,4	0,576	
10 %	76,8	1,152	
15 %	115,2	1,728	
20 %	153,6	2,304	
30 %	230,4	3,456	
50 %	384	5,76	

**II.6.4. Préparation des moules**

Pour la préparation les moules, nous avons procédé de la façon suivante:

- Préparer une série des moules des dimensions (4×4×16) cm<sup>3</sup> convenables, avec la quantité du mortier ;
- Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- Placer les moules sur une table vibrante.



**Figure II. 9 : Des moules prismatique (4x4x16) cm<sup>3</sup>.**

### II.6.5. Préparation des éprouvettes

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié par la norme EN 196-1[32], le malaxeur étant en position de fonctionnement :

- a) Mettre 225 ml d'eau ;
- b) Mettre 450 g de ciment ;
- c) Malaxer pendant 30s à vitesse lente, introduire le polystyrène et le sable d'une manière aléatoire ; puis malaxer pendant 2 mn à vitesse rapide.
- d) Arrêter le malaxeur, démonter le batteur, puis racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie de mortier n'échappe au malaxage.
- e) Après remontage du batteur reprendre le malaxage pendant 2 mn à vitesse rapide.
- f) Après le malaxage couler le mortier dans les moules normalisés (4x4x16) cm<sup>3</sup>, qui doivent être graissés au préalable, remplir la moitié du moule qui doit être placé sur la table à choc, avec un nombre de coups égal à 60coup/mn.
- g) Retirer le moule après la vibration et le remplir de nouveau jusqu'au débordement, araser l'excès puis remettre sur la table à choc pour compléter l'homogénéisation.



**Figure II. 10 :** Les constituants et le malaxeur automatique.



**Figure II. 11 :** Le malaxage.

### II.6.6. Conservation des éprouvettes

Après 24 h de la confection des éprouvettes et Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées dans un milieu humide (eau) à 20°C.

Après cette période de conservation on tire après chaque période de 7 et 28 jours les éprouvettes qui seront soumises aux essais mécaniques.



**Figure II. 12 :** Les éprouvettes prismatique (4x4x16) cm<sup>3</sup>.



**Figure II. 13 :** La Conservation des éprouvettes.

**Les essais mécaniques :**



**Figure II. 14 :** La machine de flexion et de compression.

**II.7. Conclusion**

Durant toutes les étapes de réalisation de ce travail, le respect du plan du mémoire et des normes des différents essais effectués.

La compréhension de ce sujet conduit à une division en deux volets distincts dans cette étude, dans un premier part les caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la formulation des types du mortier élaboré. D'autre part (dans la deuxième partie) l'effet du polystyrène sur les propriétés physicomécaniques : la masse volumique, l'absorption, la résistance à la flexion et à la compression.

# **Chapitre II : Partie expérimentale**

## **Partie 2**

## Partie 2 : Résultats expérimentaux et interprétations

### II.2.1. Introduction

Le mortier qui a fait l'objet de notre étude est : Mortier à base de différents pourcentages de polystyrène.

Cette partie constitue une analyse et interprétation des résultats sur les divers échantillons élaborés (Masse volumique, Absorption et les résistances mécanique).

### II.2.2. La masse volumique et le degré d'absorption

#### II.2.2.1. La masse volumique

##### a. A l'état frais

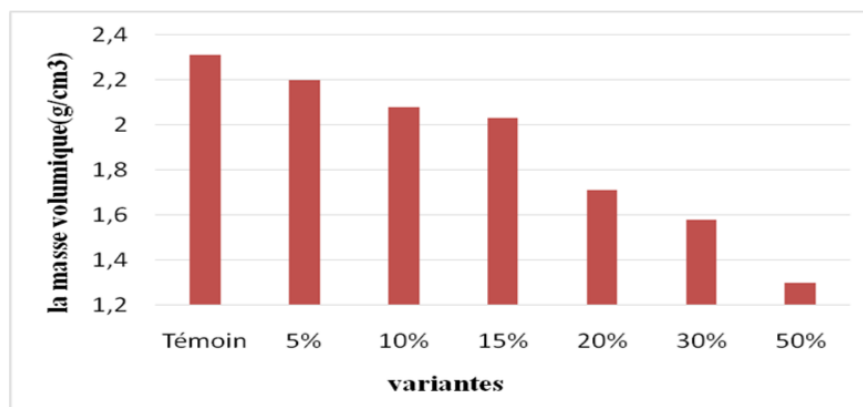
On calcule la masse volumique à l'état frais juste après le coulage des éprouvettes avec la relation suivante :  $P=M/V$

- **M** : masse de l'éprouvette.
- **V** : volume de l'éprouvette.

Les résultats des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs de la masse volumique à l'état frais sont illustrées dans le tableau et les histogrammes suivants:

**Tableau II. 15** : La masse volumique à l'état frais.

Les Types	La masse(g)	Le volume (cm <sup>3</sup> )	La masse volumique (g/ cm <sup>3</sup> )
Témoin	593	256	2,31
5%	565		2,20
10%	533		2,08
15%	521		2,03
20%	440		1,71
30%	406		1,58
50%	334		1,30



**Figure II. 15** : La masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en polystyrène.



**b. A l'état durci**

On détermine la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissés à l'air libre pendant 20 minutes afin qu'elles aient une humidité nominale juste avant l'essai mécanique aux différents âges, on détermine la masse volumique est donnée par la formule suivante : Avec :  $P=M/V$

- **M** : masse de l'éprouvette.
- **V** : volume de l'éprouvette.

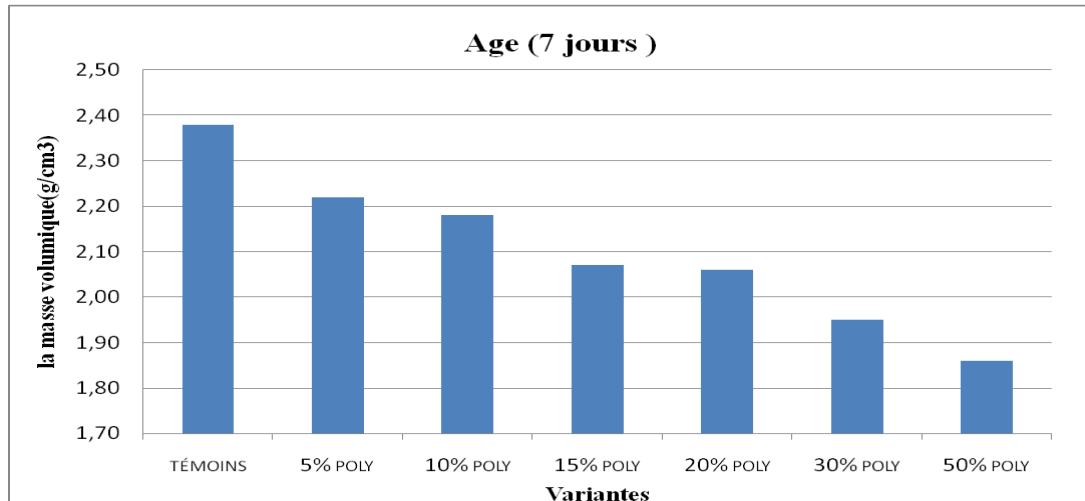
Le résultat des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs de la masse volumique à l'état durci à 14 et 28 Jours sont illustrées dans le tableau et les histogrammes suivants :

**Tableau II.16** : Masses volumiques des différentes variantes à l'état durci.

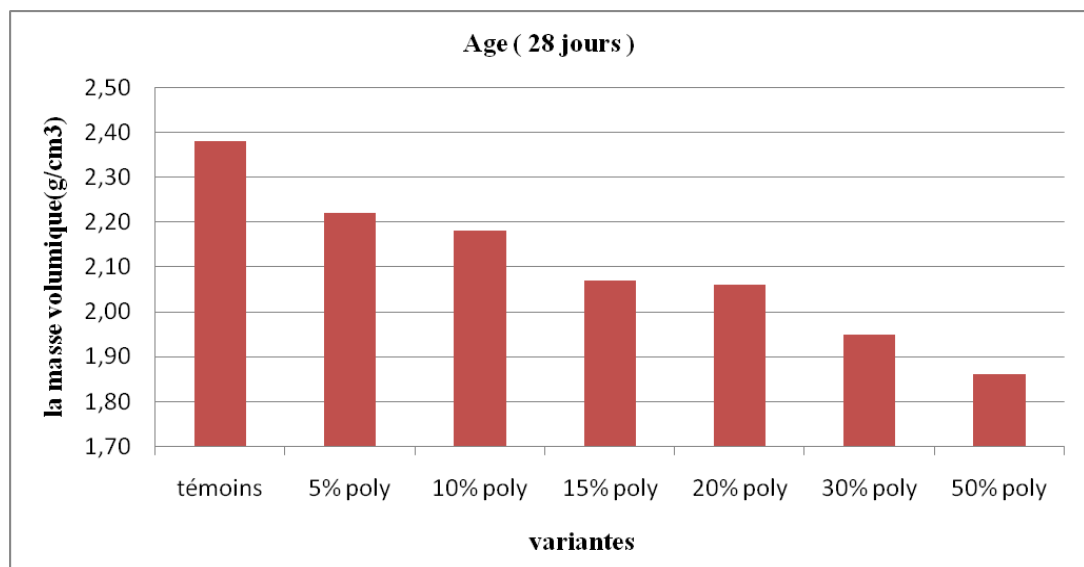
Age	Les Types	Moyen des masses (g)	Moyen des volumes (cm <sup>3</sup> )	Masse Volumique (g / cm <sup>3</sup> )
7 j	Témoin	608,33	256	2,37
	5 % PSE	569		2,22
	10 % PSE	557		2,17
	15 % PSE	529,33		2,06
	20 % PSE	526,33		2,05
	30 % PSE	498		1,94
	50 % PSE	474,33		1,85
28 j	Témoin	608,33		2,37
	5 % PSE	569		2,22
	10 % PSE	557		2,17
	15 % PSE	529,33		2,06
	20 % PSE	526,33		2,05
	30 % PSE	498		1,94
	50 % PSE	474,33		1,85

**Tableau II.17** : Le moyen des masses Volumiques des différents variantes.

Les Types	Moyen des masses volumiques (g / cm <sup>3</sup> )
Témoin	<b>2,37</b>
5 % PSE	<b>2,22</b>
10 % PSE	<b>2,17</b>
15 % PSE	<b>2,06</b>
20 % PSE	<b>2,05</b>
30 % PSE	<b>1,94</b>
50 % PSE	<b>1,85</b>



**Figure II.16 :** Masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène à 7 jours.



**Figure II.17 :** Masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène à 28 jours.

### Remarque

- On remarque dans les figures (II.15, II.16, II.17) que l'addition du polystyrène fait diminuer la masse volumique à l'état frais et durci.
- La masse volumique diminue en fonction des taux d'introduction des pourcentages de polystyrène, on note une diminution de  $2,31 \text{ g/cm}^3$  à  $1,3 \text{ g/cm}^3$  du témoin par rapport à la variante d'addition de 50%.

### II.2.2.2. Absorption d'eau (A%)

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau des éprouvettes de mortier saturées, Avant les mesures de l'absorption, les prismes d'éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  seront prés conditionnés dans l'étuve à environ  $105 \text{ C}$  jusqu'à une masse constante, Après ça on les place dans un bac contenant de l'eau, on les laisse dans l'eau 24 heures.

Après les 24 heures on prend les éprouvettes de l'eau, on les laisse 20 minutes après on mesure l'absorption,  $W(\%) = [(Mh - Ms) / Ms] * 100$

Où :

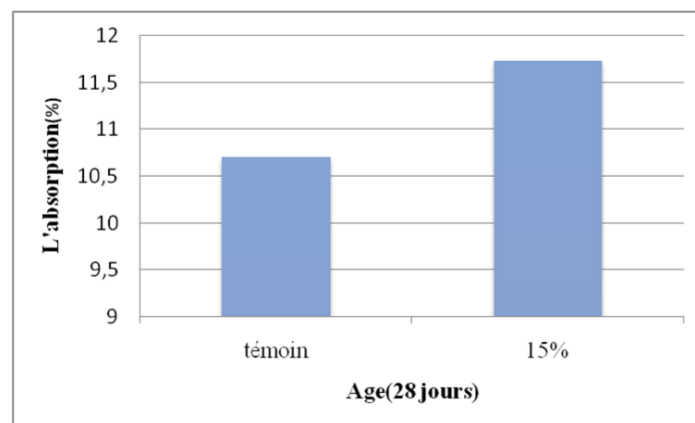
**Mh** : la masse de l'éprouvette contenue d'eau absorbée.

**Ms** : la masse de l'éprouvette sec (après l'étuve pendant 24 h à 105) En étude l'effet du l'ajout de polystyrène sur la masse volumique (à l'état durci) et le degré d'absorption d'eau, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant (on a calculé le degré d'absorption de deux éprouvettes : 15 et 30 %).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau II.18** : Le degré d'absorption de quelques éprouvettes.

Les types	Mh(g)	Ms(g)	W(%)
T	579	523	10,70
15%	520	466	11,58



**Figure II.18** : L'effet du polystyrène sur l'absorption.

### Remarque

Selon la figure (II.18) on remarque que, l'ajout du polystyrène avec pourcentages (15%) engendre une porosité notable dans notre mortier ce qui conduit à l'augmentation de l'absorption.

### II.2.3. Les résistances mécaniques

Afin d'étudier l'effet des différents pourcentages du polystyrène expansé sur la masse volumique des compositions, dans ce qui suit, nous allons présenter et étudier cet effet sur les résistances mécanique à la compression et à la flexion.

Les résultats obtenus lors des essais mécaniques en flexion et compression des différentes éprouvettes issues des variantes étudiées dans ce travail, il y'a lieu de signalé que les valeurs présentées dans le tableau et les histogrammes ci-après présentent les valeurs moyennes de chaque essai.

**Tableau II.19** : Effet du polystyrène sur la résistance à la flexion.

Les Types	Age (J)	Résistance à la flexion (MPa)
Témoin	7	8,26
	28	8,56
5 % PSE	7	6,86
	28	7,6
10 % PSE	7	6,50
	28	7,33
15 % PSE	7	5,26
	28	5,46
20 % PSE	7	4,66
	28	5,33
30 % PSE	7	4,46
	28	4,6
50 % PSE	7	3,63
	28	4,2

**Tableau II.20** : La résistance à la compression des différents types.

Les Types	Age (J)	Résistance à la Compression (MPa)
Témoin	7	30,30
	28	33
5 % PSE	7	29,1
	28	31,03
10 % PSE	7	28,06
	28	29,3
15 % PSE	7	27,83
	28	28,26
20 % PSE	7	25,43
	28	27,66
30 % PSE	7	20,73
	28	25,83
50 % PSE	7	16
	28	19,43

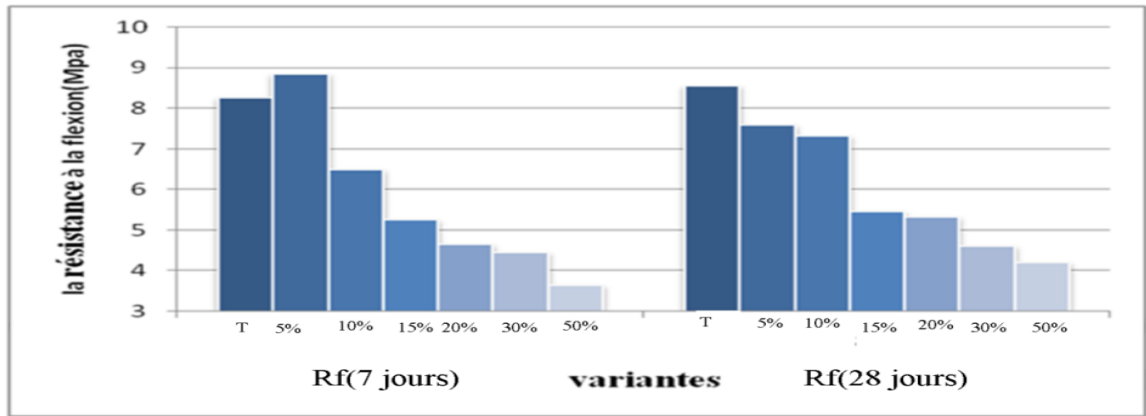


Figure II.19 : Effet de polystyrène sur la résistance à la flexion.

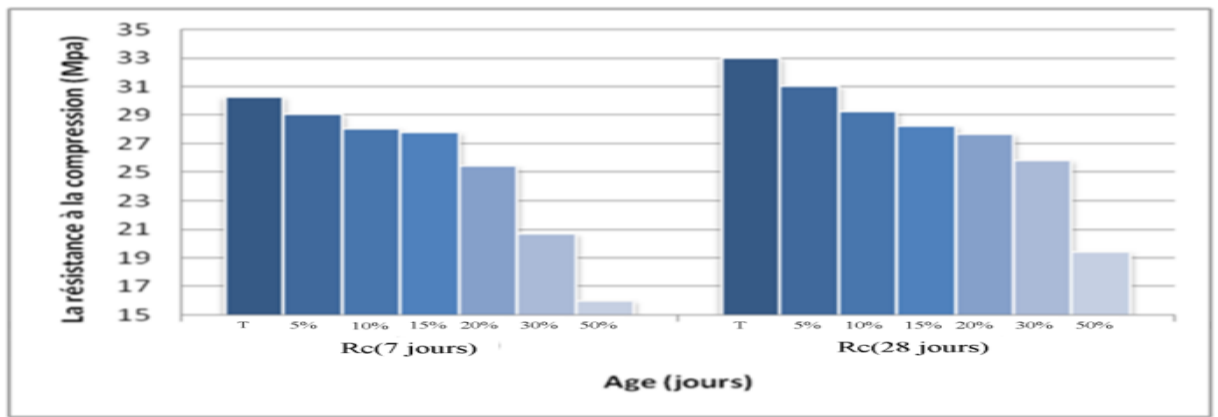


Figure II.20 : Effet de polystyrène sur la résistance à la compression.

Les courbes suivantes présentent les résultats de corrélation entre les propriétés physiques et mécaniques des différentes variantes étudiées dans ce travail.

La figure suivante II.21 représente les résultats de corrélation entre la résistance en compression et la résistances en flexion.

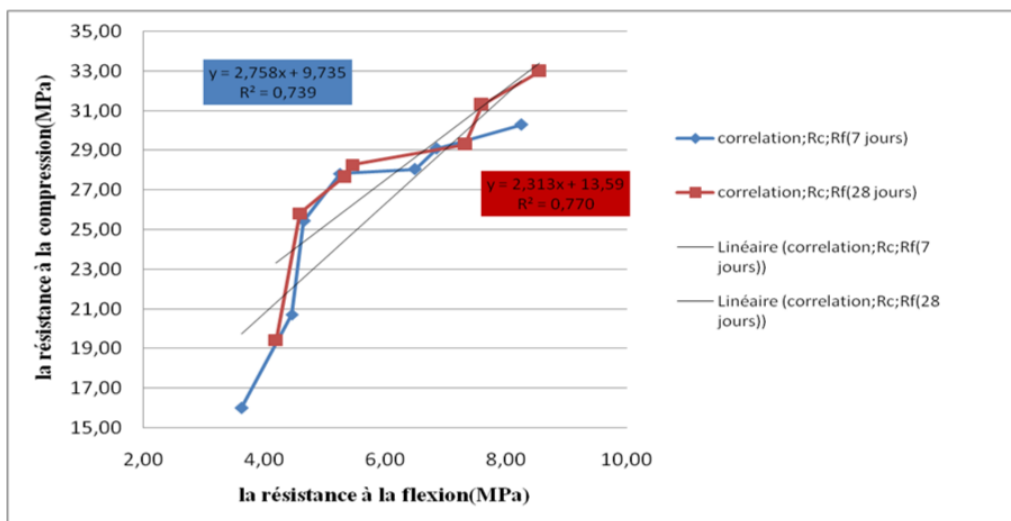


Figure II. 21 : Corrélation entre les résistances en compression et en flexion.

La figure suivante II.22 représente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en compression.

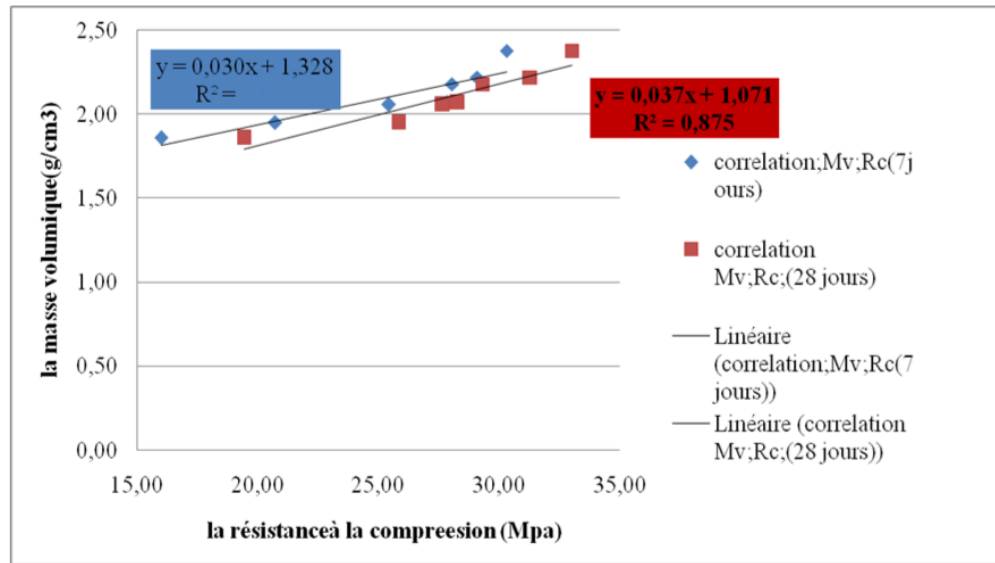


Figure II. 22 : Corrélation entre les résistances en compression et les masses volumiques.

La figure suivante II.22 représente les résultats de corrélation entre les résistances en flexion et celles en compression.

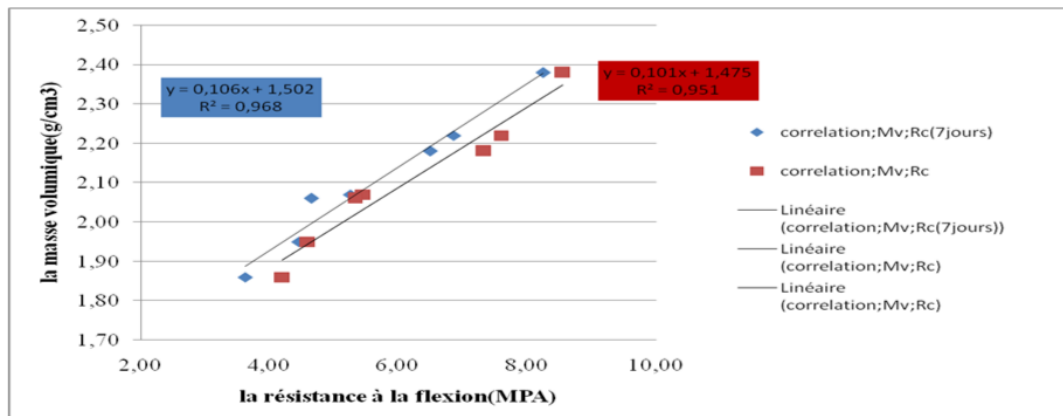


Figure II. 23 : Corrélation entre les résistances en compression et celles en flexion.

**Les remarques**

- Une diminution des résistances mécaniques en flexion, en fonction des pourcentages d'addition de polystyrène, notamment en fonction des âges à 7 et 28 jours, on note une diminution de 8,56 MPa à 5,33 MPa à 4,2 MPa du témoin par rapport à la variante d'addition de 20% et 50% respectivement (28 jours).
- Une diminution des résistances mécaniques en compression, en fonction des pourcentages d'addition de polystyrène, notamment en fonction des âges à 7 et 28 jours, on note une diminution de 33 MPa à 27,66 MPa à 19,43 MPa du témoin par rapport à la variante d'addition de 20% et 50% respectivement (28 jours).

- Les résistances en flexion montrent une légère diminution de 8,26 MPa à 3,63MPa à 7 jours et de 8,56 MPa à 4,2 MPa à 28 jours, par contre les résistances à la compression qui note une grande diminution que celle de la résistance en flexion, de 30,30 MPa à 16 MPa à 7 jours et de 33 MPa à 19,43 MPa à 28 jours.
- Les coefficients de corrélation entre les masses volumiques et les résistances en flexion à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2 = 0,968$  et  $R^2 = 0,951$  respectivement.
- Les coefficients de corrélation entre les masses volumiques et les résistances en compression à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2 = 0,825$  et  $R^2 = 0,875$  respectivement.
- Les coefficients de corrélation entre les résistances en flexion et les résistances en compression à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2 = 0,739$  et  $R^2 = 0,770$  respectivement.

#### II.2.4. Discussion et interprétation des résultats

##### Les propriétés physiques

Les résultats obtenus sont comparés à la variante témoin.

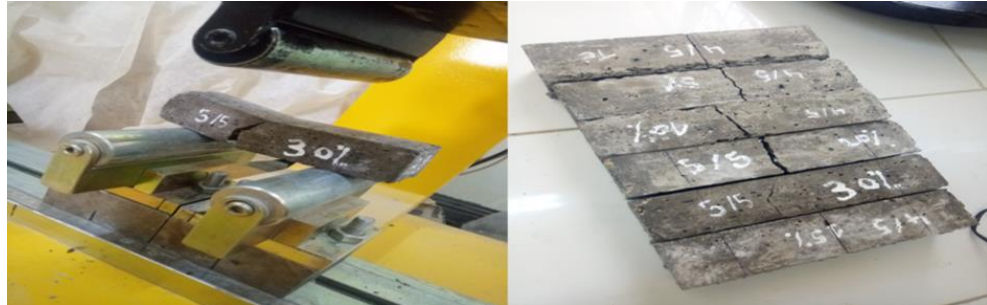
- La masse volumique de variantes élaborées par l'introduction des billes de polystyrène a été diminué par rapport aux variantes témoins en fonction de l'augmentation du pourcentage de polystyrène (5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%), et cela revient au poids léger de polystyrène et leurs formes (porogène), ce qu'a été remarqué durant l'élaboration des difficultés d'obtention d'une homogénéité du matériau, et surtout avec les vibrations (création de porosité) à cause du polystyrène qui revient à la surface du mortier et flottera, en fin la légère variation peut être expliquée par l'évolution de l'hydratation en fonction du temps.
- La valeur importante d'absorption de polystyrène utilisée dans ce travail, est estimée à 108,22% par rapport à la variante de 15% d'addition, expliquée par la présence de perle de polystyrène de nature poreuse.

##### Les propriétés mécaniques

Les résultats obtenus sont comparés à la variante témoin.

- La caractérisation mécanique des éprouvettes élaborées issues des différentes variantes étudiées, montrent une diminution des résistances mécaniques en compression et une diminution en flexion, en fonction de l'augmentation des pourcentages de polystyrène, et en fonction de l'âge, aussi cette diminution peut être expliquée par la structure des billes de polystyrène et son caractère et aussi les masses volumiques des éprouvettes ont un effet sur les résistances mécaniques en compression, ceci est illustré par les coefficients de corrélations établis entre les masses volumiques et les résistances à 7 et 28 jours.
- Les valeurs de la résistance en flexion obtenues à 7 et 28 jours montrent une diminution en fonction de l'augmentation du pourcentage de polystyrène, une diminution de 16,94% dans

le cas d'introduction de 5%, 43,58 % pour 20% et 56.05% pour 50% à 7 jours, et aussi 11,21% lors de l'introduction de 5%, 37,73% pour 20% et 50,93% pour 50% à 28 jours, l'ajout de polystyrène joue un rôle important dans la propagation des fissures, il élimine les pénétrations des fissuration dans les éprouvettes testées, la figure (II.24) montre l'orientation vertical de rupture après écrasement par flexion.



**Figure II. 24 :** Epreuve après l'écrasement en flexion.

- Les valeurs de la résistance en compression obtenues à 7 et 28 jours montrent une diminution en fonction de l'augmentation du pourcentage de polystyrène, une diminution de 3,96% dans le cas d'introduction de 5%, 16,07 % pour 20% et 47,19% pour 50% à 7 jours, et aussi 5,96% lors de l'introduction de 5%, 16,18% pour 20% et 41,12% pour 50% à 28 jours, cette diminution est expliquée l'augmentation de la porosité notée par la diminution de la masse volumique des variantes testées, la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, lorsque la masse volumique diminue la résistance diminue aussi et La diminution de la masse volumique se traduit par une baisse de la résistance mécanique.
- Les billes de polystyrène n'offrent pratiquement aucune résistance mécanique, ces résultats sont normaux.
- les masses volumiques des éprouvettes ont un effet sur les résistances mécaniques en flexion et en compression par une forte relation, ceci est illustré par les coefficients de corrélations établis : entre les masses volumiques et les résistances en flexion à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2=0,968$  et  $R^2=0,951$  respectivement, entre les masses volumiques et les résistances en compression à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2=0,825$  et  $R^2=0,875$  respectivement, entre les résistances en compression et les résistances en flexion à 7 et 28 jours sont estimés à  $R^2=0,739$  et  $R^2=0,770$  respectivement.

### Conclusion

L'objectif de ce programme expérimental est de formuler un mortier caractérisé par leur dosage de polystyrène nécessaire afin d'avoir une faible masse volumique,



Ce programme a également fait le point sur l'effet des principaux paramètres de composition sur les performances mécaniques,

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La masse volumique diminue en fonction du pourcentage du polystyrène PSE grâce au poids léger du PSE,
- Le mortier léger de polystyrène expansé est un mortier moins résistant à la compression et à la flexion par rapport à un mortier témoin ne contenant pas les billes de polystyrène,
- Une influence sur les caractéristiques du mortier à l'état frais et à l'état durci car l'augmentation des billes de polystyrène engendre essentiellement la création des pores dans le mortier qui devient moins compact et moins résistant.

# **Conclusion Générale**

### Conclusions

Rappelons que l'objet de ce mémoire est la formulation et la caractérisation d'un mortier léger par introduction de bille de polystyrène. En effet, il a été conclu qu'ils se caractérisent essentiellement par leurs faible masse volumique, adaptable aux exigences, ces mortiers sont une réduction de la densité est réalisée par une augmentation des vides d'air qui sont dans le PSE.

Nous nous proposons, ici, de dresser le bilan des contributions apportées sur les deux parties concernant la revue bibliographique et la partie expérimentales.

Le premier chapitre **I** est consacré à la revue bibliographique qui nous a permis de bien préciser le contexte scientifique et technique pour le mortier, les mortiers légers et le béton léger. Ce chapitre est composé de deux parties 1 et 2.

Dans le deuxième chapitre **II** de ce travail, nous avons conduit une étude expérimentale selon deux parties 1 et 2.

Ce chapitre **II** a fait le point sur les caractéristiques des matériaux utilisés à savoir : Le sable, le ciment portland composé **CPJ-CEMII / A42.5N**, l'eau du robinet du laboratoire, polystyrène expansé et leur différent pourcentage (5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%), l'adjuvant Superplastifiants/Haut Réducteur d'eau. Le type de ciment est le ciment portland provenant de la cimenterie de Sour el ghozlane (wilaya de Bouira) a été utilisé. Nous avons visé dans le programme expérimental à formuler une série de ML de polystyrène expansé avec une ligue de masses volumiques, suivant une méthode de formulation à travers sont paramètres clés de composition (% pourcentage du polystyrène). Nous avons apporté également une compréhension de l'effet de ces paramètres sur les caractéristiques physiques et mécaniques des MLPSE.

Dans ce chapitre, nous avons présentés les résultats d'une étude expérimentale de mortier léger de polystyrènes expansés, elles sont basées sur les pourcentages bien choisies afin d'avoir ces effets sur les propriétés physiques et mécaniques tels que : la masse volumique, l'absorption et la résistance (compression, flexion). Enfin, nous exposons en détail les résultats obtenus et leurs discussions.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'allègement du matériau est accompagné par une perte de résistance mécanique, mais il est possible d'obtenir des résistances mécaniques acceptables avec des petits dosages en PSE.
- Le matériau élaboré peut être un matériau ultra léger, qui jouera un rôle très intéressant dans l'avenir, dans le domaine de la rénovation du vieux bâti par sa légèreté

## **Conclusion générale**

---

sur les dalles, et dans les nouvelles constructions par son isolation thermique et phonique.

En conclusion, ce travail constituant une première étude sur la formulation des mortiers légers à base de polystyrène expansé, Notre résultats sont le fruit d'une étude qui ouvre la voie à nombreuses recherches. Leur généralisation n'est pas immédiate. Ce sont néanmoins des résultats obtenus dans un cadre national. D'autres études sont bien sûr nécessaires pour confirmer les résultats et augmenter la base de données sur ces nouveaux mortiers.

### Recommandations et perspectives

- Caractérisation et formulation des mortiers légers avec PSE dans un climat chaud.
- Étude de la résistance au feu pour les MLPSE.
- Étude des caractéristiques acoustique et thermique des MLPSE.
- L'effet d'Absorption et/ou perméabilité à l'eau des MLPSE.
- Amélioration des mortiers légers en utilisant des adjuvants et les ajouts minéraux.
- Amélioration de l'homogénéité des mortiers avec billes de polystyrènes.
- L'étude de l'adhérence interface billes de polystyrène avec la pâte cimentaire.

### Références bibliographiques

- [1] VENUAT. M; DU BETON MOUSSE AU BETON DE POLYSTYRENE ; 1983.
- [2] BOUALI, KHALED, THESE DE DOCTORAT «ELABORATION ET CARACTERISATION THERMOMECHANIQUE DES MORTIERS A BASE D'AJOUTS DE DECHETS DE BRIQUES REFRACTAIRES ». (2015), 108 PAGES.
- [3] G. BARLUENGA, F. HERNANDEZ-OLIVARES. SBR LATEX MODIFIED MORTAR RHEOLOGY AND MECHANICAL BEHAVIOUR. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, VOL. 34, 2004, PAGES 527-535.
- [4] HEMIL, SAMIR «EFFET COMBINE DES BILLES DU POLYSTYRENE ET LES FIBRES PLASTIQUE SUR LES MORTIERS AU CIMENT BLANC» THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA(2018) PAGES 1-80.
- [5] LATASTE, J. F., BEHLOUL, M., ET BREYSSE, D « CARACTERISATION D'UN BETON FIBRE PAR METHODE NON DESTRUCTIVE ». BORDEAUX, FRANCE, MAI, 2007, PAGES 1-8.
- [6] NF EN 934-2, ADJUVANTS POUR BETONS, MORTIER ET COULIS - PARTIE 2 : ADJUVANTS POUR BETON - DEFINITIONS, EXIGENCES, CONFORMITE, MARQUAGE ET ETIQUETAGE, 2012, 21 PAGES.
- [7] H. MITANI. VARIATIONS VOLUMIQUES DES MATRICES CIMENTAIRES AUX TRES JEUNE AGES : APPROCHE EXPERIMENTALE DES ASPECTS PHYSIQUES ET MICROSTRUCTURAUX. THESE DE DOCTORAT DE L' ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, 2003, 182 PAGES.
- [8] BRESSON A. INFLUENCE DE LA MINERALOGIE SUR LE COMPORTEMENT DES MORTIERS DE CIMENT AU JEUNE AGE. THESE GENIE CIVIL. LAVAL, QUEBEC : FACULTE DES SCIENCES ET DE GENIE UNIVERSITE LAVAL, 2006, 150 PAGES.
- [9] SAOUD HADJIRA «L'INFLUENCE DE L'AJOUT DE LA POUDRE DE VERRE ET DE LA POUDRE DE MARBRE SUR LE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DU CIMENT COMPOSE» MEMOIRE MASTER, UNIVERSITE DU M'SILA, (2016), 64 PAGES.
- [10] M. HAJDUKOVIĆ, N. KNEZ, F. KNEZ, J. KOLŠEK, FIRE PERFORMANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEM (ETICS) FACADES WITH EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) INSULATION AND THIN RENDERING, FIRE TECHNOL. 53 (2017) 173–209.

- [11] S. DOROUDIANI, H. OMIDIAN, ENVIRONMENTAL, HEALTH AND SAFETY CONCERNS OF DECORATIVE MOULDINGS MADE OF EXPANDED POLYSTYRENE IN BUILDINGS, BUILD. ENVIRON. 45 (2010) 647–654 PAGES.
- [12] S. BAKHTIYARI, L. TAGHI-AKBARI, M. BARIKANI, THE EFFECTIVE PARAMETERS FOR REACTION-TO-FIRE PROPERTIES OF EXPANDED POLYSTYRENE FOAMS IN BENCH SCALE, IRAN. POLYM. J. 19 (2010) 27–37 PAGES.
- [13] S. MAHIOUT, METTRE EN VALEUR OU BANNIR LE POLYSTYRENE-APPROCHES DANS UN CADRE DE DEVELOPPEMENT DURABLE, MEMOIRE MASTER, UNIVERSITE DE SHERBROOKE, 2014, 162 PAGES.
- [14] B. SAFAIE, VALORISATION DU POLYSTYRENE DANS LA FABRICATION DES BOUTEILLES DESTINEES AUX PRODUITS LAITIERES, MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE DE FES, 2016, 71 PAGES.
- [15] NASSIMA SOTEHI « CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES PAROIS DES BATIMENTS ET AMELIORATION DE L'ISOLATION » THESE UNIVERSITE DU CONSTANTINE 2010, 157 PAGES.
- [16] NICOLAS, EDWIGE. COMPATIBILITES ET INCOMPATIBILITES LIANTS CIMENTAIRES / SUPERPLASTIFIANTS, THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ-NANCY PAGES 1-198.
- [17] C.J. BENNING - PLASTIC FOAMS: THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF PRODUCT PERFORMANCE AND PROCESS TECHNOLOGY, VOLUME I: CHEMISTRY AND PHYSICS OF FOAM FORMATION- WILEY INTERSCIENCE- 1969-PAGES 1-116.
- [18] X. HUANG, Q. WANG, Y. ZHANG, Y. YIN, J. SUN, THICKNESS EFFECT ON FLAME SPREAD CHARACTERISTICS OF EXPANDED POLYSTYRENE IN DIFFERENT ENVIRONMENTS, J. THERMOPLAST. COMPOS. MATER. 25 (2012) 427–438 PAGES.
- [19] Y.F. CHEN, L. YANG, S. ZHUANG, STUDY ON THE COMBUSTION CHARACTERISTIC OF ADHESIVE POLYSTYRENE, APPLIED MECHANICS AND MATERIALS, TRANS TECH PUBL, 2014, 191–193 PAGES.
- [20] DANIEL WYART, PRODUCTION DU POLYSTYRENE EXPANSE EXTRUDE (PSE-E OU XPS), TECHNIQUE DE L'INGENIEUR, REF : AM3341 V1, 2008, 26 PAGES.
- [21] BRUNO, B ET CLAUDE, D ET VALERIE, M « POLYSTYRENE EXPANSE ET DEVELOPPEMENT DURABLE » LIVRE EDITION EYROLLES (2008), PAGES 1-83.
- [22] GROUP EDILTECO « MORTIER LEGER PRET A L'EMPLOI ISOLANT ET FIBRE 500 KG/M<sup>3</sup> CATALOGUE 109 FR 01/2019 PAGES 1-6.

- [23] MILED, KARIM. EFFET DE TAILLE DANS LE BETON LEGER DE POLYSTYRENE EXPANSE. THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, SPECIALITE : MECANIQUE, STRUCTURE ET MATERIAUX, 21 NOVEMBRE 2005 186 PAGES.
- [24] HERIHIRI, OUDED. FORMULATION ET CARACTERISATION DES BETONS LEGERS, THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER-BISKRA ; 2010- PAGES 4-138.
- [25] CADERE, COSTIN ANDREI, ET AL. "ENGINEERING PROPERTIES OF CONCRETE WITH POLYSTYRENE GRANULES." PROCEEDINGS OF THE 22<sup>ND</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE AND COMPOSITES (ICC 2018): PAGES 288-293.
- [26] KISMI, M. ET MOUNANGA, P. COMPARAISON PERFORMANCIELLE A COURT ET A LONG TERMES DE MORTIERS LEGERS A BASE DE DECHETS DE MOUSSE DE POLYURETHANE RIGIDE ET DE BILLES DE POLYSTYRENE EXPANSE. IN : MATEC WEB OF CONFERENCES. EDP SCIENCES, 2012. 1019 PAGES.
- [27] NORME FRANÇAISE P 18-555, «GRANULATS - MESURES DES MASSES VOLUMIQUES, COEFFICIENT D'ABSORPTION ET DE LA TENEUR EN EAU DES SABLES», EDITIONS AFNOR, PARIS, 1990, PAGES 1-6.
- [28] NORME FRANÇAISE P 18-554, «GRANULATS - MESURES DES MASSES VOLUMIQUES, DE LA POROSITE, DU COEFFICIENT D'ABSORPTION ET DE LA TENEUR EN EAU DES GRAVILLONS ET CAILLOUX», EDITIONS AFNOR, PARIS, 1990, PAGES 1-5.
- [29] NORME FRANÇAISE P 18-598, «GRANULATS - ÉQUIVALENT DE SABLE», EDITIONS AFNOR, PARIS, 1991, PAGES 1-8.
- [30] NORME FRANÇAISE P 18-560 NORME FRANÇAISE, «ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE», EDITIONS AFNOR, PARIS, SEPTEMBRE 1990, PAGES 1-9.
- [31] DREUX G, FESTAJ; « NOUVEAU GUIDE DU BETON ET DE SES CONSTITUANTS » EDITIONS EYROLLES, PARIS, 1995, 409 PAGES.
- [32] NF EN 196-1, METHODES D'ESSAIS DES CIMENTS - PARTIE 1 : DETERMINATION DES RESISTANCES - METHODES D'ESSAIS DES CIMENTS - PARTIE 1 : DETERMINATION DES RESISTANCES, 2016.



# ***Annexes***

## Annexe A

Sous Direction Matériaux et Essais

Ste **TECHNIQUE D'ISOLA**<sup>TM</sup>  
**POLYSTYRENE** Expansé  
 Zone d'activité BOUIRA  
 Tél - Fax (03) 92.87.87

C.T.C. - CENTRE / L.C.T.E. 1

**INTRODUCTION**

A la demande de la Société Technique d'Isolation du Polystyrène Expansé ( SARL TECHNISOL ) du 28/03/1998 ayant pour objet l'analyse des polystyrènes expansés de masses volumiques 25 - 27 - 28 - 30 kg/m<sup>3</sup>, une étude au préalable a été effectuée sur des échantillons présentés par le client. Ensuite, une visite technique a été programmée en date du 04/04/1998 à l'usine de production sise à zone d'activité lot N°2 à Bouira afin d'examiner le procédé et les différentes phases de fabrication du polystyrène, et de vérifier les différentes phases d'autocontrôle

**PROCEDE DE FABRICATION DU POLYSTYRENE EXPANSE**

Le polystyrène moulé obtenu par procédé breveté par B.A.S.F.

Le produit de base se présente alors sous la forme de granulés translucides ( perles de polystyrène de 0.8 à 2 mm de diamètre de masse volumique sensiblement égale à 1.05g/cm<sup>3</sup>).

L'expansion s'effectue en deux temps :une préexpansion de granulés et une expansion finale dans un moule qui donne un bloc de polystyrène expansé. Le bloc de polystyrène va servir à faire des plaques de dimensions 1,0 m x 0,5 m x 0.04 m, le découpage des blocs s'effectue thermiquement (avec des fils chauffés électriquement) .

Les granulés de polystyrène sont expansés à la vapeur sous une température et une pression définies préalablement.

La densité du produit final est fonction de l'intensité et de la durée de traitement.

Le procédé de fabrication a l'avantage de donner des surfaces lisses et moins poreuses.

**MOYENS D'INVESTIGATION ET RESULTATS DES ESSAIS**

Pour apprécier la qualité du polystyrène expansé en vue de sa destination projetée une série d'expérimentation a été effectuée à savoir :

- La détermination de la densité
- La tenue à la chaleur
- L'émersion totale à l'eau

Ste **TECHNIQUE D'ISOLATION**  
**POLYSTYRENE** Expansé  
 Zone d'activité BOUIRA  
 Tél - Fax (03) 92.87.87



Sous Direction Matériaux et Essais

C.T.C. - CENTRE / L.C.T.E. 2

1°) Détermination de la densité

Les échantillons ont été ramenés par le client le lendemain de leur fabrication, on les a laissé se stabiliser pendant trois jours à l'air libre.

La densité a été déterminée conformément à la norme NF T 56-107.

Ste TECH.  
POLYS

Zone d'activité BOUIRA  
Tél - Fax (03) 92.87.87

## DENSITE 25

Echantillon N°	1	2	3	4
- Poids(g)	61.7	56.6	58.3	62.3
- Volume (cm <sup>3</sup> )	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4
- Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	24.68	22.64	23.32	24.92

## DENSITE 27

Echantillon N°	1	2	3	4
- Poids(g)	68.6	68.8	67.3	67.4
- Volume (cm <sup>3</sup> )	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4
- Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	27.52	27.44	26.92	26.72

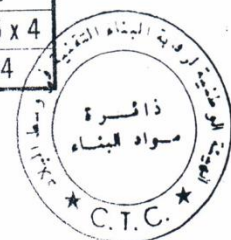
## DENSITE 28

Echantillon N°	1	2	3	4
- Poids(g)	72.4	72.9	71.2	69.8
- Volume (cm <sup>3</sup> )	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4
- Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	28.96	29.16	28.48	27.92

## DENSITE 30

Echantillon N°	1	2	3	4
- Poids(g)	80.5	77.5	73.3	78.6
- Volume (cm <sup>3</sup> )	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4	25 x 25 x 4
- Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	32.2	30.6	29.32	30.64

Ste TECHNIQUE D'ISOLATION  
POLYSTYRENE Expansé  
Zone d'activité BOUIRA  
Tél - Fax (03) 92.87.87



**2°) Tenue à la chaleur**

Le polystyrène expansé se ramollit à une température de 90°C

**3°) Essai d'émersion totale dans l'eau**

Dimensions d'éprouvettes : 25 cm x 25 cm x 4 cm

Ste **TECHNIQUE D'ISOLATION**  
**POLYSTYRENE Expansé**  
Zone d'activité BOUIRA  
Tél - Fax (03) 92.87.87

Emersion pendant 48 heures après 24 heures de la fabrication du polystyrène expansé

Densités	D 30	D 28	D 27	D 25
Poids initial de l'éprouvette	72.9	67.4	77.3	60.8
Poids de l'éprouvette imbibée d'eau	152.4	94.1	100	77.5
Quantité d'eau absorbée	79.5	26.7	22.7	16.7
Quantité d'eau absorbée par 100 cm <sup>3</sup>	3.18	1.068	0.908	0.668

Emersion pendant 72 heures après 48 heures de la fabrication du polystyrène expansé

Densités	D 30	D 28	D 27	D 25
Poids initial de l'éprouvette	80.5	68.8	59.6	73.3
Poids de l'éprouvette imbibée d'eau	101.2	93.0	96.1	101.2
Quantité d'eau absorbée	20.7	24.2	36.5	
Quantité d'eau absorbée par 100 cm <sup>3</sup>	0.828	0.968	1.46	1.096

Emersion pendant 24 heures après stabilisation du polystyrène expansé pendant 4 jours.

Echantillon	1	2	3	4
Poids initial de l'éprouvette	64.2	73.7	57.4	63.1
Poids de l'éprouvette imbibée d'eau	80.1	92	74.7	78.3
Quantité d'eau absorbée	15.9	18.7	17.3	15.2
Quantité d'eau absorbée par 100 cm <sup>3</sup>	0.695	0.818	0.760	

Emersion pendant 7 jours après stabilisation du polystyrène expansé pendant 4 jours.

Echantillon	1	2	3	4
Poids initial de l'éprouvette	64.2	73.7	57.4	63.1
Poids de l'éprouvette imbibée d'eau	95.5	107.3	104.2	100.9
Quantité d'eau absorbée	31.3	33.6	46.8	37.8
Quantité d'eau absorbée par 100 cm <sup>3</sup>	1.37	1.47	2.056	1.634

Ste **TECHNIQUE D'ISOLATION**  
**POLYSTYRENE Expansé**  
Zone d'activité BOUIRA  
Tél - Fax (03) 92.87.87



### CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La maîtrise du procédé de fabrication et l'équipement de la société SARL TECHNOSOL lui permet l'obtention du polystyrène de bonne qualité et de masse volumique supérieure à 25 kg/m<sup>3</sup>.

L'expérience a montré que le polystyrène expansé juste après sa fabrication absorbe une quantité d'eau considérable, d'où il est recommandé à l'entreprise qu'après le démoulage une nouvelle stabilisation du polystyrène est nécessaire, elle doit s'effectuer dans des endroits aérés et doit durer un ou plusieurs jours, durant cette période l'excès de pentane et d'humidité contenue dans le matériau s'évacue et ce dernier acquiert alors une bonne stabilité mécanique.

Pour éviter tout équivoque, nous vous recommandons de prévoir un système d'identification de la plaque du polystyrène expansé à sa sortie de l'usine par un marquage et d'étiquetage comportant :

- Le nom du producteur
- Les dimensions de plaque.
- la densité du polystyrène
- La date de fabrication

- ✓ L'entreprise doit s'assurer en permanence de la qualité du granulé de polystyrène.
- ✓ Se doter en permanence de moyens personnel et matériels pour le contrôle interne et le suivi de qualité à toutes les phases de la production. Pour l'autocontrôle de la densité du polystyrène expansé, l'entreprise doit aménager un laboratoire et s'équiper d'une étuve et d'une balance indiquant la masse avec une précision d'au moins 0,1%.
- ✓ La détermination de la densité du polystyrène expansé doit être déterminée conformément à la norme NF T56-107 sur le produit entièrement stabilisé.
- ✓ Accepter le principe d'une vérification régulière de son contrôle interne par le C.T.C. - Centre/L.C.T.E. par des visites systématiques inopinées.
- ✓ Pour l'isolation des toitures terrasses, le polystyrène expansé de masse volumique  $\geq 25 \text{ KG/m}^3$  fabriqué par la SARL TECHNOSOL peut être substitué au liège.

✓ Nous restons à votre disposition pour toute information complémentaire que vous jugerez nécessaire.

#### INGENIEURS CHARGES DE L'ETUDE

Mr IKEDJI M.

Melle CHEKROUN F


#### LE SOUS DIRECTEUR MATERIAUX ET ESSAIS




CHERFA M.

Ste TECHNIQUE D'ISOLATION  
POLYSTYRENE Expansé  
Zone d'activité BOUIRA  
Tél - Fax (03) 92.87.87

## Annexe B



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر  
GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE  
SOCIÉTÉ DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE  
« S.C.S.E.G. »  
ش.ذ.أ. - راسماليا الاحكامي : S.P.A. au capital social de : 1.900.000.000 D A



N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00-0282105898

**Produit Commercialisé :**

Ciment CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

Fiche technique

**Période D'expédition :**

Avril -Mai 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique		
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)
Poids spécifique	Gr/cm <sup>3</sup>		3.09	SiO <sub>2</sub>		20.06
Surface spécifique Blaine	Cm <sup>2</sup> /gr		4000	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.99
Consistance normale	% H <sub>2</sub> O		26.11	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.04
Temps de prise	Début	Min. ≥ 60	151	CaO		61.57
	Fin	Min.	322			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	2.79	MgO		1.62
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	238.8	K <sub>2</sub> O		0.54
Refus sur tamis 45 µm	%		15.58	Na <sub>2</sub> O		0.26
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	4.56	SO <sub>3</sub>	≤ 3.50	2.06
	07 jours	Mpa	6.12	Cl <sup>-</sup>	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa	6.92	P.A.F à 1000 ° C		7.16
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	CaO <sub>libre</sub>		1.56
	07 jours	Mpa				
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5			

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment CEM II / A-M (P-L) 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghazlane  
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghazlane  
(W) de Bouira, 10004 Algérie  
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz

Le chef de Département

## Annexe C

## Construction

**Notice produit**  
Edition Août 2016  
Numéro 1.23  
Version n° 108.2016  
SIKA® VISCOCRETE® 665

**SIKA® VISCOCRETE® 665**

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab 3.1 et 3.2.

<b>Présentation</b>	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.
<b>Domaines d'application</b>	Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.</li> <li>■ de bétons à longs maintiens de rhéologie (&gt;2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.</li> </ul>
<b>Caractères généraux</b>	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Longue rhéologie (&gt;2h30)</li> <li>■ Evolution rapide des résistances à court et à long terme</li> <li>■ Réduction de la viscosité</li> <li>■ Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés</li> <li>■ Pas de reprise de fluidité dans le temps</li> <li>■ Qualité de parement</li> </ul>
<b>Agréments, essais de laboratoire</b>	PV CNERIB : DTEM : 396/2016.
<b>Caractéristiques</b>	
<b>Aspect</b>	Liquide marron
<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fût de 200 Kg</li> <li>■ Conteneur perdu de 1000 Kg</li> <li>■ Vrac</li> </ul>
<b>Stockage</b>	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
<b>Conservation</b>	12 mois dans son emballage d'origine intact



<b>Données techniques</b>	
densité	1,085 ± 0,015
pH	5 ± 1,0
Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq.	≤ 1,0%
Extrait sec	33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl <sup>-</sup>	≤ 0,1%
<b>Conditions d'application</b>	
Dosage	Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Mise en œuvre	Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair  
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus  
Alger/ ALGERIE  
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84  
213 (0) 21 50 16 92 à 95  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



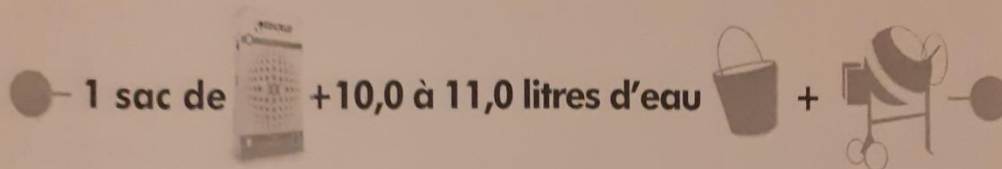


Annexe D





## PRÉPARATION



### Préparation à la bétonnière

- Versez 6,0 litres d'eau dans la bétonnière en marche.
- Versez le sac entier de XX®.
- Laissez malaxer pendant 3 minutes.
- Le mélange devient homogène et gris.
- Versez le complément d'eau soit 4,0 à 5,0 litres.
- Laissez malaxer 2 à 3 minutes.
- N'utilisez pas plus de 60 % du volume de la bétonnière pour obtenir un mélange homogène.
- Lors de la première gâchée, la bétonnière est sèche et le produit aura tendance à adhérer aux parois. Laissez malaxer un peu plus longtemps et veillez à ne pas rajouter inutilement de l'eau.

### Préparation à la pompe

- Avant de réaliser le premier mélange, envoyez un mélange eau + ciment dans le tuyau.
- Versez 6,0 litres d'eau dans le malaxeur en marche.
- Versez le sac entier de XX® en fonction de la capacité de la pompe.
- Versez le complément d'eau soit 4,0 à 5,0 litres.


### Préparation au malaxeur

Suivez les mêmes étapes que la préparation à la bétonnière mais prévoyez un grand récipient (minimum 90 litres).

### Précautions d'emploi lors de la préparation du mortier XX®

- Respectez le dosage en eau.
- Ne remouillez jamais le mortier léger après malaxage.
- Le mélange ne doit pas être liquide mais compact et mousseux.
- Possibilité d'ajouter un antigel, ne mettez pas d'autres adjuvants.



 **NOS ATOUTS**

Réactivité | Performances Techniques | Innovation | Qualité | Partenariat | Créativité

## MISE EN ŒUVRE

### Mise en forme du mortier léger XX\*

Après malaxage du produit, comme indiqué dans le paragraphe « Préparation du mortier léger XX\* », le mortier doit être homogène et de couleur gris.

- Mettez en œuvre le mortier léger à l'aide des outils adaptés (râteau, pelle, règle, etc.)
- Vérifiez le bon étalement du mortier sur le film PE ou sur la sous-couche acoustique.
- Tirez à la règle et vérifiez l'épaisseur mise en œuvre.
- Pour une surface plane et soignée, terminez à la lisseuse.
- Ne talochiez pas le mortier.

### Précautions d'emploi lors de la mise en forme du mortier XX\*

- Durée d'utilisation du mortier après malaxage : 30 minutes.
- Tirez le mortier en une seule fois ou terminez sur un joint de fractionnement.
- Pour tirer le mortier léger, utilisez une règle de plâtrier (à pan coupé) ou une règle traditionnelle que vous inclinerez de façon à n'utiliser que l'angle de celle-ci. Cette technique évite que le produit adhère à la règle, permettant une finition lisse sans talochage.

### Pose du revêtement de sol

La finition de surface dépend du revêtement final. Tous les revêtements de sol sont admissibles conformément aux règles de l'art et à nos recommandations faites dans le tableau ci-dessous. De même que le collage du carrelage est à effectuer avec un mortier colle C2, C2-S1 ou C2-S2 sous certificat « certifié CSTB certifié - QB » et le jointoiment avec des joints souples. Selon la destination des locaux et le type de revêtement, nous vous conseillons de vous reporter aux NF D.T.U. correspondants ainsi qu'aux prescriptions des fabricants.

Revêtements	Bâtiments d'habitation classés P2 et P3*		Normes / NF D.T.U.
Carrelage collé	Pose directe après 48 heures	Sols en carreaux collés	NF D.T.U. 52-2 - NF P 61-204
Carrelage scellé	Pose directe du mortier de scellement après 48 heures	Sols scellés	NF D.T.U. 52-1 - NF P 61-202
Parquet flottant	Pose directe après 5 jours	Parquets en pose flottante	NF D.T.U. 51-11 - NF P 63-204
Revêtement stratifié	Pose directe après 5 jours	-	-
Parquet collé	Ragréage 5 mm	Parquets collés	NF D.T.U. 51-2 - NF P 63-202
Moquette	Ragréage 6 mm	Sols textiles collés	NF D.T.U. 53-1 - NF P 62-202
Sol souple	Ragréage 6 mm	Sols plastiques collés	NF D.T.U. 53-2 - NF P 62-203

Les temps de séchage et d'épaisseur de ragréage ci-dessus sont réalisés uniquement pour des applications avec un drainage traditionnel à la règle. Les temps de séchage sont pour une épaisseur de 5 cm, pour les épaisseurs supérieures ajouter 24 heures d'épaisseur supplémentaire. \* Suivant l'usage CSTB 3529 de novembre 2004 "Notice sur le classement LPEU et classement LPEC des locaux"

### Consignes

- Laissez sécher à l'abri des courants d'air, au besoin protéger provisoirement avec un film PE pendant 48 heures. Protégez également du soleil et des fortes températures et/ou de la pluie pendant la prise.
- Une planification des travaux doit être effectuée pour que le revêtement de sol soit posé dans un délai de 28 jours maximum après le coulage du mortier léger.
- Le mortier léger n'est pas destiné à rester apparent et doit systématiquement recevoir un revêtement de sol.
- Dans le cas où plusieurs corps de métier seraient amenés à travailler sur le mortier léger, il est impératif de protéger celui-ci en établissant un chemin de circulation avec des planches ou en appliquant une barbotine sur la surface du mortier.
- Dans le cas d'un passage occasionnel, un simple balayage manuel vous permettra de faire disparaître tous les défauts de surface.
- Un balayage de la surface du mortier est obligatoire avant l'application des enduits (ragréage) de préparation de sols et la pose du revêtement de sol final.

### Pose et fixation de cloisons

- Le mortier léger XX\* peut recevoir des cloisons dont le poids est inférieur ou égal à 150 kg/ml. Elles sont réalisées après un délai de séchage du mortier léger de minimum 7 jours.
- Dans le cas de cloisons lourdes (> 150 kg/ml), il faut obligatoirement renforcer le mortier léger ou intégrer les cloisons dans celui-ci.
- Afin de fixer les rails ou tout autre guide, il convient d'utiliser des chevilles à frapper, en respectant scrupuleusement les diamètres de perçage.

## Annexe E

### Les quantités des constituants

- **Volume d'une seule éprouvette :**  $(4 \times 4 \times 16) = 256 \text{ cm}^3 = 0,000256 \text{ m}^3$  (Forme prismatique).
- **Volume de 4 éprouvettes :**  $3 \times (4 \times 4 \times 16) = 768 \text{ cm}^3 = 0,000768 \text{ m}^3$ .

#### 1. Pour le mortier Témoin

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g

#### 2. Pour mortier avec le polystyrène (5%)

**On a :**  $\rho_{ps} = 0,015 \text{ g/cm}^3$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

$$768 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{\text{polystyrène } 5\%} \longrightarrow \text{alors } V_{ps} = 38,4 \text{ cm}^3.$$

$$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 38,4 = 0,576 \text{ g.}$$

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g
- Masse de ps = 0,576 g.

#### 3. Pour mortier avec le polystyrène (10%)

**On a :**  $\rho_{ps} = 0,015 \text{ g/cm}^3$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

$$768 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{\text{polystyrène } 10\%} \longrightarrow \text{alors } V_{PS} = 76,8 \text{ cm}^3$$

$$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 76,8 = 1,152 \text{ g.}$$

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g
- Masse de PS = 1,152 g.

#### 4. Pour mortier avec le polystyrène (15%)

**On a :**  $\rho_{ps} = 0,015 \text{ g/cm}^3$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

$$768 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{\text{polystyrène}15\%} \longrightarrow \text{alors } V_{\text{PS}} = 115,2\text{cm}^3$$

$$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 115,2 = 1,728\text{g.}$$

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g
- Masse de PS = 1,728 g.

**5. Pour mortier avec le polystyrène (20%)**

$$\text{On a : } \rho_{\text{ps}} = 0,015 \text{ g/cm}^3$$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

$$768 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{\text{polystyrène}20\%} \longrightarrow \text{alors } V_{\text{PS}} = 153,6\text{cm}^3.$$

$$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 153,6 = 2,304 \text{ g.}$$

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g
- Masse de PS = 2,304 g.

**6. Pour mortier avec le polystyrène (30%)**

$$\text{On a : } \rho_{\text{ps}} = 0.015 \text{ g/cm}^3$$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

$$768 \longrightarrow 100\%$$

$$V_{\text{polystyrène}30\%} \longrightarrow \text{alors } V_{\text{PS}} = 230,4\text{cm}^3$$

$$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 230,4 = 3,456\text{g.}$$

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2,25 g
- Masse de PS = 3,456 g.

**7. Pour mortier avec le polystyrène (50%)**

$$\text{On a : } \rho_{\text{ps}} = 0.015 \text{ g/cm}^3$$

Et comme le dosage de polystyrène est par rapport au volume total :

768  $\longrightarrow$  100%

$V_{\text{polystyrène}} 50\% \longrightarrow$  alors  $V_{\text{PS}} = 384\text{cm}^3$ .

$M = \rho \cdot v = 0,015 \times 384 = 5,76\text{g}$ .

- Ciment = 450 g
- Eau = 225 g
- Sable = 1350 g
- Adj = 2.25 g
- Masse de PS = 5,76 g