République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Universitaire Yahia FARES de Médéa

Faculté De Technique

Département de Génie Civil

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option: Matériaux en Génie Civil

Thème:

Etude expérimentale de la durabilité du béton léger à base de polystyrène expansé

Etudié par :

M^m^: BENRAMDHANE Fadila

M^m^: MANSOURKHODJA Fathia

Encadré par :

M^m^: HERIHIRI. O

Co-Encadreur:

Abdellah Hadj AEZ

Promotion Juin 2018

Remerciements



Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice Mme. HERIHIRI. O pour l'encadrement de ce mémoire pour son aide, sa patience et la confiance qu'elle nous a accordée.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et à touts les enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Fadila; Fathia;

Dédicace



C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail à mes chers parents mon cher mari Sid Ahmed et mes enfants Noufle et Adlene et toute la famille Mansour Khoudja

Dédicace



C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail à la mémoire de mes chers parents bien aimes à ma petite famille surtout mon cher marie, à ma chère sœur baya et son mari à tous mes frères et leurs familles et toutes les familles Benramdne et Guebour et à toutes mes amies surtout Souhila et Saidia

الملخص

تم تطوير الخرسانة بشكل مستمر منذ نهاية القرن التاسع عشر، وتعتبر اليوم أكثر مواد البناء استخدامًا في العالم. إذا كان للخرسانة القدرة على تحمل الهجوم الكيميائي، فإنه لا يزال من الضروري معرفة تحت أي ظروف وكيف، مع ذلك، هناك حالات تتدهور فيها الهياكل الخرسانية بشكل أسرع أو أشد من المتوقع بسبب عوامل مختلفة. قدمت في هذه المذكرات. وبالتالي ، يمكن لطرق أعمال التشخيص أن تحدد ، من خلال عبور تقنيات مختلفة ، حالة التدهور بسبب الهجمات الكيميائية. اعتمادا على التقدم المحرز في الضرر، سيتم استخدام التدابير الوقائية، وإعادة التأهيل، لضمان سلامة العمل. لقد أصبحت متانة الخرسانة، سواء أكانت معززة أم لا، في ظل ظروف عدوانية، موضع اهتمام كبير، وبالتالي، مجال بحث تم استكشافه على نطاق واسع. في هذا السياق ، تناسب هذه الدراسة. لذلك سعينا لفهم سلوك المجاميع في مواجهة الهجمات الكيميائية

إن الغرض من هذه المذكرات هو التذكير، التعريف الجيد، دراسة تأثير جودة الركام في البيئات العدوانية لأنها سوف تحدد أيضًا متانة الخرسانة. تعتمد هذه الدراسة على الخرسانة في البيئات العدوانية وتأثير الهجمات الكيميائية على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة

Résumé

Développé sans cesse depuis la fin du XIXe siècle, le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus répandu dans le monde. Si le béton à la capacité de résister aux attaques chimiques, encore faut-il connaître à quelles conditions et comment car il existe pourtant des situations où les ouvrages en béton se dégradent plus vite ou plus sévèrement que prévu suite à des différents facteurs qu'on a présenté dans ce mémoire. Ainsi, les méthodes de diagnostic des ouvrages permettent de quantifier, par croisement de différentes techniques, l'état de dégradation dû aux attaques chimiques. Selon l'état d'avancement des dommages, des mesures préventives, de réhabilitation, seront utilisées afin de garantir la sécurité de l'ouvrage. La durabilité du béton, armé ou non, dans les conditions agressives, est devenue un sujet d'intérêt majeur et, par conséquent, un domaine de recherche largement exploré. C'est dans ce cadre que s'insère la présente étude. Nous avons donc cherché à comprendre le comportement des granulats face aux attaques chimiques.

L'objectif de ce mémoire est de rappeler, bien définir, étudier l'influence de la qualité des granulats en milieux agressives parce qu'elles vont également fixer la durabilité du béton. Cette étude est basée sur les bétons en milieux agressives et l'influence des attaques chimiques sur les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons.

Abstract

Developed steadily since the late nineteenth century, concrete has become the most prevalent building material in the world. Knowing that concrete has the ability to withstand chemical attacks, it is still necessary to know under what conditions? And How? because there are situations in which concrete structures deteriorate quickly or severely more than expected because of several factors we presented in this thesis. Diagnostic methods via several techniques can be used to determine the state of degradation due to chemical attack. According to the state of damage, preventive procedures and rehabilitation will be used to ensure the safety of the structure. The strength and durability of concrete under difficult conditions has become a common topic of major interest and, therefore, a common area of research. In this study we go through understanding the behavior of The quality of the granules in concrete against chemical attack since this study is classified in the same major of interest.

The aim of this thesis is to mention, determine, study and explain the quality of concrete granules. Because it will also determine the strength and durability of concrete. This study focuses on the chemical attack on concrete; determination of resources.

Sommaire

Remerciements.....

Dédicace .....

Résumé.....

Sommaire.....

Liste des Tableaux .....

Liste des Figures .....

INTRODUCTION GENERALE ..... - 2 -

1 .Problématique..... - 2 -

2. Objectifs ..... - 2 -

3. Plan de travail ..... - 3 -

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1. INTRODUCTION ..... - 5 -

I.2. BETONS DE GRANULATS LEGERS..... - 5 -

I.2.1. Définition ..... - 5 -

I.2.2. L'historique du béton des granulats légers ..... - 5 -

I.3. Les différents Types de bétons légers ..... - 7 -

I.4. Composition des bétons légers..... - 9 -

I.5. Classification des bétons légers ..... - 11 -

I.6. LES GRANULATS LEGERS ..... - 13 -

I.7. Différents types de granulats légers ..... - 15 -

I.7.1. Granulats naturels ..... - 15 -

I.5.2. Granulats artificiels..... - 16 -

I.8. Fabrication du polystyrène expansé ..... - 18 -

I.9. DOMAINE D'UTILISATION..... - 23 -

I.10. LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS ..... - 25 -

I.11. -La durabilité de béton ..... - 26 -

I.11.1. Définition De La Durabilité ..... - 26 -

I.11. 2. La durabilité du béton est fonction du matériau et des conditions d'exposition, qui dépendent elles-mêmes de..... - 26 -

I.11.3. La Porosité ..... - 28 -

I.11.4.Attaque par les acides ..... - 29 -
I.12. LES BÉTONS LÉGERS DE POLYSTYRENE EXPANSE ..... - 30 -
I.12.1. L'histoire de l'invention du polystyrène expansé ..... - 30 -
I.12.2. Les types de polystyrène : ..... - 32 -
I.12.3. Le polystyrène cristal ou dense ..... - 33 -
I.12.4.Le polystyrène choc ou haut impact ..... - 33 -
I.12. 5 .Le polystyrène expansé ou PES ..... - 33 -
I.12.6. Composition chimique ..... - 33 -
I.12.7. Composition des bétons légers de polystyrène expansé ..... - 34 -
I.12.8.Propriétésdesbétonslégersdepolystyréne expansé ..... - 35 -
I.13. La durabilité ..... - 36 -
I.14. Les propriétés acoustiques ..... - 37 -
I.15. Les propriétés thermiques ..... - 38 -
Conclusion ..... - 39 -

Chapitre II : Étude expérimentale de la durabilité de béton

II.1 INTRODUCTION ..... - 41 -
II.2. Matériaux utilisées ..... - 41 -
II.2.1. Le ciment ..... - 41 -
II.2.2 Polystyrène expansé ..... - 42 -
II.2.3 sable ..... - 43 -
II.2.4 Gravier : ..... - 44 -
II.2.5 Eau de gâchage : ..... - 46 -
II.3 Formulations ..... - 46 -
II.3.1 Fabrication ..... - 46 -
II.3.2 Les corps d'épreuve ..... - 47 -
II.4 La masse volumique ..... - 48 -
II.5 Cure Appliquée ..... - 49 -
II.6 Etude de la durabilité du BPSE au contact d'une eau acide : ..... - 49 -
II.6.1 Immersion dans des fluides : ..... - 49 -
II.7 Essai de porosité : ..... - 50 -
II.7.1 DEFINITIONS ..... - 50 -
II.7.2 Principe : ..... - 51 -

II.7.3 APPAREILLAGE : - 51 -
II.7.4 dimensions des éprouvettes : - 52 -
II.7.5 MODE OPERATOIRE : - 52 -
II.7.5.1.Imbibition des éprouvettes : - 52 -
II.7.5.2.Détermination de la masse des éprouvettes immergées : - 52 -
II.7.5.3 Pesè dans l'air : - 53 -
II.7.5.4 Détermination de la masse du corps d'épreuve sec : - 53 -
II.7.5.5 Expression des résultats : - 53 -

Chapitre III : Présentation des Résultats

III.1. Introduction - 55 -
III.2. Résultats et interprétations - 55 -
III.2.1 Etude des comportements physico-mécaniques - 55 -
III.2.1.1. la masse volumique - 55 -
III.2.1.4. la résistance à la compression - 56 -
III.2.2. Etude de la durabilité du composite au contact d'une eau acide - 56 -
III.2.2.1. la masse volumique - 57 -
III.2.2.2. la perte de masse - 57 -
III.2.2.3. la porosité - 58 -
III.2.2.4. la résistance à la compression - 58 -
III.3 : Examen visuel - 59 -
CONCLUSION - 61 -
Conclusion générale - 63 -
BIBLIOGRAPHIE - 65 -

Liste des Tableaux

N° Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	L'absorption d'eau de granulat léger [3]	**11**
Tableau I.2	classification des bétons légers en fonction de la densité [3]	**12**
Tableau I.3	classification des bétons légers en fonction de la densité [9]	**12**
Tableau II.1	Caractéristiques physiques du ciment	**41**
Tableau II.2	Composition chimique du ciment	**41**
Tableau II.3	Composition minéralogique du ciment CPJ-CEM I 42.5 selon Bogue	**42**
Tableau II.4	Caractéristiques physiques du sable	**43.**
Tableau II.5	Analyse granulométrique du sable	**44**
Tableau II.6	Propriétés physique des Gravier.	**45**
Tableau II.7	Analyse granulométrique du Gravier 3/8	**45**
Tableau II.8	Analyse granulométrique Gravier 8/15	**45**

Liste des Figures

N° Tableau	Titres	N° Pages
Figure I.I	Figure I.1.Babylone, Irak, construit par l'empereur justinian au Sof Sumerians Dans le 3éme millenium .B.C.	**6**
Figure I.2	Cathédrale de rue Sofia, Hagia Commissionné 4 ème siècles A.D.à Istanbul, Turquie	**6**
Figure I.3	Le grand amphithéâtre romain, construit entre A.D. 70 et 82	**6**
Figure I.4	Pyramides au Mexique, construit COLOSSEUM pendant la période maya, à l'A.D. 624-987	**6**
Figure I.5	Mohenjo-Daro et Harappa, 2500 B.C.	**6**
Figure I.6.	Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après Short & Kinniburgh [2]	**8**
Figure I.7	Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [5]	**13**
Figure I.8	Différents granulats légers naturels	**16**
Figure I.9	Différents granulats légers artificiel	**17**
Figure I.10	Four à très haute température à1250°C, GEM, France	**18**
Figure I.11	Le polystyrène est inflammable.	**20**
Figure I-12	La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage. (Photo offerte par : Thomas P. Rylett Ltd., ingénieur-conseil en structures). [13]	**29**
Figure I.13	Les déférents type de polystyrène	**32**
Figure I.14	Structure chimique du polystyrène	**33**
Figure I.15	Structure alvéolaire du polystyrène	**34**
Figure I.16	Les différents types de composition. [9]	**36**
Figure I.17	Valeurs des facteurs de diminution acoustique de différents Matériaux	**37**
Figure I.18.	Conductivité thermique en fonction de différentes masses volumiques [K.MILLED, 2005].	**38**
Figure II.1	Ciment CPA- CEM I 42.5	**41**
Figure. II.2	Les billes de polystyrène PSE	**42**
Figure. II.3	Sable d'el-baaj	**43**
Figure. II.4	Gravier 3/8	**44**
Figure. II.5	Gravier 8/15	**44**
Figure. II.6	Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/15 et sable)	**46**
Figure. II.7	Malaxeur	**47**
Figure II.8	les éprouvettes cubiques pour l'essais contact de 5% d'acide HCL	**47**

Figure II.9	découpage des éprouvettes pour l'essai de la porosité	**48**
Figure II.10	La balance	**49**
Figure II.11	séchage des éprouvettes dans une étuve à 105°C pendant 20 heures.	**49**
Figure II.12	Pont, placé au –dessus du système de suspension de la balance.	**51**
Figure II.13	Imbibition des éprouvettes	**52**
Figure III.1	Evolution de la masse volumique en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21,28 et 90 jours.	**55**
Figure III.2	Evolution de la résistance Rc en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21,28 et 90 jours	**56**
Figure III.3	Evolution de la masse volumique en fonction de dosage de PSE à 7,14,21,28 et 90 jours dans le milieu acide.	**57**
Figure III.4	Evolution de la perte de masse en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21, 28 et 90 jours dans le milieu acide.	**57**
Figure III.5	Evaluation de la densité et la porosité en fonction de PSE .	**58**
Figure III.6	Evaluation de la résistance RC en fonction de PSE à 90 jrs	**58**
Figure III.7	Photographie de l'échantillon de béton témoin	**59**
Figure III.8	Photographie de l'échantillon en béton allégé par 5% de PSE	**59**
Figure III.9	Photographie de l'échantillon en béton allégé par 15% de PSE	**60**
Figure III.10	Photographie de l'échantillon en béton allégé par 25% de PSE	**60**
Figure III.11	Photographie de l'échantillon en béton allégé par 35% de PSE	**60**
Figure III.12	Photographie de l'échantillon en béton allégé par 45% de PSE	**61**

INTRODUCTION Générale

INTRODUCTION GENERALE

1 .Problématique

Les bétons légers normalement réalisés par trois manières, en employant les agrégats légers, l'aération ou le gaze, ou en réduisant la partie fine du granulat. Dans chacun des trois cas la réduction de la densité du béton est réalisée par augmentation de vides d'air dans le béton. En d'autres termes, il comporte des pores ou vides. Ces pores sont déterminants pour la résistance et la durabilité du béton léger. La durabilité des bétons légers exige un contrôle efficace de tous les facteurs susceptibles d'affecter son comportement dans le temps.

La confection des bétons légers à partir de différents granulats légers naturels ou artificiels va réduire la grande consommation des granulats usuels. Ceci répond d'une part, au souci d'économie des ressources naturelles en granulats et d'autre part l'allégement de certains éléments de la construction.

2. Objectifs

Le but de cette étude est d'examiner la durabilité du béton de granulat léger. Celle-ci est généralement contrôlée sur un composite durci. La connaissance des facteurs d'influence en matière de durabilité est primordiale, et doivent donc faire l'objet d'un contrôle suivi, ces facteurs sont la composition et la compacité du béton léger. Alors l'étude est basée sur l'élaboration d'un nouveau type de composite cimentaire, à base de Polystyrène expansé, il s'agissait d'évaluer l'influence de ces granulats sur les propriétés physico-mécaniques, ainsi que sur les facteurs de durabilité. L'évaluation de cette durabilité nécessite la connaissance des différents paramètres qui interviennent dans le mécanisme de dégradation d'un matériau, notamment les propriétés de transport.

3. Plan de travail

Ce travail est divisé en trois chapitres étroitement liées, le premier chapitre Présente une synthèse sur l'état de recherches relatives au béton léger BL, Nous Exposons un aperçu détaillé sur les BL en tant que nouveau matériau. Puis en fait un Survol sur les bétons de granulats légers et on expose leurs performances.

Le deuxième chapitre regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant Notre étude, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais de la durabilité.

Dans le troisième chapitre on a présenté les différents résultats des essais effectués sur la durabilité du notre béton tel que l'agressivité d'un acide fort et la porosité, et on a montré l'objectif visé dans cette étude ainsi que les différents Paramètres étudiés. Enfin, nous exposons en détail les résultats obtenus et leurs Discutions.

Le manuscrit se termine par une conclusion générale rassemblant une synthèse Des résultats de nos essais.

Chapitre I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION

Le béton conventionnel est un matériau relativement simple à fabriquer dont les composantes sont bien connues. Cependant, l'arrivée de nouvelles contraintes techniques, économiques et environnementales a conduit les chercheurs à expérimenter de nouveaux matériaux au fil des années. Les bétons légers permettent de réaliser un gain de poids pour l'ouvrage auquel ils sont destinés. Ils sont également utilisés pour l'isolation thermique, la conductivité variant dans le même sens que la densité. L'objectif de ce chapitre est de donner une description générale des bétons légers et ses caractéristiques.

I.2. BETONS DE GRANULATS LEGERS

I.2.1. Définition

Les bétons légers sont des bétons à haute porosité et dont la masse volumique se situe dans les limites de 500 à 1800 kg/m3. Suivant le mode de création de la porosité artificielle les bétons légers se subdivisent selon les groupes suivants : bétons légers à agrégats légers et poreux ; bétons à gros (béton caverneux), préparation avec un gros agrégat compact ou poreux d'une seule fraction sans sable; bétons cellulaires dont la structure est représentée par des cellules crées artificiellement et remplaçant les grains des agrégats. **(Komar, 1978)**. **[1]**

I.2.2. L'historique du béton des granulats légers

Le béton de granulat léger, BGL, n'est pas une nouvelle invention en technologie de béton. On l'a connu depuis des périodes antiques, ainsi il est possible de trouver un bon nombre de références en liaison avec l'utilisation de BGL. Il a été fait en utilisant les agrégats normaux d'origine volcanique tels que la ponce, le scoria, etc.…Les Sumériens ont employé ceci dans le bâtiment Babylone dans le 3ème millénium A.C. (fig. I.3).Les Grecs et les Romains ont employé la ponce dans la construction des bâtiments. Certaines de ces magnifiques structures de l'antiquité existent toujours, comme la cathédrale de Sainte Sofie « ou le Hagia Sofia », à Istanbul, Turquie, construite par deux ingénieurs, Isidore de Miletus et Anthemius de Tralles, commissionné par l'empereur Justinian au 4ème siècle A.D., (fig. I.4) ; le temple romain, Panthéon, qui a été érigé en années A.D. 118 à 128 ; l'aqueduc prestigieux, Pont du Gard, ca établi. A.D.14 ; et le grand amphithéâtre romain, Colosseum, construit entre A.D. 70 et 82 (figs. I.5, I.6, et I.7).En plus de la construction des bâtiments, les Romains ont utilisé les agrégats naturels légers et les vases creux à argile pour leur "opus Caementitium" afin de

réduire le poids. Ceci a été également employé dans la construction des pyramides pendant la période maya au Mexique (fig. I.8). [1]

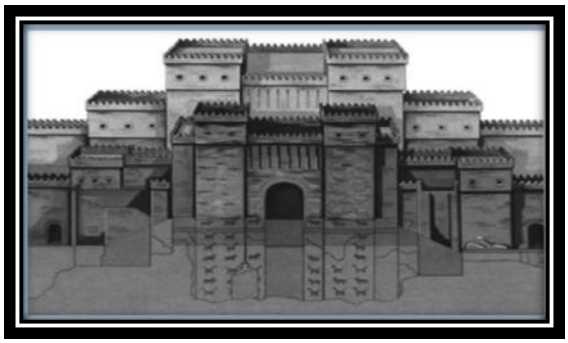


Figure I.1.Babylone, Irak, construit par l'empereur justinian au Sof Sumerians Dans le 3éme millenium .B.C.



Figure I.2. Cathédrale de rue Sofia, Hagia Commissionné 4 ème siècles A.D.à Istanbul, Turquie



Figure I.3.Le grand amphithéâtre romain, construit entre A.D. 70 et 82



Figure I.4. Pyramides au Mexique, construit COLOSSEUM, pendant la période maya, à l'A.D. 624-987.



Figure I.5. Mohenjo-Daro et Harappa, 2500 B.C.

Des briques poreuses d'argile ont été produites longtemps avant l'époque chrétienne, Pendant la civilisation de Vallée Indus à peu près 2500 av. J.-C. Ceux-ci ont été employés

dans la construction de deux villes, Mohenjo-Daro et Harappa (Figure I.5). On le postule que ces briques poreuses ont été écrasées et ont employé en tant que agrégats de poids léger dans la maçonnerie. Bien qu'il soit difficile d'évaluer l'origine du BGL, ce ne serait pas une exagération pour dire que ses racines ont lieu de la période antique. Avec l'augmentation de la demande de BGL et de l'indisponibilité des agrégats, la technologie pour produire les agrégats légers a été développée. En Allemagne, au 19ème siècle, des morceaux poreux d'argile ont été produits par évaporation rapide de l'eau. Kukenthal de Brunswick a obtenu un brevet en 1880. L'utilisation industrielle des agrégats légers normaux en Allemagne a été commencée en 1845 par Ferdinand Nebel à partir de Koblenz qui a produit des blocs de maçonnerie à partir de la rénovation, avec la chaux brûlée comme reliure. En Islande, la ponce a été employée dans des industries du bâtiment locales depuis 1928. [1]

Le béton est traditionnellement connu comme une lourde et froide matière grise ayant de bonne résistance mécanique. Néanmoins, On sait généralement que le béton n'est pas nécessairement les blocs lourds et tranchants justes de gris. Il peut acquérir n'importe quelles formes, couleur, densité, et résistance. La faible densité de la matière engendre une bonne isolation thermique et permet à la réduction de poids des structures. Aussi, l'épaisseur des toitures et des murs extérieurs peut être réduites. Par conséquence, Si on garde la même épaisseur, un degré plus élevé d'isolation thermique sera réalisé. La densité, par exemple, peut s'étendre de 300 à 3000 kg/m3 ; la conductivité thermique de 0.1 à 3 W/m.K ;et la résistance de 1 à 100 MPa ou même plus. La densité est la plupart du temps commandé par le type d'agrégat utilisé. La force dépend également partiellement du type d'agrégats utilisés pour faire le béton. Une gamme de densité et de force de béton est indiquée dans fig. I.5. Les agrégats légers sont l'ingrédient de base pour la fabrication de BGL. [1]

I.3. Les différents Types de bétons légers

On diminue la masse volumique du béton en remplaçant une certaine quantité de matériau solide par de l'air. Les trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton sont : dans la matrice (béton cellulaire), entre les gros granulats (béton caverneux ou sans fines, c.-à-d. sans sable) et dans les granulats (béton de granulats légers). La figure I.6 illustre ces trois types de béton. Evidemment, il est possible d'effectuer des combinaisons comme un béton léger de type caverneux fabriqué en utilisant des granulats légers. L'augmentation du volume d'air, ou des vides, s'accompagne d'une diminution de la résistance du matériau. Les bétons légers peuvent être utilisés dans les structures lorsque leur résistance est élevée ou bien constituer une isolation particulière efficace lorsqu'ils sont légers. [2]

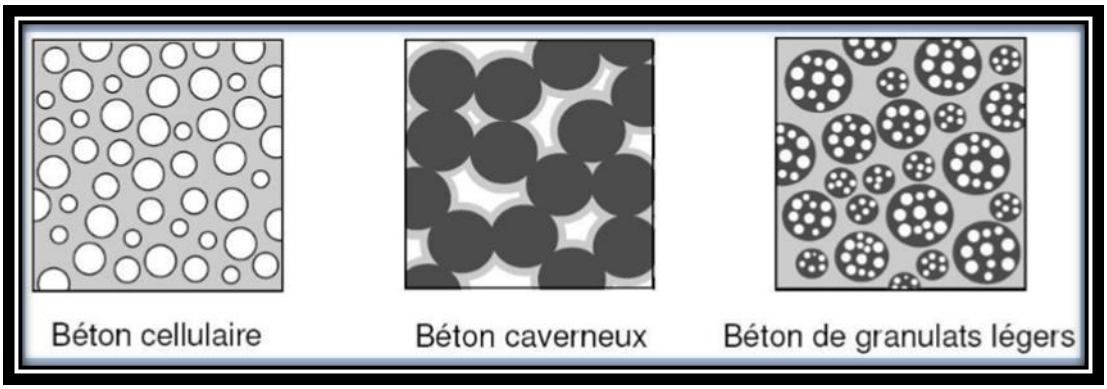


Figure I.6.Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après Short & Kinniburgh [2]

❖ **Le béton caverneux**

Les bétons caverneux sont obtenus en supprimant la totalité ou une partie du sable dans le béton (Connon, 1973). Un béton ne contenant pas de sable produit une agglomération de gros granulats dont les particules sont recouvertes par un film de pâte de ciment d'une épaisseur de 1 à 3 mm. Cette substitution crée à l'intérieur du béton de larges cavités (pores), responsables de la diminution de la masse volumique et de la baisse de résistance à la compression [11]. Ces bétons sont composés d'un mélange de granulats normaux ou légers, enrobés de pâte de ciment les collant entre eux. La pâte de ciment ne remplit pas la totalité des vides interstitiels, et de l'air reste contenu entre les granulats. Ces bétons ont donc une porosité élevée; ils sont drainant [M.SHINK, 2003]. Ils sont fabriqués avec un minimum d'eau pour éviter le lavage de la pâte de ciment sur les granulats. Le béton caverneux est un des types de béton léger obtenu quand on ne met pas de granulats fins dans le mélange. Ce béton ne compte que du ciment, de l'eau et de gros granulats. Il existe donc de gros vides au sein de la masse qui sont responsables de sa faible résistance. Toutefois la minuscule dimension de ces vides empêche tout mouvement capillaire de l'eau. La masse volumique du béton caverneux dépend de sa granulométrie.

❖ Les bétons de granulats légers

D'une masse volumique de 1500 à 1900 kg/m3 (2200 à 2600 kg/m3 pour les bétons ordinaires), ont une résistance comparable aux bétons de granulats rigides tout en étant de 25 à 35 % plus légers. Ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies. En effet, la réduction de la charge morte sur les structures permet entre autres d'utiliser des portées plus longues ou de diminuer les sections des éléments porteurs, de réduire la quantité d'acier d'armature et même les

dimensions des fondations. Utilisés en préfabrication, les bétons légers permettent aussi de diminuer les coûts de transport et d'installation. En plus de sa légèreté, le béton léger présente une bonne isolation thermique par rapport au béton normale. Toutes ces caractéristiques expliquent l'intérêt grandissant que l'on porte au béton léger, notamment pour la réhabilitation. Les résistances des bétons légers décroissent avec la densité qui peut descendre jusqu'à 400 kg/m3. Du point de vue thermique, il existe une corrélation directe entre la densité, la résistance à la compression et la conductivité thermique (qui caractérise le pouvoir isolant). En effet, la résistance à la compression et la conductivité thermique varient en même temps que la densité. Lorsque celle-ci diminue, les résistances mécaniques deviennent plus faibles ainsi que la conductivité thermique, ce qui augmente le pouvoir isolant (plus d'air est piégé dans le béton). [3]

❖ Le béton cellulaire

Le béton cellulaire est issu de longues recherches, entamées il ya plus de 150 ans. A cette époque, zernikov étudie des mortiers à base de chaux vive et de sable portés à haute température [SFBC, 2005]. Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice ou légers) et de ciment Portland. Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important. On cite parmi Ces agents, la Béton Cellulaire Béton caverneux Béton de granulats légers 30 poudre d'aluminium ou soit par gâchage avec de l'eau savonneuse. La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles. Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier.

Est un matériau de construction 100 % naturel, sain et à faible impact sur l'environnement. Il est destiné au gros œuvre sous la forme d'un système constructif complet : blocs pour murs extérieurs et de refends, planchers et toiture. Utilisé tout aussi bien par des auto constructeurs et des artisans que prescrit par des maîtres d'œuvre, il est accessible à tous, séduit les amateurs de maison saine et concilie béton et nature... [3].

I.4. Composition des bétons légers

Les bétons légers sont obtenus en jouant sur la composition (bétons caverneux) ou sur l'emploi de granulats allégés (des billes de schiste expansé, d'argile expansée ou de

polystyrène, voire des particules de liège ou de bois remplacent les gravillons habituels). Des adjuvants comme les entraîneurs d'air peuvent aussi être ajoutés pour un allègement maximum. On peut également créer des vides par une réaction provoquant un dégagement gazeux : c'est le cas du béton cellulaire.

D'une façon générale, le principe de la détermination des proportions du mélange pour confectionner des bétons de granulats légers est pratiquement le même que celui concernant les bétons traditionnels ; toutefois un paramètre nouveau, la densité souhaitée, appareil dans l'énoncé du problème et c'est pourquoi nous avants étudié une méthode de composition prenant en compte ce paramètre. [3]

Le calcul des quantités de granulats s'effectue en volume absolu, mais le dosage pondéral nécessite la connaissance de la masse spécifique des granulats pré mouillés qui, en général, n'est pas connue avec une très grande précision. Ces granulats présentent presque tous, en effet, une tendance très marquée à l'absorption d'eau. Par exemple, pour un granulat d'argile expansée 10/20 mm l'absorption en poids est indiquée en valeurs moyennes, dans le tableau I.1. [3]

Par imbibition sous vide, l'absorption peut dépasser 75% pour les plus gros granulats. Cette tendance est due à la porosité << ouverte des granulats et elle est moins marquée lorsque ceux-ci sont superficiellement comme « vitrifiés ». C'est-à-dire, présentent une surface lisse peu « ouverte ». [3]

De plus, selon le degré d'imbibition le foisonnement peut prendre une valeur importante surtout pour les éléments fins comme les sables concassés de granulats légers. [3]

Il en résulte essentiellement deux conséquences :

- Le dosage pondéral des granulats est délicat et peut être source d'erreur selon le degré d'imbibition ; il est préférable, en générale, de prévoir un dosage volumétrique à moins de pouvoir contrôler efficacement le pourcentage d'eau absorbée et d'en tenir compte en majorant d'autant le poids des granulats supposés secs dans la formule de dosage.
- L'absorption importante qui se manifeste des le début du gâchage diminue progressivement et rapidement le dosage en eau inter granulaire et de ce fait la plasticité du béton. Il est donc conseillé d'humidifier préalablement ces matériaux de façon a ralentir cette absorption d'eau et de stabiliser à peu prés la plasticité du matériau au moins pendant sa période d'emploi que l'on s'efforcer de rendre aussi courte que possible : certains professionnels préconisent. Pour l'argile expansée un premouillage entrainant une

absorption d'eau de l'ordre de 10 à 15% en poids. D'autres sont partisans d'employer des granulats saturés égouttés. [3]

Cependant. Ces matériaux sont trop différents de l'un à l'autre pour qu'une règle commune puisse leur être appliquée et une fois rapidement déterminée une formule de dosage approximativement valable. L'expérimentation par des essais d'étude prend alors une part encore plus importante et nécessaire que pour les bétons classiques de granulats denses. [3]

Absorption d'eau en poids par immersion pour un granulat léger (eau totale retenue absorbée et adsorbée). Ces valeurs sont données à titre indicatif car elles varient sensiblement d'un granulat à l'autre et selon que le granulat est plus au moins égoutté. [3]

Tableau I.1. L'absorption d'eau de granulat léger [3]

Au bout de	5 minutes	1 heure	8 heures	1 jour	7 jours	28 jours
Absorption forte	10 %	15 %	20 %	23 %	30 %	45 %
Absorption faible	5 %	7 %	10 %	12 %	15 %	15 %

I.5. Classification des bétons légers

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories. En général le béton peut être classé en quatre groupes, selon sa masse volumique :

- béton très lourd : > 2 500 kg/m3 ;
- béton lourd (béton courant) : entre 1 800 et 2 500 kg/m3 ;
- béton léger : = 500 à 1 800 kg/m3 ;
- béton très léger : < 500 kg/m3.

Les bétons légers ont des caractères assez différents de ceux des bétons traditionnels. Un béton léger est défini par deux caractères de base, dont dépendent les autres caractères ou données nécessaires au calcul. Il s'agit : de la masse volumique sèche, désignée par bs ; de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours. La norme EN 206 classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, fonction de leur masse en Kg/m3. [3]

Tableau I.2 : classification des bétons légers en fonction de la densité [3]

Classe de densité	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Kg/m^3	901 à 1000	1001 à 1200	1201 à 1400	1401 à 1600	1601 à 1800	1801 à 2000

La nouvelle version de la norme EN 206 classe les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquées dans le tableau I.3:

Tableau I.3 : classification des bétons légers en fonction de la densité [9]

Classe de masses volumiques	LC 1, 0	LC1, 2	LC1, 4	LC1, 6	LC1, 8	LC2, 0
Kg/m^3	>800 et ≤1000	>1000 et ≤1200	>1200 et ≤1400	>1400 et ≤1600	>1600 et ≤1800	>1800 et ≤2100

Une autre classification pour béton léger basée sur la masse volumique est logique, puisque la masse volumique et la résistance sont étroitement liées, ce qui explique pourquoi la norme ACI 213R -8713.141 classifie les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m3) en trois catégories :

Le béton léger de structure : 1350 – 1900 kg/m3 Dont la masse volumique est comprise entre 1350 et 1900 ce béton est utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression minimale de 17 MPa.

Le béton léger de faible masse volumique : 300 – 800 kg/m3 A une masse volumique comprise entre 300 et 800 kg/m3 n'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique, Rc < 7 MPa.

Le béton de résistance moyenne se situe entre les deux : Sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPa.



Figure I.7. Masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [5]

I.6. LES GRANULATS LEGERS

La fabrication d'un béton léger repose essentiellement sur l'utilisation de granulats légers. Considérant l'importance de ceux-ci, il convient donc d'exposer les principales caractéristiques et les types de granulats utilisés dans la confection de bétons de granulat légers.

La norme européenne définit le granulat comme le « matériau granulaire utilisé en construction. Un granulat peut être naturel, artificiel ou recyclé » Ces granulats sont de dimension, de forme et de nature diverses, Comme les granulats représentent à peu près 70 % du volume total d'un béton, leur influence est significative. En effet, le granulat représente l'ossature du béton. Les granulats utilisés doivent être composés de particules propres, dures, résistantes et durables. De plus, elles doivent être exemptes de tout produit chimique nuisible. La surface des particules doit être exempte d'argile ou de tout autre matériau fin qui pourrait nuire à l'hydratation et à l'adhérence de la pâte de ciment. Les granulats influencent le dosage, le coût et les propriétés du béton à l'état frais et durci. La granulométrie, la forme, la texture, la densité, l'absorption, la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion, la réactivité, la propriété thermique et la résistance au gel sont autant de caractéristiques d'un granulat qui vont influencer directement la formulation du béton [11]. En particulier, la granulométrie et la grosseur nominale maximale d'un granulat exercent une influence directe sur la rhéologie à l'état frais du béton. Toute variation granulométrique modifie directement l'uniformité du béton. En général, les granulats présentant une granulométrie régulière donnent les meilleurs résultats. La forme et la texture d'un granulat influencent davantage la rhéologie à l'état frais d'un béton fraichement malaxé que celle d'un béton durci. Un béton fabriqué avec des granulats dont les particules sont rugueuses, anguleuses et allongées demande plus d'eau qu'un

béton fabriqué avec des granulats lisses, arrondis et compacts. Du point de vue de la rhéologie à l'état fiais, les particules anguleuses nécessitent donc plus de ciment pour maintenir le même rapport eau/liant. De même, les bétons fabriqués avec des granulats anguleux ou a granulométrie très discontinue peuvent être difficiles à pomper. Par contre, l'adhérence pâte/granulat est souvent meilleure dans le cas des particules rugueuses et anguleuses comparativement aux particules lisses et arrondies. Il importe donc de tenir compte de ces aspects lors de la sélection des granulats pour un béton [11]. Deux autres propriétés intrinsèques du granulat sont essentielles à la formulation du béton : la densité et l'absorption. La densité sert au calcul du dosage des bétons. La majorité des granulats usuels ont des densités comprises entre 2,40 et 2,90. Le volume des vides varie généralement de 30 à 45 % pour les gros granulats et de 40 à 50 % pour les granulats fins. Le volume des vides entre les particules va donc influencer le besoin en pâte. Afin de pouvoir contrôler la quantité nette d'eau de gâchage et calculer correctement le dosage du mélange, on doit aussi tenir compte de l'absorption et de l'humidité superficielle des granulats. Le degré d'absorption d'un granulat varie généralement de 0,2 à 2 %. De façon à respecter les quantités calculées, l'eau de gâchage utilisée dans les bétons doit être ajustée en fonction des conditions d'humidité des granulats, Faute de maintenir la teneur en eau constante, la résistance à la compression. La maniabilité et les autres propriétés du béton varieront d'une gâchée à l'autre. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas des granulats légers où le pourcentage d'absorption est élevé. Les granulats doivent présenter une bonne résistance aux cycles de gel-dégel, à l'abrasion, au retrait, aux acides et au feu. II est difficile de trouver un granulat pouvant répondre à tous ces critères. Cependant, on peut identifier certaines caractéristiques essentielles d'un granulat qui sont des indicateurs d'une bonne qualité, notamment sa faible porosité et sa dureté. En effet, un béton fabriqué avec des granulats durs et de faible porosité sera susceptible de résister à plusieurs types d'agression. Certaines substances peuvent être présentes dans les granulats et réagir chimiquement avec l'un des constituants du béton. Ces substances réactives produisent :

1) Des variations volumétriques importantes de la pâte, des granulats ou des deux,
2) Des entraves à l'hydratation normale du liant,
3) Des sous-produits indésirables. La réaction la plus connue est la réaction alcali-granulat (RAG) qui entraîne la détérioration du béton lorsque des minéraux réactifs de certains granulats réagissent avec les alcalis du ciment [11].

Pour fabriquer un béton ultra- léger, il est évident que les granulats choisis, qu'ils proviennent d'une source naturelle, artificielle ou qu'ils proviennent de matériaux recyclés, doivent être légers. En plus de la légèreté, ceux-ci devront également rencontrer d'autres exigences telles que le coût, la disponibilité et les propriétés mécaniques, chimiques et rhéologiques typiques aux granulats usuels. La fabrication d'un béton léger repose essentiellement sur l'utilisation de granulats légers .leur utilisation dans le béton a pour but de diminuer de façon plus ou moins importante, selon les granulats légers choisi, la masse volumique. Par contre, cette réduction de la masse volumique a pour conséquence de diminuer la résistance à la compression. Les granulats légers sont caractérisés par une structure poreuse, ce qui explique leur légèreté .ils peuvent être d'origine naturelle ou artificielle dont la masse apparente est inférieure à 1000 kg/m3 En pratique, les masses volumique apparentes s'échelonnent entre 10kg/m3 (polystyrène expansé) et 900 kg/m3 (granulat de pouzzolane, de laiter expansé ….), Alors que pour les granulats silico –calcaires habituels elles sont comprise entre 300 et 1600 kg/m3 (suivant la dimension et la forme des granulats)

Les granulats légers sont très nombreux et ils se différencient les uns des autres par leur origine, leur composition, leur forme, leur état de surface, leur structure, leur porosité, leur densité, leur résistance,…

I.7. Différents types de granulats légers

Nous pouvons distinguer les granulats légers selon leur origine : naturelle ou artificielle

I.7.1. Granulats naturels

Certaines roches, comme la pierre ponce, ont à l'état naturel des densités faibles (Inférieures à 2) ; en les concassant, on obtient donc des granulats légers. Il existe également d'autres matériaux naturels dans certains pays qui peuvent être utilisés comme granulats légers pour des utilisations locales. (La Figure I.10) présente quelques exemples de granulats naturels : OPS (Oïl Palm Shell), la diatomite et le laitier volcanique.



Diatomite



Pierre ponce



Laitier volcanique

Figure I.8. Différents granulats légers naturels

- **Pierre ponce**

C'est une lave volcanique alvéolée de couleur gris clair ; par concassage on obtient des granulats à béton (gravier ou sable) ; sa masse volumique (en vrac) varie de 500 à 800 kg /m3

I.5.2. Granulats artificiels

Des granulats légers peuvent être également produits artificiellement, soit à partir de matières premières naturelles comme l'argile, le schiste, l'ardoise, ou des matières spéciales dans certains régions, comme la vase à Taiwan (Neapolitan Yellow Tuff) en Italie; soit à partir de sous-produits industriels comme les laitiers, les cendres volantes frittées ou encore l'EPS (Polystyrène Expansé), (Figure I.9).

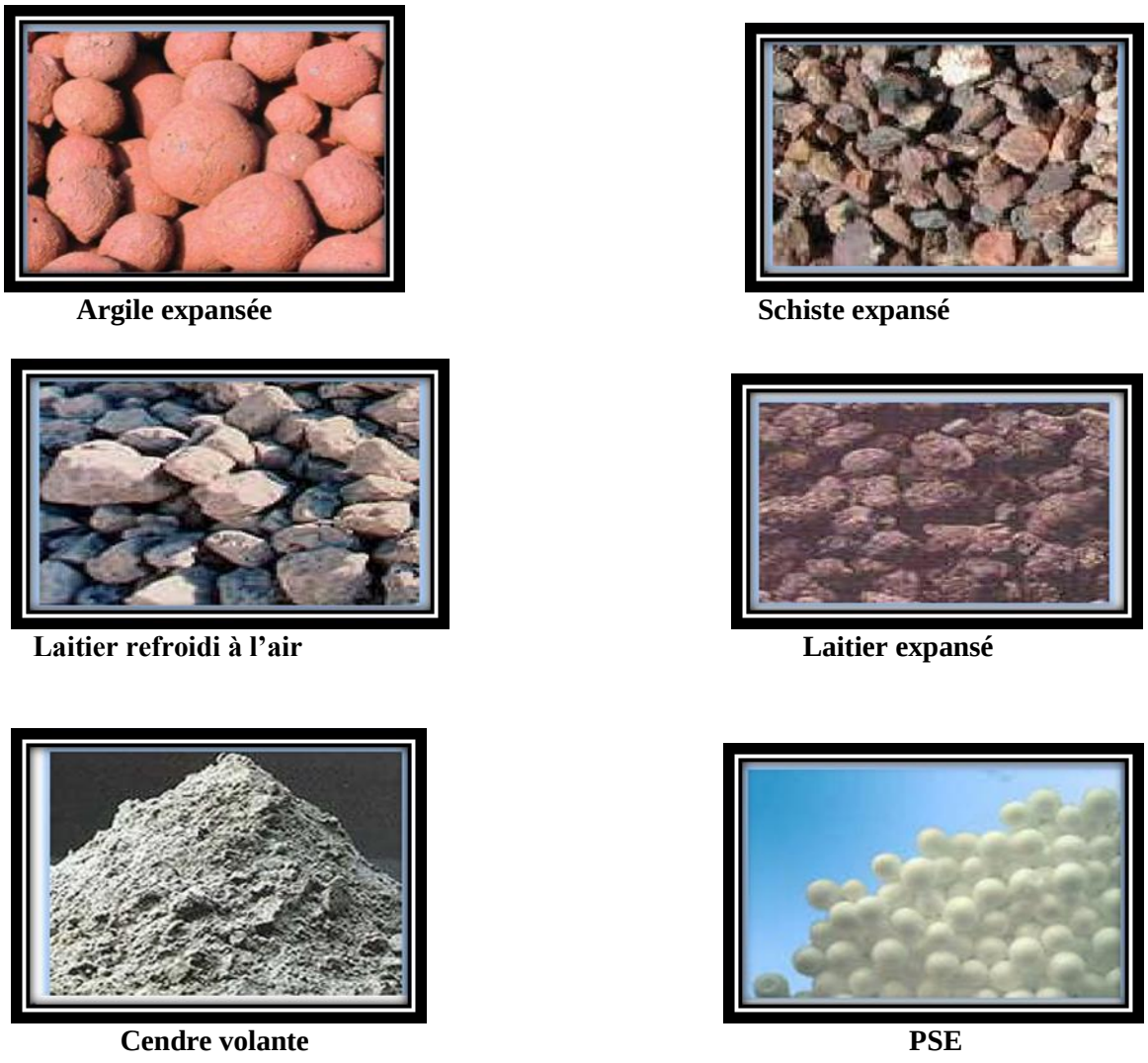


Figure I.9. Différents granulats légers artificiel

Les granulats légers artificiels fabriqués à partir de matières premières naturelles sont produits en formant tout d'abord une pâte dense par mélange d'une poudre avec de l'eau. Cette pâte est ensuite fractionnée en petits agrégats de quelques millimètres de taille, puis passée dans un four à très haute température (1000°C à1250°C environ), (Figure I.10). L'expansion de l'eau et la vitrification du minéral aboutissent à la formation de granulats plus ou moins sphériques, constitués d'une coque renfermant des bulles gazeuses dispersées dans une matrice. En jouant sur la marche des fours, on favorise plus ou moins l'expansion.

Il apparaît alors une corrélation entre la taille moyenne des grains et leur densité absolue, les plus gros étant les moins denses. Les granulats artificiels sont généralement assez ronds ; les argiles expansées sont lisses et les schistes sont parfois plus rugueux. Leur masse volumique en vrac varie entre 300 et 800 kg/m3.



Figure I.10. Four à très haute température à1250°C, GEM, France

SOUS Les granulats de polystyrène expansé

Le polystyrène a été découvert en 1930 et le polystyrène expansible en 1951. Le polystyrène expansé est un agrégat artificiel. Il est employé en remplacement total ou partiel des agrégats naturels. Ces agrégats artificiels sont légers et mieux adaptés aux conditions économiques du monde moderne pour alléger et améliorer certaines caractéristiques de résistance des bétons. [5]

Le Polystyrène expansé s'emploie sans changer les règles traditionnelles d'usage des bétons. Il est plus léger que les agrégats naturels, calibré aux diamètres variant de1, 5 à 2,5 mm il est constitué de billes enrobées d'adjuvants spécifiques de couleur marron clair. Le Polys conditionné dans des sacs de 100 l, de masse 3 kg à une masse volumique apparente de 30 kg/m3, devant celle du sable de 1700 30 kg/m3

Le polystyrène est le plus commun de la famille des polymères styréniques. Cette famille contient les différents copolymères du styrène : styrène-butadiène (SBR), styrène acrylonitrile (SAN), acrylonitrile butadiène styrène (ABS), acrylonitrile styrène acrylate (ASA), etc.[5]

Dans cette étude nous sommes intéressons de ce type des granulats légers artificielle.

I.8. Fabrication du polystyrène expansé

La transformation du polystyrène en élément isolant (polystyrène expansé) comprend les étapes suivantes :

Pré- expansion : Le produit de base subit une phase de pré- expansion. Celle- ci s'effectue dans un prémousseur muni d'une arrivée de vapeur, d'une arrivée d'air et d'un système d'introduction des perles brutes. L'opération est faite en continu à une vitesse de 250 Kg/

heure et à une température de 97 °C. Le produit obtenu a une densité comprise entre 17 et 18 Kg/ m3.

Stockage intermédiaire : Les perles ainsi pré- expansées sont ensuite stockées dans des silos pour y subir un « mûrissement » permettant la mise en équilibre des pressions entre les cellules dans lesquelles le porogène a en grande partie disparu sous l'action de la température et le milieu extérieur.

Seconde expansion : Elle est faite selon la même méthode que précédemment mais dans des appareils de volume plus important. C'est au cours de cette opération que les perles sont façonnées suivant le produit que l'on désire obtenir.

Propriétés du polystyrène

Les propriétés remarquables du polystyrène sont notamment :

- Sa faible masse volumique située généralement, suivant les applications, entre 10 et 30 kg/m3.

- Son pouvoir isolant thermique.

- Ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs).

- Son insensibilité de mise en forme (moulage, découpage, …).

Billes de polystyrène

Les billes de polystyrène sont obtenues par expansion de billes pleines. L'expansion est arrêtée lorsque la granulométrie souhaitée est atteinte. Elles sont parfaitement sphériques, La coupe d'une bille révèle une structure alvéolaire et une enveloppe constituée de deux membranes. Ceci explique d'une part son extrême légèreté et d'autre part sa totale imperméabilité à l'eau. En effet, des essais réalisés par Yamura et Yamauchi ont montré que des billes de polystyrène immergées dans l'eau pendant un mois n'ont pas absorbé d'eau. Enfin, ces billes sont hydrophobes et présentent des charges électrostatiques en surface.

.Les caractéristiques de polystyrène expansé :

Le béton léger polystyrène est un mortier prêt à l'emploi hors du champ d'application de la norme NF EN 206-1 et des normes ―mortiers‖ en vigueur pour les applications en remplissage. Il est dans le champ d'application du DTU 26.2 (NF P 14-201-1) ―Chapes et dalles à base de liants hydrauliques‖ pour ses utilisations en ravoirage ou en chape. Le béton

léger polystyrène est un mortier léger constitué de ciment, de billes de polystyrène expansé, d'adjuvants appropriés, et éventuellement de sable. Les densités du béton léger polystyrène varient habituellement de 400 à 1200 kg/m3. Il est ininflammable. Jusqu'à 600 kg/m3, il peut être utilisé en isolation thermique (conductivité thermique lambda utile ≤0,15 W/K.m). Selon la masse volumique, les résistances à la compression varient de 0,5 à 7 MPa et les conductivités thermiques de 0,1 à 0,6 W/K.m. Le béton léger polystyrène est un produit homogène, fabriqué en centrale à béton et livré sur chantier par camion-toupie.



Figure I.11. Le polystyrène est inflammable.

Les plastiques

Composition et origine : Il existe deux groupes de plastique : tes thermodurcissables, dont le durcissement, obtenu si chaud, est irréversible, et les thermoplastiques, qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur et durcissent au froid de façon réversible. Les matières plastiques occupent une place importante dans l'ensemble des produits de consommation. En 1996, près de 1 357 000 tonnes de plastique ont été consommées au Québec, dont 322 000 tonnes en produits d'emballage. De ce nombre, 52 000 tonnes proviennent des secteurs résidentiels et 270 000 tonnes de celui des industries (Recyc- Québec)

- ✓ **1. Méthode de fabrication :** Pour les thermoplastiques, la méthode consiste à réduire les produits récupérés en petites particules et de les faire fondre pour obtenir une toute nouvelle résine pouvant servir au moulage de nouveaux produits. Puisqu'il est impossible de les faire refondre, les thermodurcissables sont concassés en particules de dimension désirée et sont utilisés comme matériaux de remplissage.

- ✓ **2. Propriétés du béton à base de plastique :** La documentation sur le béton confectionné avec des granulats à base de matières plastiques se concentre sur les propriétés mécaniques du béton (Soroushian et coll., 1994). Ces recherches visent principalement à valider l'influence d'lm substitution du granulat fin par une matière plastique et d'en vérifier l'incidence sur les propriétés du béton durci. Dans l'ensemble, l'ajout de matières plastiques contribue a diminuer le retrait au séchage du béton. 11 semble que les particules de plastique puissent agir comme renfort permettant de freiner la microfissuration au sein de la pâte de ciment hydraté : les particules relativement plates, dont la dimension nominale est de 1 O mm, forment un pont en travers des fissures. Une substitution de 20% du sable par des matières plastiques améliore la résistance à la flexion du béton d'un facteur de 4 à 5 comparativement au béton de contrôle et d'un facteur 8 lorsque ce pourcentage passe a 40 %. L'incorporation de matières plastiques s'est toutefois révélée néfaste quant a la résistance à la compression. Cette diminution de la résistance peut être attribuée, d'une part, à la diminution de la masse volumique et, d'autre part, à la faible rigidité des matières plastiques (module d'élasticité inférieur à 1 GPa). Cependant, si l'on considère la baisse de résistance du béton en relation avec la diminution de sa masse volumique, on constate une légère augmentation de la résistance spécifique de ce béton. Par ailleurs, on note un apport positif quant à la résistance aux impacts au-delà de la fissuration initiale. Cet effet s'explique de la même manière que pour le retrait de séchage, c'est-à-dire que les particules plastiques servent de pont à l'intérieur de la fissure.

Les caoutchoucs

Composition et origine - Les caoutchoucs peuvent être utilisés dans le béton comme matériaux de substitution à la masse granulaire. La plus grande source de caoutchouc Susceptible d'être recyclée est sans contredit les résidus de pneu. Les pneus représentent une excellente source d'approvisionnement pour la fabrication des bétons. Les pneus sont composés d'un mélange très complexe d'élastomères, de fibres de textiles, et de fils d'acier. Parmi ces élastomères, on trouve en grande partie le styrène-butadiène incorporé pour ses propriétés de traction et de résistance à l'abrasion Lee et coll. (1998). De plus, le caoutchouc offre des caractéristiques intéressantes du point de vue de la densité et de l’élasticité.

✓ 1. Méthode de fabrication

- Le pneu est introduit dans un appareil qui, dans une première étape, retire la carcasse d'acier. Ensuite, le caoutchouc est déchiqueté en particules de différentes dimensions que l'on passe a travers une série de tamis. Le tamisage permet de classifier les particules en différentes classes (0-20 mesh, 12-20 mesh, 2.5 mm, 5, O mm) pour répondre aux diverses applications.

✓ 2. Propriétés du béton à base de caoutchouc

- La documentation fait état de quelques essais réalisés sur des bétons contenant des particules de pneu. Cependant, ces études ne concernent pas les bétons légers, mais elles permettent de comprendre de façon globale l'influence d'une incorporation de particules de pneus recyclés dans le béton. Lee et coll. ont évalué la résistance à la compression, à la traction, à la flexion et aux impacts de bétons au latex avec ajout de particules de pneu sur cinq bétons : un béton de référence (SC), un béton au latex (LMC), un béton au latex avec 5 % de pneus recyclés en remplacement d'une partie du sable (TALCF), un béton au latex et 5 % de pneus recyclés en remplacement d'une partie du latex solide (TALCIL) et un béton avec 5 % de remplacement d'une partie du sable (SUR). Tous les bétons fabriqués avaient un rapport EL constant de 0,45. Le latex utilisé est un styrènes-butadiène de la compagnie Dow Chemical (densité = 1, O 1, concentration en solides 48 %). La taille des particules de pneu est d'environ O, 1mm. De façon globale, Lee et all. (1998) concluent que:

1) la résistance du béton avec une substitution du sable par 5 % de particules de caoutchouc (SC/R) est inférieure à la résistance du béton de référence (SC) :

   -compression : perte de 21 %;

   -traction : perte de 23 %;

   -flexion : perte de 48 %;

2) les résistances a la compression, a la traction et à la flexion du béton avec latex(LMC) sont supérieures aux résistances du béton de référence (SC) ;

3) tes résistances a la compression, à la traction et à !a flexion du béton au latex avec une substitution de 5 % par des particules de caoutchouc (TALCK) sont supérieures aux résistances du béton de référence (SC) ;

4) le latex est un facteur dominant pour l'amélioration de la résistance a la flexion W C) ;

5) dans les bétons au latex et au caoutchouc, i1 est avantageux de substituer le latex par 5 % de particules de caoutchouc (TALCIL) pour améliorer la résistance a la compression et à la traction. Pour La résistance a la flexion il est plus avantageux de conserver une plus grande partie de latex et de substituer les particules de caoutchouc au granulat fin (TALCF) ;

6) les bétons avec latex et caoutchouc (TALC) présentent les meilleures performances aux essais d'impact.

Les granulats légers recyclés

Les matériaux recycles légers peuvent représenter une excellente source de granulats compte tenu du rejet quotidien d'une quantité importante de produits de consommation. Le béton constitue donc un bon matériau pour la récupération puisqu'il est facile d'y incorporer des matériaux recyclés lors de sa fabrication. L'utilisation de matériaux recyclés dans le béton favoriserait, d'une part, la récupération des matériaux en circulation et, d'autre part, la protection des ressources naturelles. Le béton ainsi produit pourrait être utilisé pour fabriquer une multitude de produits de consommation et, par le fait même, redonner seconde vie à ces déchets. Toutefois, une expérimentation est nécessaire pour évaluer les performances de ces matériaux recyclés comme granulats sur les propriétés du béton à l'état fiais et durci. Il existe plusieurs types de matériaux recyclés. Cependant, compte tenu des critères de sélection établis (disponibilité, coût, masse volumique, résistance mécanique, etc.), deux matériaux retiennent particulièrement l'attention : les plastiques et les caoutchoucs. La documentation concernant L'ajout de ces matériaux dans k béton est passablement limitée et les paragraphes suivants en présentent les éléments pertinents.

I.9. DOMAINE D'UTILISATION

Les domaines d'utilisation préférentiels des bétons légers sont divers, on peut les divisés en trois domaines d'utilisation ;

1) **des bétons d'isolation pure, non porteurs** : leur masse volumique est faible (600 kg/m3) de même que leur résistance à la compression (de 1,5 à 5 MPa). Ces bétons sont utilisés principalement :

- ✓ en forme de pente isolante pour toiture-terrasse ;
- ✓ en isolation de sols sur terre plein ;
- ✓ La préfabrication des éléments architecturaux ;

- ✓ La protection d'étanchéité sur terrasse ;
- ✓ chapes, plancher, dalles d'isolation ;
- ✓ Remplissage de vides et comblement de galeries et de canalisation ;
- ✓ Le rattrapage de niveau ;

2) des bétons porteurs et isolants: leur masse volumique varie de 1 000 à 1 300 kg/m3 et leur résistance à la compression est de l'ordre de 15 à 20 MPa. Ces bétons peuvent être employés pour réaliser :

- ✓ Des murs banchés ou préfabriqués ;
- ✓ Des blocs à maçonner ;
- ✓ Blocs, hourdis, panneaux préfabriqués, bardage
- ✓ Les planchers des constructions métalliques à grandes surfaces ;
- ✓ La protection incendie

3) des bétons légers de structure, ils ont une masse volumique de 1 700 à 1 800 kg/m3 et leur résistance caractéristique à la compression dépasse 20 MPa. Les granulats légers doivent répondre à un certain nombre de critères concernant le pourcentage de grains cassés, la masse volumique (en vrac ou des grains), le coefficient d'absorption d'eau, la résistance à la compression des grains, la composition chimique, la propreté, la granularité.

Ces bétons sont utilisés pour :

- ✓ Ouvrage ou le poids mort est important par rapport au poids total (chargement compris) ;
- ✓ Immeuble de grande hauteur ;
- ✓ Portée importantes (poutres, voiles) ;
- ✓ Structures marines immeubles ;
- ✓ Surélévation d'immeubles existants ;
- ✓ Restauration d'anciens immeubles ;
- ✓ Etc.

I.10. LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS

Le béton léger est utilisé pour plusieurs avantages, on peut les classés en trois catégories qui sont :

1. Avantages techniques

- Légèreté : plus léger qu'un béton classique, le béton léger a une densité de 0,4 à 1 ,2 en comparaison de 2 ,2 à 2,5 pour un béton classique.
- Isolant : Le béton léger a un pouvoir isolant thermique et phonique beaucoup plus important qu'un béton classique.
- Non inflammable : La chape en béton léger est classées M0 au test de réaction au feu à partir d'un certain dosage en ciment.
- Imputrescible : Le béton léger est un matériau à pH basique, constitué de ciment, de sables lavés et de perles de polystyrène expansé stabilisé.
- L'augmentation des propriétés d'isolation thermique et acoustique.
- les excellentes qualités de finition d'une pièce en béton léger ;

2. Avantages de Mises En Œuvre

- Exécution simple et rapide : accessibilité sur chantier entre 24 et 48 h après coulage, selon l'épaisseur.
- Maniabilité : pompable sur de longues distances et de grandes hauteurs, il est facile à mettre en œuvre, notamment en forte épaisseur.
- Coffrages plus légers ;
- Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (transport possible de pièces plus grandes);

3. Avantages Economiques

- une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau (Neville, 2000).
- le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations (Neville, 2000).
- économie sur le ferraillage des éléments ;

- le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire.

I.11. -La durabilité de béton

I.11.1. Définition De La Durabilité

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation aux quels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaques chimiques [12].

La mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du béton, les actions peuvent être mécaniques, physiques ou chimiques, Ces dernières sont causées par les réactions alcali-silice et alcali-carbonate, les attaques chimiques externes sont causées par la présence d'ions agressifs tels que les chlorures, les sulfates et les gaz carboniques ainsi que de nombreux gaz et liquides d'origines naturelles ou industrielles. Il convient de noter avant toutes choses que la détérioration du béton est rarement attribuable à une seule cause: le béton peut souvent se comporter de façon satisfaisante en dépit de certaines déficiences, mais lorsqu'un facteur défavorable s'ajoute, les désordres apprêteront. [12]

Dans notre cas d'étude, Le béton est soumis au pire des cas, ou les ouvrages sont exposés a deux milieux très agressifs, d'un coté l'eau de la nappe phréatique de Ouargla qui présente un cas rare d'agressivité et d'un autre coté les eaux usées, dont les substances chimiques sont ceux qui dégradent le plus les ouvrages en béton.

I.11. 2. La durabilité du béton est fonction du matériau et des conditions d'exposition, qui dépendent elles-mêmes de

1- la température ;

2- l'agressivité chimique et mécanique du milieu environnant ;

3- l'humidité.

Les phénomènes de transport conditionnent la durabilité du béton car ils sont les forces motrices qui vont entraîner la pénétration des agents agressifs extérieurs à l'intérieur du béton par capillarité, perméabilité ou diffusion.

La porosité du béton constitue de Ce point de vue un paramètre fondamental dans la

dégradation potentielle du matériau:

Le diamètre, la forme ou la répartition granulométrique des pores et capillaires jouent le rôle des voies de transport pour les agents agressifs extérieurs et sont donc le siège des échanges entrele béton et son environnement.

La notion de DURABILITE s'appuie sur la notion de CLASSE D'EXPOSITION.

Ces classes traduisent les ACTIONS DUES A L'ENVIRONNEMENT auxquelles le béton de l'ouvrage ou de chaque PARTIE D'OUVRAGE, et les armatures vont être exposé pendant la DUREE D'UTILISATION de la structure. Les classes d'exposition permettent ainsi d'optimiser la formulation et les performances des bétons ainsi que la conception des ouvrages en vue de leur durabilité. Prescrire un béton durable nécessite d'apprécier, dès sa conception, l'ensemble des contraintes environnementales et les agressions et attaques potentielles qu'il aura à subir pendant toute sa durée d'utilisation.

Environnements chimiquement agressifs

3 milieux : liquides, gazeux et solides

Milieux liquides

• **Eaux pures:** eaux faiblement minéralisées qui peuvent lessiver les constituants

Les plus solubles du béton (portlandite)

• **Solutions acides: pH < 7**

- Acides minéraux: HCl, HNO3, H2SO4 fort effet dissolvant sur les ciments
- Acides organiques
- Acides humiques

• **Solutions basiques: pH > 7**

• **Solutions salines:**

- Chlorures ou sulfates de magnésium
- Chlorures ou sulfates et nitrates d'ammonium
- Eau de mer: ions chlorure , ions sulfate , ions magnésium

• **Graisses et huiles acides**

Milieux gazeux Agressivité des gaz en présence d'eau ou d'humidité :

- Anhydride sulfureux : SO2 - Acide sulfhydrique : H2S

- Anhydride carbonique : CO2 Milieux solides Agressivité des sols

- Acide sulfhydrique : H2S

Milieux solides

Agressivité des sols contenant des agents agressifs et soumis à des circulations d'eaux:

- Sulfates
- Acides carboniques
- Acides organiques

Porosité et fissuration : facteurs de durabilité des bétons

La porosité du béton constitue un paramètre fondamental dans la dégradation potentielle du matériau: le diamètre, la forme ou la répartition granulométrique des pores et capillaires jouent le rôle des voies de transport pour les agents agressifs extérieurs et sont donc le siège des échanges entre le béton et son environnement.

Structure poreuse du béton

Definition et classification des pores Le milieu poreux est défini par un ensemble d'espaces vides connectés, répartis de façon plus ou moins uniformes dans ce milieu, limités par une matrice solide, qui peut contenir des vides mais non connectés.

La porosité p (en %) d'un matériau est définie par le rapport entre le volume des pores (vides) Vp et le volume total Vt (volume des pores + volume du solide): Vp/ Vt .100

I.11.3. La Porosité

La porosité des granulats est une caractéristique importante qui influence directement leur propriété hygrométrique et par voie de conséquence la maniabilité du béton. Les granulats légers ont des porosités totales très importantes, entre 25% et 75% de leur volume apparent. Cette porosité varie proportionnellement avec la taille des grains. Plus la taille des grains augmentent, plus la porosité n'est importante. La taille de pore varie considérablement de moins de 4 nm jusqu'à plus de 1 mm. La forme des pores est plutôt irrégulière. On distingue deux types de pores : les pores ouverts et les pores fermés. Les pores ouverts forment un système poreux continu dans le matériau. Les pores fermés sont isolés et ne sont pas reliés ensemble. Seul le système de pore ouvert peut contribuer au transport de la matière dans le matériau [15].

Plus les pores sont interconnectés, plus l'absorption d'eau est élevée. Le pourcentage des pores ouverts dans l'ensemble des pores est très variable selon les natures de granulats légers. Ainsi, pour les granulats légers utilisés dans les travaux de Zhang et Gjorv [30], la plupart des pores sont ouverts, les pourcentages de pores ouverts étant tous supérieurs à80%. Mais, pour les granulats légers utilisés par Faust et Beck, ces pourcentages varient entre 14% et 90%. Certains types de granulats comme l'argile expansée ont une enveloppe externe dense entre 0,1 et 0,3 mm d'épaisseur, moins poreuse que l'intérieur. Lors de la cuisson des nodules d'argile, quand la température de fusion est atteinte, il se forme en effet une pellicule vitrifiée à la surface des nodules. Sur les cendres volantes frittées, aucune différence de structure n'a par contre été observée entre la périphérie et l'intérieur du granulat [15].

I.11.4.Attaque par les acides

Définition

Les attaques acides se font principalement suivant un mécanisme de dissolution. Suivant le cas, le phénomène de dissolution peut être accompagné de la précipitation du sel formé lors de la réaction base + acide si le sel est peu soluble. Ce sel peut avoir un effet colmatant et ralentir les réactions de dissolution. Le produit final de dégradation par un acide peut-être un gel de silice résultant de la décalcification totale des C-S-H qui, selon Grube et al [14].

Peut avoir un rôle protecteur à la surface du béton et ralentir les réactions. Ces auteurs insistent également sur le fait que les conditions de transport de l'agent agressif sont plus importantes que sa concentration.



Figure I-12: La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage. (Photo offerte par : Thomas P. Rylett Ltd., ingénieur-conseil en structures). [13]

Les **acides forts** ne neutral sent pas l'hydroxyde de calcium, mais réagissent avec touts les

parties de la pâte de ciment ET attaquent regalement les granulates contenant du carbone, comme le calcaire. La pâte de ciment se dissous entièrement par example dans l'acide chlorhydrique en formant du chlorure de calcium, d'aluminium, de fer et de manière colloïdale du dioxyde de silicium, [16].

Acides minéraux

Milieux très agressifs (sels trèolubles) → dissolution

$$2\ HCL + Ca\ (OH)_2 \rightarrow CaCL_2 + 2\ H_2O$$

I.12. LES BÉTONS LÉGERS DE POLYSTYRENE EXPANSE

I.12.1. L'histoire de l'invention du polystyrène expansé

La mousse de polystyrène expansé est une matière plastique qui possède des propriétés particulières en raison de sa structure. Composé de cellules individuelles de polystyrène de faible densité, l'EPF est extrêmement léger et peut prendre en charge plusieurs fois son propre poids en eau. Parce que ses cellules ne sont pas reliées entre eux, la chaleur ne peut pas voyager à travers l'EPF facilement, donc il est un excellent isolant. EPF est utilisé dans des dispositifs de flottaison, isolation, boîtes à œufs, des appartements de la viande et des produits, des sandwichs et des boîtes à hamburger, tasses à café, assiettes, emballage d'arachide, et les refroidisseurs de pique-nique. Bref, le polystyrène est utilisé pratiquement partout. Bien qu'il soit généralement appelé styromousse, Styrofoam est une marque déposée de Dow Chemical Company et fait spécifiquement référence à un type de ciment, le ciment bleu EPF principalement utilisé dans la navigation de plaisance. [6]

Pendant les années 1800, les chercheurs en quête des matériaux adaptés à la réalisation de films, pare-brise en calèche, et divers petits objets tels que les peignes en plastique se sont tournés vers le polystyrène expansé. En faisant ces matières plastiques, les scientifiques ont exploité la tendance naturelle à la polymérisation, dans lequel deux ou plusieurs petites molécules, ou monomères, se combinent pour former des chaînes qui sont souvent très longs**.**

Les chaînes moléculaires résultantes, ou des polymères, comprennent des unités structurelles répétitives des molécules originales. L'un des polymères naturels les plus connus est la cellulose, la chaîne de molécules de glucose qui forme une composante principale des parois cellulaires végétales, coton, papier, et la rayonne. Le polystyrène est parmi les polymères synthétiques les plus connus (les autres sont le polyéthylène, le polypropylène et polyester). Styrène, l'hydrocarbure liquide à partir duquel l'EPF est faite, est dérivée de la fin

du XIXe siècle à partir de styrax baumier, qui provient d'un arbre en Asie Mineure appelé la gomme sucrée Oriental. Dans le début du XIXe siècle, les matières plastiques entièrement synthétiques ont été développées à partir d'hydrocarbures, dont la structure est propice à la polymérisation facile. Polystyrène, le polymère à partir de laquelle l'EPF est faite, a été inventé en 1938. [6]

Les plastiques moussants ont été découverts indirectement, car au début on ne pouvait voir leurs avantages. Dr Leo H. Baekeland, le chimiste américain qui a développé le premier plastique totalement synthétique, la bakélite, expérimenté avec du phénol (un composé acide) et le formaldéhyde (un gaz incolore) en essayant de faire une résine non poreuse. Lorsque l'un de ses mélanges inattendus commence à mousser, Baekeland essayé de contrôler la mousse avant de réaliser que cela pourrait avoir des avantages. Après la mort de Baekeland en 1944, la première mousse phénoliques ont été développés, bientôt suivie par de la mousse époxy. Peu de temps après,

Le polystyrène expansé a été crée. Au début, il a été utilisé principalement dans l'isolation et pour les dispositifs de flottaison pour bateaux, des engins de sauvetage et les bouées. Il a fallu attendre l'EPF remplacé le papier, le kapok (fait à partir des fibres soyeuses que les graines d'arbres ceiba s'emboîtent), et autres protections d'emballage naturel que la substance est devenue aussi populaire qu'elle l'est aujourd'hui. Sa connaissance a été favorisé par l'énorme croissance de l'industrie alimentaire et à emporter rapides, qui ont commencé à utiliser EPF dans des boîtes hamburger et tasses à café. Aujourd'hui, l'EPF est de loin le plastique le plus reconnu.

Cependant, en dépit de la popularité EPF et des caractéristiques uniques, il a récemment fait l'objet d'attaques en raison du méthane gazeux dérivés-chlorofluorocarbures (CFC) utilisé pour la mousse. Les CFC sont inertes et inoffensifs pour les humains et l'environnement lors de leur libération. Cependant, longtemps après leur première utilisation, les scientifiques ont réalisé que les CFC contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone en se décomposant.

La couche d'ozone est une couche de l'atmosphère Le polystyrène expansé est fait dans un processus connu sous le nom polymérisation en suspension. Après le styrène est produit par la combinaison d'éthylène et du benzène, il est confondu avec l'eau et une substance mucilagineuse pour former des gouttelettes de polystyrène

Ensuite, les gouttelettes sont chauffées et combiné avec un initiateur, ce qui amorce le processus de polymérisation. Les gouttelettes se combinent pour former des chaînes, qui à son

tour se combinent en perles. L'arrêt du processus de terminaison est difficile, étant donné que les chaînes doivent être d'une certaine longueur pour être utile.

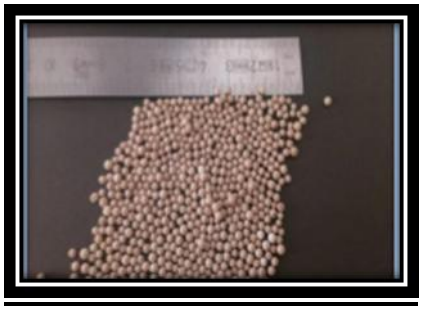
En 1988, les représentants de 31 pays ont signé le Protocole de Montréal, un traité avec lesquels ils ont décidé de réduire de moitié la production de CFC en 1998. Cet accord a EPF à la conscience du monde comme une menace pour la couche d'ozone. Alors que les emballages en mousse est responsable de moins de trois pour cent des CFC libérés dans l'atmosphère, la réduction de l'EPF a été ciblé comme un moyen à des niveaux inférieurs aux CFC, et les nouvelles technologies qui explorent les moyens de produire des EPF sans CFC ont prospérés. EPF a également été choisi par les écologistes car il n'est pas recyclé. Des mesures ont été prises, cependant, et les programmes sont en cours pour voir qu'un pourcentage plus élevé de l'EPF seront recyclés dans les années à venir. [6]

I.12.2. Les types de polystyrène :

Il existe trois types de polystyrène :



Le polystyrène cristal ou dense



le polystyrène expansé



Le polystyrène choc ou haut impact

Figure I.13. Les déférents type de polystyrène

I.12.3. Le polystyrène cristal ou dense

Celui-ci regroupe par exemple les ustensiles ou les barquettes en plastique qui peuvent être utilisés à la cafétéria de l'école. Les verres à bière couramment utilisés lors des évènements à Polytechnique font également parti de cette catégorie. [7]

I.12.4.Le polystyrène choc ou haut impact

Celui-ci est utilisé le plus souvent dans le domaine de l'industrie. Il s'agit d'ajouter, lors de la fabrication du polystyrène, un agent spécial permettant d'augmenter sa résistance aux chocs. Cependant, on ne trouve pas de polystyrène choc à Polytechnique. [7]

I.12. 5 .Le polystyrène expansé ou PES

Celui-ci peut être également appelé la styromousse. Il s'agit de polystyrène dans lequel a été ajouté un agent expanseur lors de sa fabrication. Le polystyrène expansé, mousse blanche et rigide, Le PSE est très employé pour l'isolation thermique dans le bâtiment et dans l'emballage ainsi que pour la protection contre les chocs. Il est aussi utilisé pour la construction des décors de cinéma et de télévision. Cela en fait une matière légère constituée de plus de 80% d'air. Le PSE est très utilisé à la cafétéria de l'école Polytechnique. [7]

I.12.6. Composition chimique

Le polystyrène est un polymère thermoplastique linéaire à squelette aliphatique obtenu par polymérisation du motif homopolymère de styrène (figure I.13). Structurellement, c'est une longue chaîne d'hydrocarbonés, avec un groupe phényle attaché sur certains atomes de carbone [8].

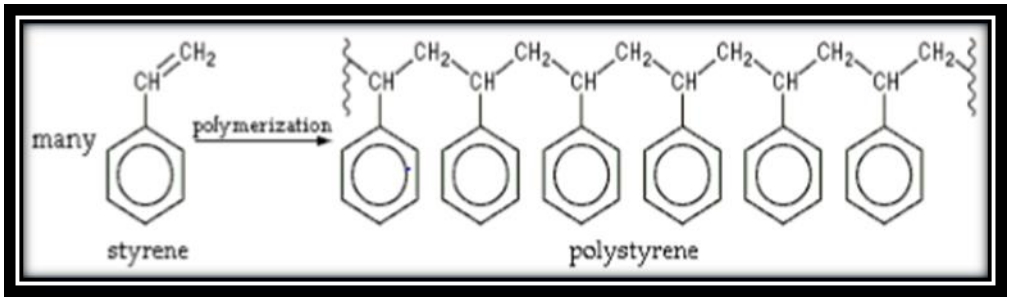


Figure I.14. Structure chimique du polystyrène

Le produit de base servant à la fabrication du polystyrène expansé est obtenu sous forme de petites perles blanches, chimiquement très stable, et doué de propriétés thermoplastiques. Suivant les applications, on distingue trois types différents par leur granulométrie et leurs propriétés :

-Ceux destinés aux fabrications courantes, les perles sphériques reformant un « porogène » (ou agent gonflant) : le pentane,

-Ceux destinés à la fabrication de produit « difficilement inflammable » ou auto- extinguibles », cette propriété n'étant acquise qu'après un certain temps de stockage en raison de la teneur en pentane,

-Ceux destinés à la fabrication de produits expansés résistant aux essences et huiles minérales exemptes d'hydrocarbures aromatiques.

La structure du polystyrène expansé comporte des soudures interpelés, la taille des cellules se situe habituellement entre 60 et 200 μm (figure I.13)

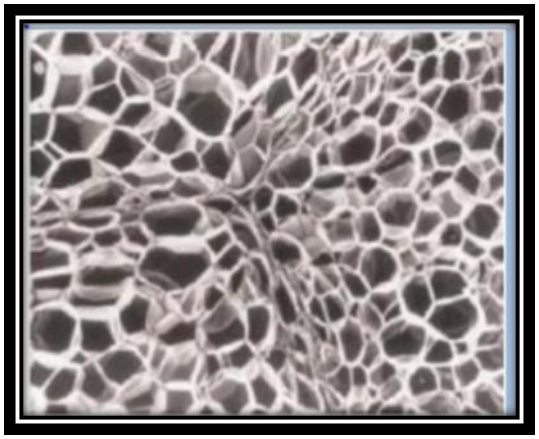


Figure I.15. Structure alvéolaire du polystyrène

I.12.7. Composition des bétons légers de polystyrène expansé

On obtient ces nouveaux bétons par le remplacement total ou partiel du granulat traditionnels par des perles de polystyrène expansé jusqu' on arrive à un mélange de classes granulaires adéquats, 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 granulat occupe 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- léger

Le liant

Le liant choisi est à base de ciment Portland. Compte tenu des dosages usuels pour les bétons à haute performance, le dosage total en liant est fixé de façon à offrir une pâte suffisamment dense et durable.

Sable

Tout type de sable adéquat pour la confection du béton de polystyrène, Le dosage en sable dans le mélange va combler la discontinuité granulaire qu'il y a entre le diamètre des grains de ciment et de polystyrène

Polystyrène

La découverte du polystyrène remonte à 1839, mais son exploitation à grande échelle en Allemagne et aux États-Unis date des années 30 (première fabrication industrielle : 1933) Le polystyrène expansé a été inventé en 1944 par Ray Mc Intire (1919-1996) alors qu'il travaillait pour Dow Chemical sur les caoutchoucs flexibles. Cette découverte fût le fruit du hasard : l'idée de départ était de copolymériser du styrène et de l'isobutène sous pression. Le styrène fut le seul à se polymériser et l'isobutène se vaporisa, s'immisçant dans la matrice du polymère. Commercialisé sous le nom de Syrofoam, ce matériau rigide de faible densité a été d'abord été utilisé comme isolant thermique pour le bâtiment.

I.12.8.Propriétés des bétons légers de polystyrène expansé

La masse volumique Le béton léger réalisé à l'aide du polystyrène expansé PSE donne l'avantage d'avoir toute une panoplie de densités allons de 500 kg/ m3 à 2200 kg/m3 [9], Grâce aux proportions utilisées de polystyrène expansé PSE ce qui conduit a une vaste intervalle de béton léger donc une solution technique intéressante pour les domaines du bâtiment, des ouvrages d'art et d'offshore.

A. GUEZOULI et A. BENAISSA, ils ont utilisés le polystyrène expansé dans ces recherches de façon à remplacé les granulats naturels par le volume complémentaire d'ensembles artificiels (PSE), figure 15 représentent les différents types de composition

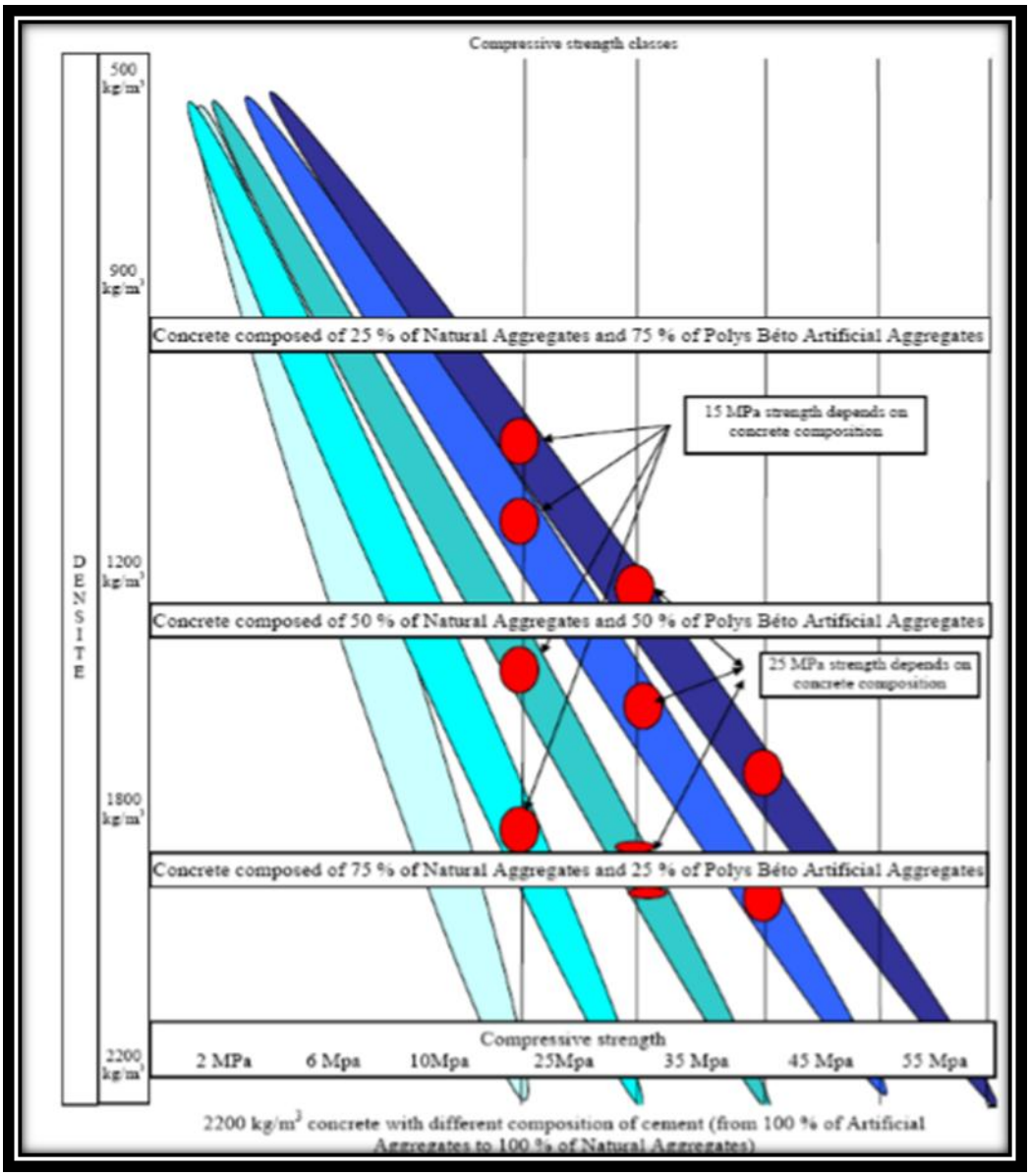


Figure I.16. Les différents types de composition. [9]

I.13. La durabilité

Les billes de polystyrène sont parfaitement sphériques. La coupe d'une bille révèle une structure alvéolaire et une enveloppe constituée de deux membranes. Ceci explique d'une part son extrême légèreté et d'autre part sa totale imperméabilité à l'eau. En effet, des essais réalisés par Yamura et al. (Yamura et Yamauchi, 1982) ont montré que des billes de polystyrène immergées dans l'eau pendant un mois n'ont pas absorbé d'eau. Enfin, ces billes sont hydrophobes et présentent des charges électrostatiques en surface [10].

I.14. Les propriétés acoustiques

Rappelons que le son est une vibration acoustique capable une fois parvenue à l'oreille d'éveiller une sensation auditive. La propagation du son c'est à partir d'un ébranlement initial que va s'effectuer la propagation du son [G. BRIGAUX, 1981]. L'isolation acoustique a pour but de traiter la propagation des bruits entre deux locaux voisins. En effet, l'énergie acoustique se transmet entre des locaux voisins par trois voies : [SFBC, 2005]

- La transmission directe : dépend de la nature de la paroi séparative ;
- Les transmissions latérales : dépendent de la nature des parois latérales et du type de liaison entre les parois ;
- Les transmissions parasites : dépendent des différents défauts de la paroi.

Depuis la conception des bétons légers de polystyrène, la compagnie Agrégats Artificiel a effectué divers essais pour déterminer les propriétés acoustiques des bétons légers [9]. Ces essais permettent de caractériser les propriétés intéressantes d'insonorisation du matériau béton léger de polystyrène. C'est intéressant pour nous de connaître le facteur de diminution acoustique de murs simples pour obtenir une isolation suffisante entre des locaux.

Le facteur de diminution acoustique suit un certain nombre de lois. GUEZOULI &A. BENAISSA ont employé ces lois, et ils comparent la capacité d'isolation de divers matériaux fréquemment employés dans la construction avec le polysbéto des bétons légers. La figure (15) montre que les valeurs du facteur de diminution acoustique pour le Polys béto est proche de celui du bois, du plastique et du bouchon.

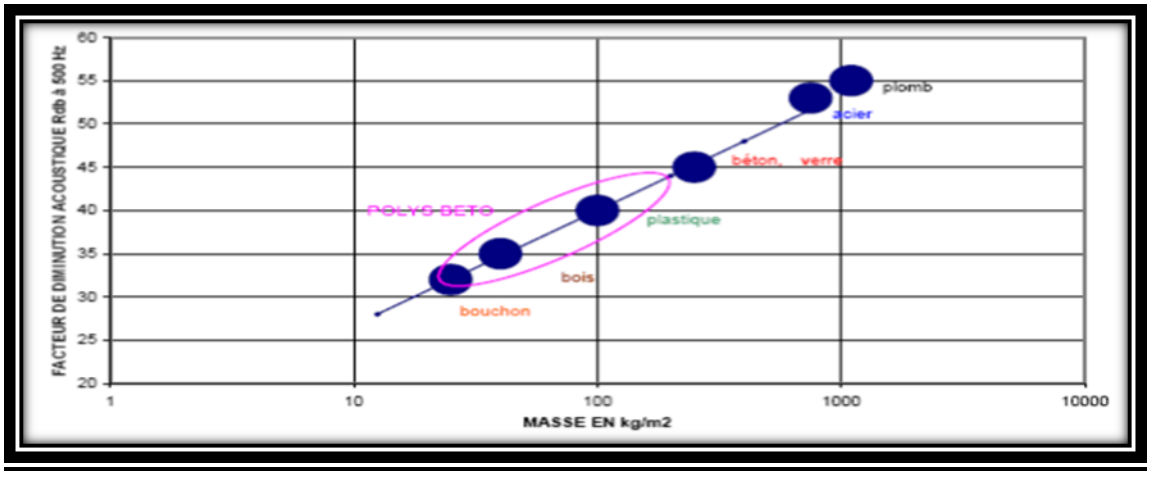


Figure I.17. Valeurs des facteurs de diminution acoustique de différents Matériaux

I.15. Les propriétés thermiques

Une des propriétés intéressantes des bétons légers est leur pouvoir d'isolation thermique dû aux nombreuses bulles d'air interposées dans l'épaisseur du béton. Les bétons de polystyrène expansés sont constituent de bons isolations thermiques, leur coefficient de conductivité étant de l'ordre de 0.20, pour des densités de 400 kg/m3 et 0.30 à pour des densités de 800 kg/m3. [G. DREUX & J. FESTA, 1998].

La demande d'une isolation adaptée s'est considérablement accrue. En effet une bonne isolation thermique est économiquement rentable et les économies d'énergie sont devenues une préoccupation majeure des architectes, des concepteurs et des constructeurs. Par ailleurs, les bétons légers de polystyrène ont une faible conductivité thermique notamment pour un taux de billes très important (de l'ordre de 70%). Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique dans les bâtiments [10].

Les recherches réalisées par A. GUEZOULI et A. BENAISSA ont montées que l'évolution de la conductivité thermique du béton de polystyrène décroit avec l'augmentation des perles de polystyrène dans le béton comme l'indique la Figure I.17

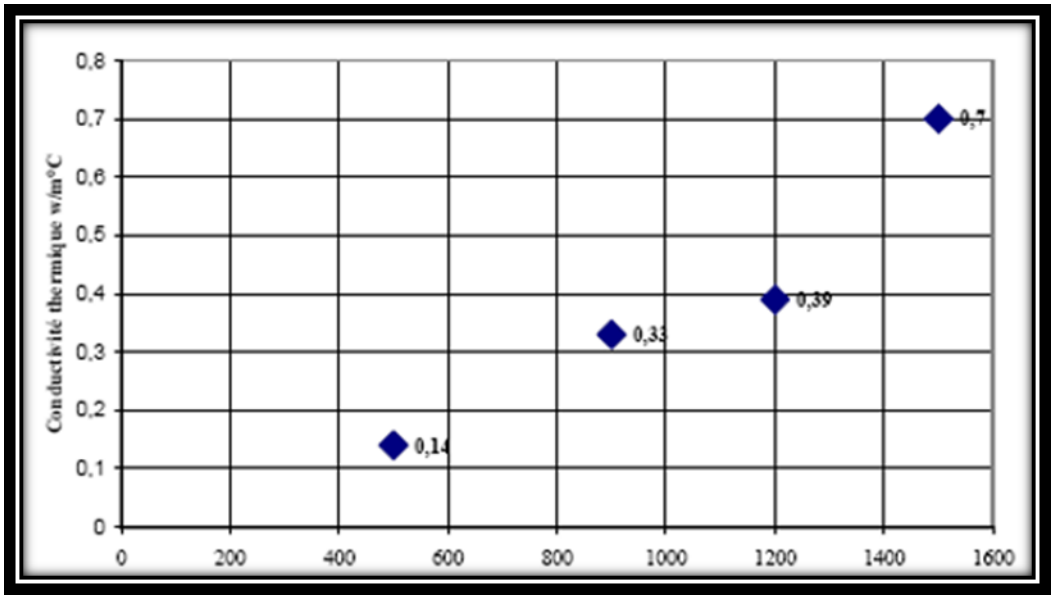


Figure I.18. Conductivité thermique en fonction de différentes masses volumiques [K.MILLED, 2005].

On peut remplacer la méthode d'isolation thermique à l'aide de plaque de polystyrène, à celle du béton de polystyrène non seulement isolant thermiquement mais aussi léger et résistant.

Conclusion

Les bétons 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 :

- Masse volumique très faible
- Pouvoir isolant élevé
- Correction acoustique
- Perméabilité à la vapeur d'eau
- Elasticité importante
- 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

CHAPITRE II

Étude expérimentale de la durabilité de béton

II.1 INTRODUCTION

Dans Cette partie ont découvert les caractérisations des matériaux utilisés et les essais faites en laboratoire. Des essais expérimentaux sont effectués afin d'étudier la durabilité pour les bétons allégés par les billes de polystyrène PSE.

II.2. Matériaux utilisées

II.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé pour la présente étude est du ciment portland composé CPA-CEM I 42.5 produit par la cimenterie de la société BISKRIA CIMENT situé à Branis wilaya de BISKRA, ALGERIE.

Les principales caractéristiques physiques, la composition chimique et la composition minéralogique de ce ciment sont récapitulés dans les **Tableaux II.4**, **II.5** et **II.6** respectivement.



Figure II.1. Ciment CPA- CEM I 42.5

Tableau II.1: Caractéristiques physiques du ciment

Ciment	Désignation	Masse volumique absolue (Kg/m^3)	Surface spécifique Blaine (cm^2/g)
CEM I 42.5	**C**	**3150**	**3020**

Tableau II.2: Composition chimique du ciment

Teneur %									
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Cl	P.A.F
21,62	4,49	5,37	63,9	1,7-2,8	2.2-2.6	0,25	0,08	0.02 -0.05	1.0 -1.9

Tableau II.3: Composition minéralogique du ciment CPJ-CEM I 42.5 selon Bogue

Teneur %			
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
56-66	5.0-15	1.4-3.0	10-15

II.2.2 Polystyrène expansé

Les billes de polystyrènes expansés utilisés dans notre étude ont été fournies par la société L'EPE/Spa SOFATPO est une filiale du groupe EAGR (Entreprise Nationale de Génie Rural), son siège social et son unité de production sont situés au niveau de la zone industrielle de Oued Smar, Algérie.

Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation du produit de base qui est **le STYRENE** (granulé translucide).



Figure. II.2: Les billes de polystyrène PSE

Ces granulats se présente sous forme de billes sphériques de petit diamètre (1 à 2 mm), contenant 98% d'air et peu de consommateur de matière première, le polystyrène ne contient ni gaz CFC, ni HFC, ni HCFC.

- **La densité :** la masse volumique apparente ρ_{app} = 20 Kg/m^3 et la masse volumique absolue ρ_{abs} = 30 Kg/m$^{3.}$

- **Absorption d'eau par immersion :** en raison de sa structure à cellules fermées, le polystyrène est caractérisé par sa faible absorption de l'eau.

- **Tenue à la chaleur :** le polystyrène expansé se ramollit à partir d'une température 90°C.

II.2.3 sable

Le sable utilisé pour toutes les formulations de cette étude, est un sable de rivière de la région d'El-Baaj, est une zone située entre les wilayas d'Oued Souf et de Biskra, Algérie.



Figure. II.3: Sable d'el-baaj

Les caractéristiques physiques et l'analyse granulométrique du sable sont présentées dans les **Tableaux II.4** et **II.5**.

Tableau II.4: Caractéristiques physiques du sable

Propriétés		**S 0/5**
Masse volumique absolu (kg/m^3)		2540
Masse volumique apparente (kg/ m^3)		1770
Equivalent de sable (%)	Esv	66.330
	Esp	59.300
Module de finesse		2.78

Tableau II.5: Analyse granulométrique du sable

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	**100**
2.5	237,58	528	26.4	**73.6**
1.25	137.1	665.1	33.25	**66.75**
0.63	285.1	950.2	47.51	**5249**
0.315	221.9	1630.8	81.45	**18.46**
0.16	47.9	1906.2	95.31	**4.69**
0.08	12.5	1979.9	98.99	**1.01**
Le fond	**19.4**	**1999.3**	**99.97**	**0.03**

II.2.4 Gravier :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à MON GUORNO de la région de Berrouaguia (Médéa), Algérie.

Classes granulaires

Les fractions du gravier sont :

Fraction **3/8**

Fraction **8/15**



Figure. II.4: Gravier 3/8



Figure. II.5: Gravier 8/15

Les caractéristiques physiques et l'analyse granulométrique gravier sont présentées dans les **Tableaux II.6** et **II.7**, **II.8.**

Tableau II.6: Propriétés physique des Gravier.

Propriétés	**GN 3/8**	**GN 8/16**
Masse volumique absolu (t/m^3)	2.257	2.585
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.380	1.350
Coefficient los Anglos(%)	19.920	26.500

Tableau II.7: Analyse granulométrique du Gravier 3/8

Tamis, (mm)	**Refus cumulés**		**Tamisât (%)**
	(g)	(%)	
8	1.99	0.095	**99.90**
6.3	199.1	9.95	**90.05**
5	689.9	34.49	**65.505**
4	1253.4	62.56	**37.34**
3.15	1641.5	82.07	**17.925**
2.5	1895.5	94.975	**5.025**
1	**1989.3**	**99.465**	**0.535**

Tableau II.8: Analyse granulométrique Gravier 8/15

Tamis, (mm)	**Refus cumulés**		**Tamisât (%)**
	(g)	(%)	
16	5	0.16	99.83
12.5	569.6	18.98	81.01
10	1989.5	66.31	33.68
8	2678.5	89.28	10.71
6.3	2954.9	98.496	1.503
5	2991.0	99.7	0.3

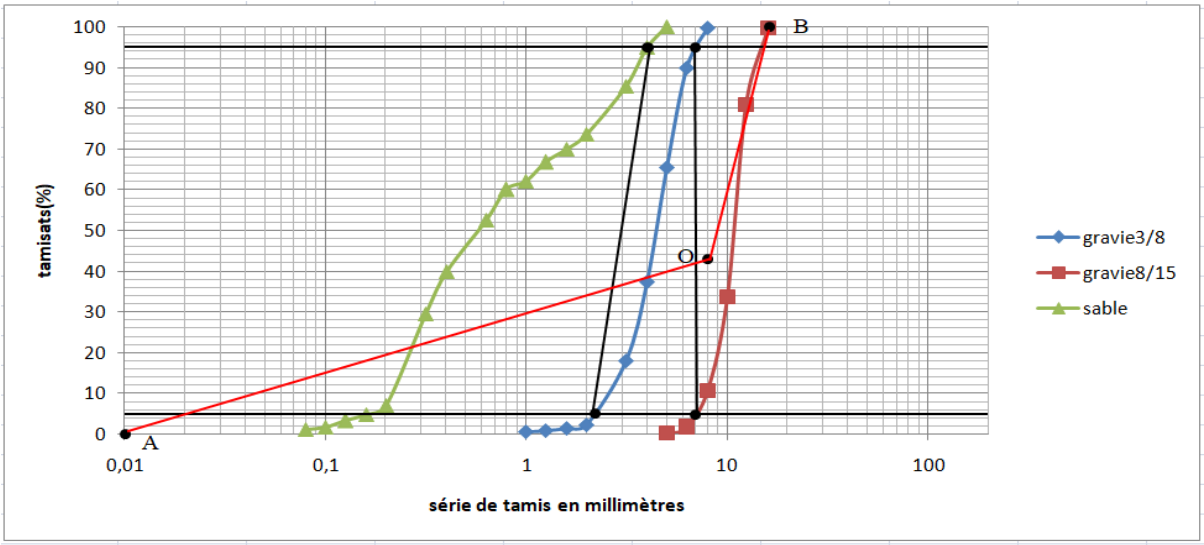


Figure. II.6 : Analyse granulométrique des granulats (GN 3/8, GN 8/15 et sable)

II.2.5 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée au cours des essais est une eau potable du robinet a une température 20±2° de laboratoire de génie civil de l'université de MEDEA, exempte d'impuretés conforme a la norme [NFP 18-303].

Associé au ciment, l'eau remplit deux fonctions :d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pate.

II.3 Formulations

II.3.1 Fabrication

La modalité de fabrication des différents types de bétons que nous avons suivie se déroule comme suit :

- Pré mouillage du malaxeur pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois du malaxeur ou nettoyage de celui-ci s'il à été utilisé auparavant.

- Introduction des constituants solides en commençant par les graviers, le sable et puis le ciment.

- De (T_0) à (T_0+1') : malaxage à sec des constituants solides.

- De (T_0+1') à (T_0+1' 30") : ajout de l'eau. - De (T_0+1' 30") à (T_0+3' 30") : malaxage.

- De (T_0+3' 30") à (T_0+3' 45") : ajout du Polystyrène (le malaxeur continue à tourner).

- De (T_0+1' 45") à (T_0+5') : fin du malaxage.
- De (T_0+5') : vidange de malaxeur.

Le béton a été coulé dans les moules cubiques(10X10X10)cm et cylindriques(10X10X20)cm en deux couches. Chaque couche a été vibrée sur une table vibrante pendant 10 secondes par couche.



Figure. II.7. Malaxeur

II.3.2 Les corps d'épreuve

Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules cubiques de dimensions 10x10x10 cm. Ces moules sont en métal (acier), cette matière est imperméable, non absorbante et non réactive au liant. Les éprouvettes cubiques sont destinées au essais de durabilité du BPSE au contact d'une eau acide (5% d'acide chlorhydrique HCL acide fort).

Le taux de substitution en polystyrène expansé PSE: 5%, 15%, 25%,35%, 45% .



Figure II.8 :les eprouvettes cubiques pour l'essais contact de 5% d'acide HCL

Et des moules cylindriques de dimensions (10x10x20) cm , pour l'essai de la porosité a noter que l'essai et réalisé par des éprouvettes de 10x10x5 cm toutes les

faces étant obtenues par forage ou découpage des éprouvettes cylindrique de (10X10X20)cm.

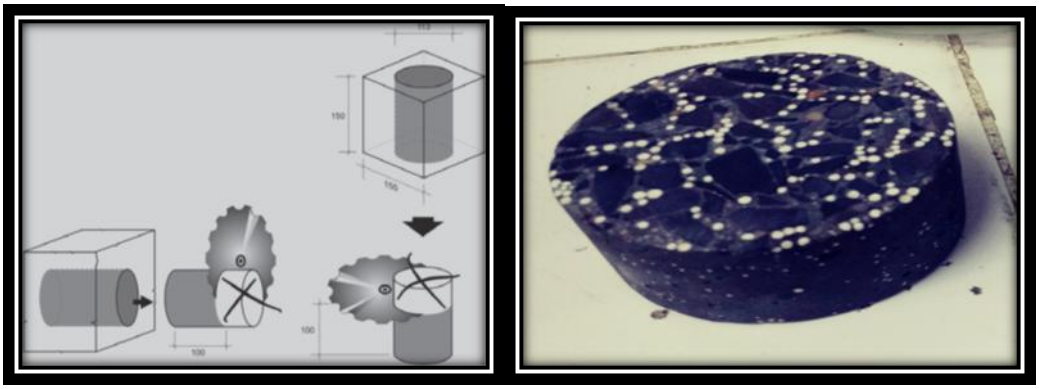


Figure II.9 : découpage des éprouvettes pour l'essai de la porosité

le taux de substitution en polystyrène expansé PSE: 15%, 25%,35% et45% .

Désignation des bétons :

Les différents composites de béton avec ou sans polystyrène sont désignés de la façon suivante :

a) sans polystyrène :

BT
- Témoin
- Béton

b) Bétons avec de polystyrène expansé (5%, 15%, 25%, 35% et 45%) :

B (PSE-5)
- 5%
- Polystyrène expansé
- Béton

II.4 La masse volumique

La masse volumique du béton léger a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[ ],** à l'aide d'une balance à 0.01 g près, et mesure des dimensions des échantillons, à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de 0,01 mm. Pour chaque composition, la masse volumique sèche apparente représente la moyenne de trois mesures.

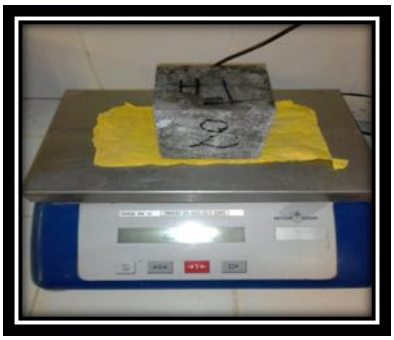


Figure II.10: La balance

II.5 Cure Appliquée

La conservation des éprouvettes couvertes par du plastique a été à l'air pendant 24h ensuite, après démoulage sont conservées dans l'eau à 20°C pendant 28jours

II.6 Etude de la durabilité du BPSE au contact d'une eau acide :

L'intérêt des essais de durabilité pour nos bétons allégés par les billes de polystyréne PSE est d'examiner leurs influences sur les caractéristiques vis-à-vis des milieux tels que les acides.

II.6.1 Immersion dans des fluides :

Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes pesées pour déterminer M1.puis elles sont immergées dans solution de 5% d'acide chlorhydrique HCL acide fort.

Ce protocole a été choisi pour accélérer le vieillissement des bétons causé par l'immersion complète, il est basé sur des cycle de séchage/immersion de 24 heures .les éprouvettes sont immergées dans l'eau dosée à 5% de HCL acide fort pendant 4 heures (saturation), puis séchées dans une étuve à 105° pendant 20 heures.



Figure II.11 : séchage des éprouvettes dans une étuve à 105°C pendant 20 heures.

La résistance due aux agressions chimique des échantillons immergés dans la solution est évaluée selon la norme ASTM C 267-96 ( ) .les éprouvettes sont nettoyées 3fois avec de l'eau douce pour éliminer le composite altéré et puis on les laisse sécher pendant une ½ heure. En suite on procède à la pesée des éprouvettes d'où la masse M2.cettte opération est effectuée après 7, 14,21 et 28 jours après l'immersion.la solution d'attaque est renouvelée chaque 7 jours.

L'attaque est évaluée par la formule suivant :

Perte de masse (%)= (M1-M2)/M1x100

Avec **M1**, **M2** les masses des éprouvettes avant et après immersion respectivement.

Ainsi un examen visuel des éprouvettes.

II.7 Essai de porosité :

Mode opératoires recommandés Par le groupe AFREM

Le présent mode opératoire décrit une méthode de détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau de corps d'épreuve de béton durci de granulats courants naturels ou artificiels.

II.7.1 DEFINITIONS

Dans le cadre du présent mode opératoire, les définitions suivantes sont applicables.

- Masse volumiques apparente sèche : rapport de la masse sèche d'un corps d'épreuve de béton à son volume apparent, exprimé en gramme par centimètre cube ou kilogramme par mètre cube.
- Pores ouverts : pores qui sont pénétrés par l'eau dans l'essais décrit.
- Pores fermés : pores qui ne sont pas pénétrés par le liquide d'immersion dans l'essai décrit.
- Volume apparent : somme des volumes de matière solide, des pores ouverts et des pores fermés dans un corps poreux.
- Porosité accessible à l'eau : rapport du volume total des pores ouverts dans un cops poreux à son volume apparent. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent.
- Porosité totale : rapport du volume des pores ouverts et des pores fermés au volume apparent du produit, exprimé en pourcentage.

II.7.2 Principe :

Détermination par pesée des éléments suivant : masse apparente d'un corps d'épreuve de béton après immersion dans un liquide avec lequel il a été imprégné sous vide, détermination de sa masse dans l'air libre alors qu'il est encore imbibé de liquide puis masse de corps d'épreuve sec.

A partir de ces valeurs, détermination, par le calcul, de la masse volumique apparente, de la porosité ouverte et de la porosité totale.

II.7.3 APPAREILLAGE :

- Étuve, pouvant être contrôlée à 105±5°C.
- Appareillage à vide, capable de réduire la pression à une valeur inférieure ou égale à 25 mbars, et manomètre pour mesurer la pression utilisée.
- Balance hydrostatique, d'une précision de ± 0.01g.
- Pont, placé au –dessus du système de suspension de la balance (voir figure II.12).
- Liquide d'imbibition : eau potable
- Dessiccateur.
- Récipient de volume suffisant pour permettre l'immersion totale du corps d'épreuve.



Figure II.12. Pont, placé au –dessus du système de suspension de la balance.

II.7.4 dimensions des éprouvettes :

Dimensions recommandées (voir l'article II.3.2 Le corps d'épreuve).Il est souhaitable de procéder à la mesure sur trois échantillons pour caractériser un béton.

II.7.5 MODE OPERATOIRE :

II.7.5.1.Imbibition des éprouvettes :

On Place les éprouvettes dans un récipient étanche.une fois le récipient fermé , on fait le vide jusqu'à ce que l'on atteigne une pression constante de 25 mbars, on maintenir ce vide pendant au moins 4h.pour s'assurer que le dégazage des éprouvettes est terminé , on déconnecte le récipient de la pompe à vide et on vérifier à l'aide d'un manomètre que la pression ne remonte pas dans le corps d'épreuve.

On reconnecte le récipient à la pompe à vide et introduire progressivement l'eau d'immersion de façon qu'après 15 minutes, les éprouvettes soit recouvertes d'environ 20mm d'eau. Maintenir cette pression réduit pendant 20h±1h à 20°C±2°C, puis on déconnecte la pompe et ouvrir le récipient (voir figure III.13)



Figure II.13. Imbibition des éprouvettes

II.7.5.2.Détermination de la masse des éprouvettes immergées :

On Suspendre les éprouvettes à l'aide d'un fil à partir du système de suspension de la balance hydrostatique et les on peser complètement immergées dans une certaine quantité d'eau d'immersion contenue dans un bécher .on obtient ainsi la masse M_{eau} des éprouvettes immergées.

II.7.5.3 Pesè dans l'air :

Extraire les éprouvettes de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'un linge humide, afin de les débarrasses des gouttelettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores. On obtient de cette manière, la masse M_{air} des éprouvettes imbibées.

II.7.5.4 Détermination de la masse du corps d'épreuve sec :

On sèche les éprouvettes dans une étuve à 105 ± 5°C pendant 7 jrs, on obtient de cette manière, la masse sèche M_{sec}.

II.7.5.5 Expression des résultats :

La masse volumique apparente $\mathbf{p_d}$, est donnée par l'équation :

$$\mathbf{P_d = M_{sec} / M_{air} - M_{eau}} \quad \text{……..(1)}$$

La porosité accessible à l'eau, ε, exprimée en pourcentage en volume, est donnée par l'équation :

$$\boldsymbol{\varepsilon = (M_{air} - M_{sec} / M_{air} - M_{eau})X100} \text{ ……..(2)}$$

Dans les équations (1) et (2) :

M_{eau} est la masse, en gramme, des éprouvettes immergées dans l'eau.

M_{air} est la masse , en gramme, des éprouvettes imbibées pesées dans l'air.

M_{sec} est la masse , en gramme, des éprouvettes secs.

CHAPITRE III

Présentation des résultats

III.1. Introduction

Un ouvrage doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques….) c'est-à-dire aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions diverses telles que le vent, la pluie, la chaleur, le milieu ambiant…tout en conservant son esthésme.il doit satisfait, avec un niveau constant, les besoins utilisateurs au cours de sa durée de service.

L'objectif de cette étude expérimentale est d'étudier le comportement physico-mécanique du matériau, et la durabilité pour nos bétons allégés par des billes de polystyrène PSE. Ainsi d'examiner leurs influences sur les caractéristiques vis-à-vis des milieux agressifs tels que les acides.

III.2. Résultats et interprétations

III.2.1 Etude des comportements physico-mécaniques

III.2.1.1. la masse volumique

Sur la figure 3.1, on suit la variation de la masse volumique des composites formulés par la méthode de **DREUX GORISSE**.

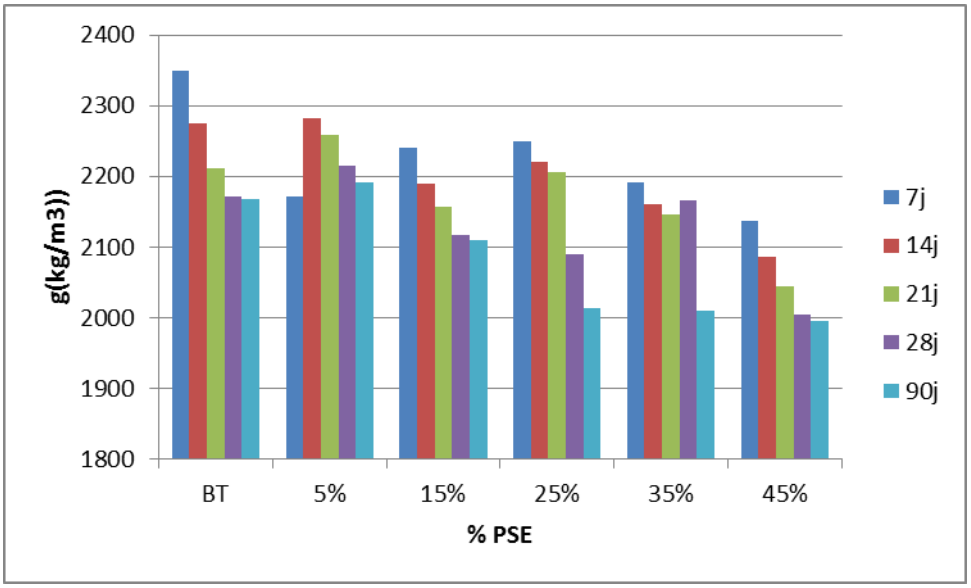


Figure III .1: Evolution de la masse volumique en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21,28 et 90 jours.

Selon la figure 3.1, la masse volumique varie de 2350.03 kg/m^3 à 1995.19 kg/m^3, pour une teneur en PSE allant de 0% à 45%, ce qui correspond à une réduction de l'ordre de 15%' cette faible densité utile dans les travaux d'allégement des structures, peut également facilite

la mise en œuvre sur les chantier , la baisse de la masse volumique du composite est liée à l'augmentation de la teneur en billes de PSE.

III.2.1.4. la résistance à la compression

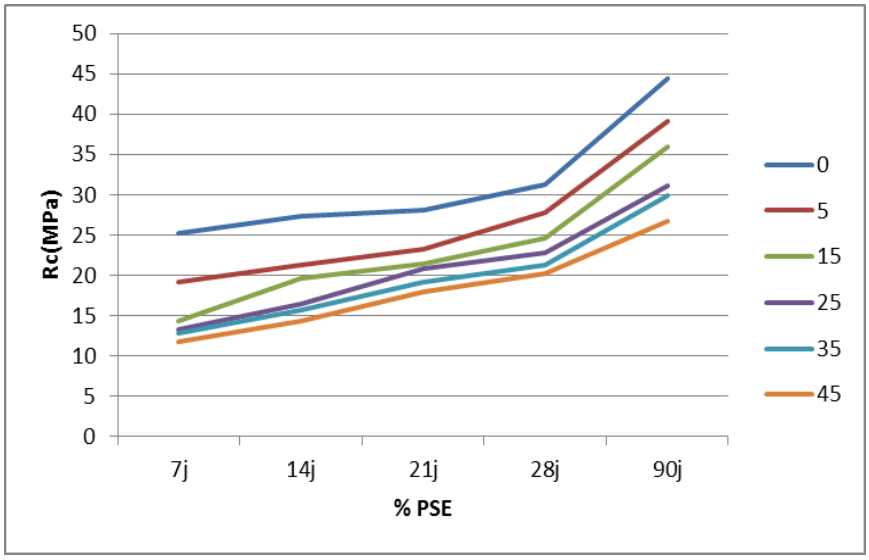


Figure III .2 : Evolution de la résistance Rc en fonction de dosage de PSE à 7,14,21,28 et 90 jours

Les résistances diminuent considérablement avec l'augmentation des billes de PSE .elles sont variables entre 44.40 MPA et 26.66 MPA, soit une réduction de l4ordre de 40 %, mais reste dans les valeurs compatibles avec l'utilisation en isolant porteur et semi- porteur.

III.2.2. Etude de la durabilité du composite au contact d'une eau acide

L'intérêt des essais de durabilité pour nos bétons allégés par les billes de polystyrène PSE est d'examiner leurs influences sur les caractéristiques vis –à-vis des milieux tels que les acides.

III.2.2.1. la masse volumique

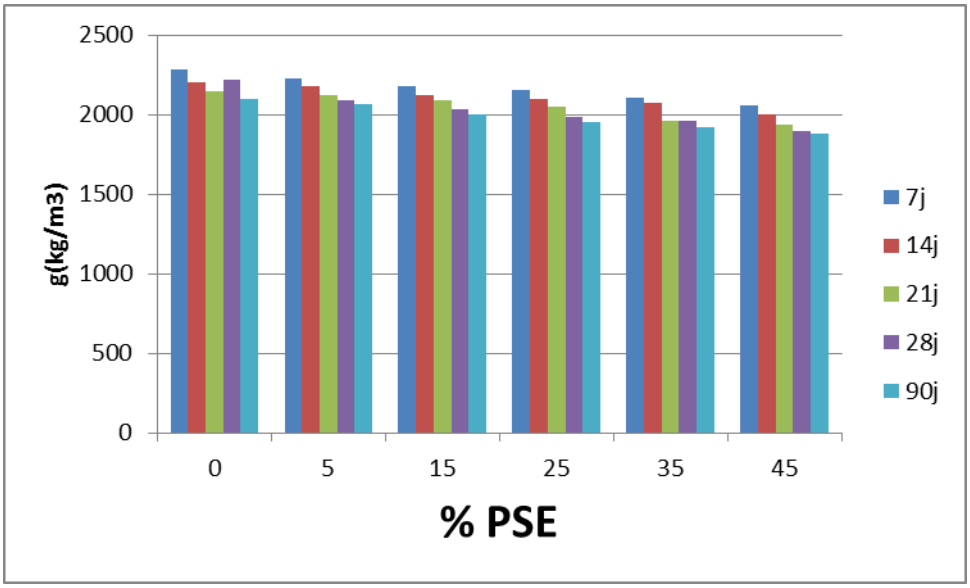


Figure III .3: Evolution de la masse volumique en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21,28 et 90 jours dans le milieu acide.

En remarque que les masses volumiques diminuent toujours en fonction du dosage en PSE, elles sont variables entre 2287.04 kg/m^3 et 1883.12 kg/m^3 soit une réduction de 17%.

III.2.2.2. la perte de masse

L'utilité de faire mesurer la perte de masse c'est de comparer la dégradation de nos bétons en fonction de dosage de PSE.

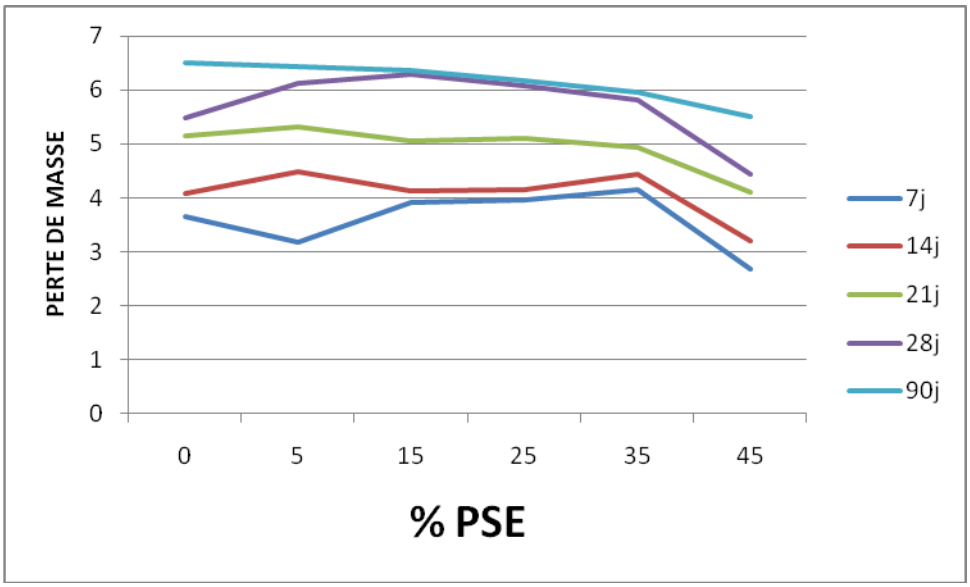


Figure III .4 : Evolution de la perte de masse en fonction de dosage de PSE à 7, 14, 21, 28 et 90 jours dans le milieu acide.

A travers la figure 3.4 nous remarquons que la substitution du sable par les billes de polystyrène expansé dans le milieu agressif (acide HCL), diminue en fonction de dosage de PSE.

-Dans le milieu agressif la perte de masse diminue en fonction de dosage PSE.

III.2.2.3. la porosité

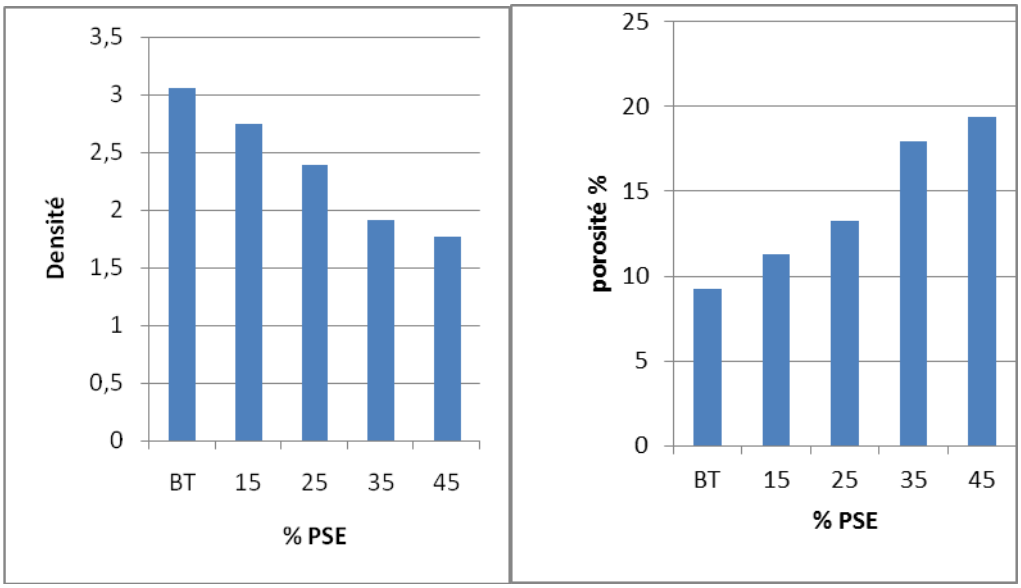


Figure III .5 : Evaluation de la densité et la porosité en fonction de PSE.

Les résultats montrent que l'augmentation du taux de la porosité et diminution du taux de la densité en fonction de dosage en PSE fait élargir les vides au niveau de la matrice, ce qui influence négativement sur la résistance.

III.2.2.4. la résistance à la compression

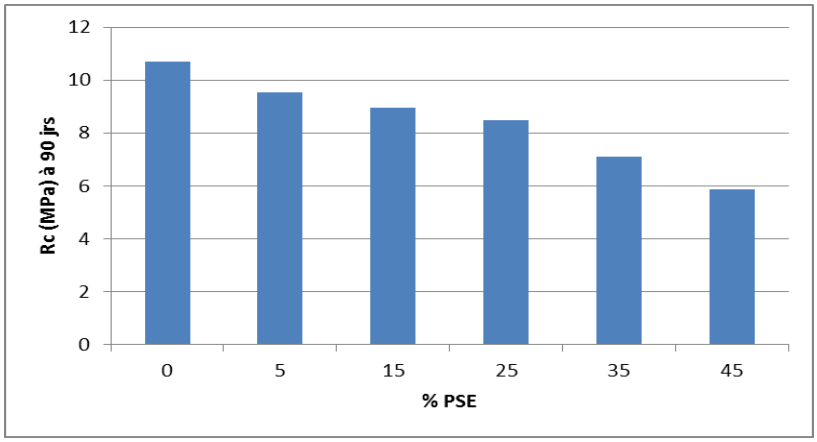


Figure III .6 : Evaluation de la résistance R_C en fonction de PSE à 90 jrs .

On remarque que les résistances des éprouvettes dans le milieu agressif diminuent progressivement en fonction de l'augmentation du dosage en PSE.

III.3 : Examen visuel

Avant traitement HCL **Après traitement HCL**

Béton témoin



Figure III . 7. Photographie de l'échantillon de béton témoin

Les échantillons en béton témoins ont commencé à s'endommager, c'est un endommagement localisé à la surface environ 5 mm, entraînant une perte de matière sur toutes les faces en cantate directe à l'eau acide

B PSE 5%



Figure III . 8. Photographie de l'échantillon en béton allégé par 5% de PSE

D'après nous observation visuels, la degradation superficielle moin faible que les échantillons des bétons témoins, environ 2mm à cause du présence des billes de PSE.

- Endommagement importante de la matrice environ 5 mm.

B PSE 15%



Figure III . 9. Photographie de l'échantillon en béton allégé par 15% de PSE

- Détachement des billes de PSE de la patte.

B PSE 25%



Figure III . 10. Photographie de l'échantillon en béton allégé par 25% de PSE

- Degradation superficielle moin faible de la matrice environ

B PSE 35%



Figure III . 11. Photographie de l'échantillon en béton allégé par 35% de PSE

- Dégradation superficielle moins faible de la patte avec un détachement des billes de PSE

B PSE 45%





Figure III . 12. Photographie de l'échantillon en béton allégé par 45% de PSE

- Dégradation superficielle faible de la pate avec un détachement des billes de PSE

CONCLUSION

Dans ce chapitre nommé étude expérimentale nous avons présenté les différents essais expérimentaux et les résultats qu'on a effectué sur la durabilité des bétons allégés par les billes de polystyrènes tels que l'agressivité d'un milieu acide (acide fort HCL) ainsi que la porosité.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de déterminer l'effet de substitution du sable par des perles de polystyrène expansé PSE, dans une composition de béton formulé par la méthode de Dreux Gorisse, sur les performances physico- mécaniques ainsi que sur les facteurs de durabilité, notamment le comportement face aux attaques agressives d'un milieu acide. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

- La densité des composites est diminuée progressivement avec l'augmentation du pourcentage du polystyrène expansé.
- La porosité des composites est augmenté progressivement avec l'augmentation du pourcentage du polystyrène expansé.
- La résistance des éprouvettes dans le milieu agressif diminué progressivement en fonction de l'augmentation du dosage en PSE.
- Dans le milieu agressif la perte de masse diminue en fonction de dosage PSE.
- Les résultats de l'étude du comportement du composite élaboré, face aux attaques d'un milieu acide, a mis en évidence l'intérêt de la substitution des billes de PSE, dans sa résistance aux dégradations causées par la pénétration d'agents agressifs. Ceci est caractérisé par une faible diminution des performances physico-mécaniques.
- Dans le milieu acide, on observe un état de dégradation nettement plus avancé pour le béton de référence, que pour le béton allégé par les particules de PSE.

- Ce travail constituait une première étude de la durabilité des bétons de structure allégés par des billes de PSE, et de leur résistance face aux agents agressifs. Il ouvre la voie à de nombreuses études ultérieures et laisse présager de multiples applications industrielles.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

[1]Satish Chandra et al «Lightweight Aggregate Concrete», Building Materials Séries.2002

[2] Règle BAEL – Béton de granulat léger artificiel, Technique de l'ingénieur, C2 318

[3] Bétons de granulats légers. Manuel CEB-FIP. Ann. ITBTP, janv. mai et déc. 198

[4] w w w. Infociments.fr/ bétons/types/autres/béton léger

[5] James E.Mark, physical proprieties of polymer Hand book, springer, 2007. 2éd, 1076p.

[6] WWW.Reforme des collectivités locales – Fr. /polystyrène – expansé/23 out 2012.

[7] Brewo burger, Claude dumas,valirie michel,polystyrene expansé et développement durable Eyrolles 2008.

[8] [Erner, A., Henry, J.F., Billon, N. Mechanical dissipation during plug assisted thermoforming of polystyrene as measured by infrared thermograph; ESAFORM'2004 Conf. Proc., Trondheim, Norway (2004).

[9]A. GUEZOULI &A. BENAISSA «le polys beto un nouveau matériau de construction». Dé cembre 2005.

[10] K. MILLED: «Effet de taille dans le béton léger de polystyrène expansé». Thèse de Doctorat. L'école Nationale Des Ponts Et Chaussées. 21 Novembre 2005

[11] M. CONTANT, 2000

[12] ADAM.M "propriétés des bétons"; centre de recherches interuniversitaire sur le béton université SHERBOOK; édition EYROLLES,

[13] Saida BOUALLEG : Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires (Mémoire de Magister- Université Mohamed Boudiaf de M'sila-2004)

[14] GRUBE H., RECHENBERG W. – "Durability of concrete structures in acidic water". Cem. Concr. Res., vol. 19, n° 5, p 183-

[15] ZHANG, M.-H. and GJØRV, O.E. (1991), "Mechanical Properties and High-Strength Lightweight Concrete", ACI Materials Journal, 88 (2), 150-158.

[16]: COUSSY (O.), BAROGHEL-BOUNY (V.), DANGLA (P.) et MAINGUY (M.). – Évaluation de la perméabilité à l'eau liquide des bétons à partir de leur perte de masse durant le séchage, dans « Transferts dans les bétons et durabilité ». Numéro double spécial de la Revue Française de Génie Civil, (Ed. by V. Baroghel-Bouny, Hermès Science Publications, Paris), vol. 5, N^{o} 2-3, pp 269-284 (2001).