



**UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER – BISKRA**



**FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL & D'HYDRAULIQUE**

N° d'ordre : . . . . .

Série : . . . . .

**MÉMOIRE DE MAGISTER**

Spécialité : **GÉNIE CIVIL**

Option : **Matériaux De Construction**

Présenté par

**HERIHRI OUIDED**

- Thème -

*Formulation et Caractérisation  
des Bétons Légers.*

Soutenue le : 12 / 07 / 2010

**Devant le jury :**

Président :	<b>B. MEZGHICHE</b>	<b>M.C</b>	Université de BISKRA
Rapporteur:	<b>A. GUETTALA</b>	<b>Prof.</b>	Université de BISKRA
Examineur:	<b>M. MELLAS</b>	<b>M.C</b>	Université de BISKRA
Examineur:	<b>R. CHEBILI</b>	<b>M.C</b>	Université de BISKRA

---

---

## *Formulation et Caractérisation des Bétons Légers.*

---

---

### **Résumé :**

*Ce mémoire est consacré à l'étude de la formulation et la caractérisation des bétons légers. Le béton léger qui est un matériau ancien et en même temps nouveau, fait partie de la gamme des bétons spéciaux. Ces caractéristiques suggèrent de nouvelles applications.*

*Ce qui distingue le béton léger du béton ordinaire est sa faible masse volumique. La masse volumique du béton ordinaire varie de 2200 à 2600 kg/m<sup>3</sup> tandis que celle du béton léger varie entre 300 et 1850 kg/m<sup>3</sup>. L'utilisation d'un béton de masse volumique faible contribue à la réduction du poids des éléments construits avec ce béton et par la suite des dimensions des éléments porteurs, aboutissant à la réduction des efforts transmis au sol par les fondations, et par conséquent les dimensions de cette dernière ; ce qui permet la construction sur des sols de faible capacité portante. La technologie de ces bétons peut être profitable pour la construction, notamment dans les pays en voie de développement.*

*Les bétons légers ont une faible conductivité thermique et une bonne isolation acoustique. Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique et acoustique dans les bâtiments. Ces bétons sont normalement réalisés par trois manières : en employant les granulats légers, l'aération ou le gaz, ou en faisant une réduction de la partie fine du granulat. Dans chacun des trois cas la réduction de la densité du béton est réalisée par une augmentation des vides d'air dans le béton.*

*Pour notre étude on a choisi les bétons légers confectionnés à partir de granulats légers artificiels, pour apporter notre contribution dans la recherche sur les différents granulats légers et visant la réduction de la consommation des granulats usuels et la conservation des ressources naturelles.*

*Le granulat léger artificiel qui a été choisi pour cette étude en se basant sur ces caractéristiques intéressantes est le **polystyrène expansé**. Ce dernier est un matériau climatique, qui absorbe le surplus de chaleur pendant la journée, en été. Il offre un espace sec et confortable, et élimine l'humidité qui peut se condenser sur les murs.*

*La formulation des séries de Bétons de Granulats Légers au Polystyrène Expansé (BGLPSE) à été faite suivant un plan d'expérience bien déterminé, permettant la caractérisation du béton de polystyrène, et les principaux facteurs influants sur son comportement rhéologique et mécanique tels que : la matrice cimentaire, le pourcentage du granulat léger, les particularités en matière de formulation des bétons légers, et le rapport Eau/Ciment ( E/C).*

Porter

**Mots clés** : Béton léger, Résistance, Masse volumique, Granulats légers, Isolation thermique, Isolation acoustique.

## تركيب وتوصيف للخرسانة الخفيفة

### ملخص

هذه المذكرة هي تكريس لدراسة تركيب و توصيف للخرسانة الخفيفة، هذه المادة القديمة الجديدة هي نوع من مجموعة الخرسانة الخاصة. خصائصها توحى بتطبيقات جديدة.

ما يميز الخرسانة الخفيفة عن الخرسانة التقليدية هو كثنتها الحجمية. حيث الكتلة الحجمية للخرسانة العادية محددة بالمجال 2200 الى 2600 كغ/م<sup>3</sup> بينما الخرسانة الخفيفة محددة بالمجال 300 الى 1850 كغ/م<sup>3</sup> استعمال خرسانة ذات كتلة حجمية ضعيفة يساهم في إنقاص وزن العناصر المبنية بهذه الخرسانة و بالتالي أبعاد العناصر الحاملة، للوصول إلى تخفيض في الإجهادات المنقولة إلى الأرضية عن طريق الأساسات، و نتيجة لذلك إنقاص أبعاد هذه الأخيرة، مما يسمح بالبناء على أرضيات ذات قدرة تحمل ضعيفة. هذه التكنولوجيا يمكن أن تكون مربحة في البناء و خصوصا بالنسبة للبلاد السائرة في طريق التطور.

الخرسانة الخفيفة تمتلك ناقلية حرارية ضعيفة و عزل صوتي جيد. و بالتالي يمكن لها أن تساهم في إعطاء حل تقني مهم لمشكل العزل الحراري و الصوتي في البناءات. يتم إنجاز هذا النوع من الخرسانة بواسطة ثلاثة طرق: استخدام الركام الخفيف، التهوية او الغاز، تقليل كمية الركام الصغير. في الحالات الثلاثة الإنقاص في الكثافة يتم عن طريق زيادة حجم الفراغ في الخرسانة.

في دراستنا اخترنا الخرسانة الخفيفة المصنوعة من ركام خفيف اصطناعي، و الإسهام في البحث بخصوص مختلف أنواع الركام الخفيف بغرض التقليل من استهلاك الركام التقليدي و الحفاظ على الموارد الطبيعية.

الركام الخفيف الصناعي الذي أختير في هذه الدراسة إستنادا إلى خصائصه المميزة هو polystyrène expansé . هذا الأخير يعتبر من المواد المصنعة التي تمتص الحرارة الزائدة خلال النهار وفي موسم الصيف. يقدم مساحة مريحة و ملائمة ، و يلغي الرطوبة التي يمكن أن تتكثف على الجدران.

تركيب مجموعات خرسانة الركام الخفيف تمت تبعاً لمخطط اختبارات محدد، يسمح بتوصيف خرسانة البوليسيتيرين، و أهم العوامل المؤثرة على تصرفها الريولوجي و الميكانيكي نذكر : العجينة الإسمنتية ، نسبة الحبيبات الخفيفة، خصوصية طريقة التركيب و نسبة ماء إلى اسمنت E/C

**كلمات مفتاحية :** الخرسانة الخفيفة، المقاومة ، الكتلة الحجمية ، الركام الخفيف، العزل الحراري، و العزل الصوتي .

---

---

## *Design and Characterization of Lightweight concrete.*

---

---

*This report is dedicated to the study of design and characterization of lightweight concretes. The lightweight concrete which is an ancient and new material at the same time, is one of the range of special concretes. Its characteristics suggest new applications.*

*What distinguishes the lightweight concrete of the ordinary concrete is its low density. The density of the ordinary concrete varies from 2200 to 2600 kg /m<sup>3</sup> whereas that of the lightweight concrete varies between 300 and 1850 kg /m<sup>3</sup>. The use of a concrete of low density contribute to the reduction of the weight of the elements constructed with this concrete the dimensions of the Porter elements, leading to the reduction of the efforts transmitted to the ground by the foundations, and consequently the dimensions of this prior; what allows the construction on grounds of low carrying capacity. The technology of these concretes can be profitable for the construction, particularly in the developing countries.*

*Lightweight concretes have a low thermal conductivity and a good sound proofing. Consequently, they can bring a very interesting technical solution of the problem of heat and acoustic insulation in buildings. These concretes are normally realized by three manners: by using the lightweight aggregates, the aeration or the gas, or by making a reduction of the fine part of the aggregates. In each of the three cases the reduction of the density of the concrete is realized by an increase of the air voids in the concrete*

*For our study we have chosen lightweight concretes made up from artificial lightweight aggregates, to make our contribution in the research on the various lightweight aggregates and aiming to the reduction of the consumption of the usual aggregates and the preservation of natural resources.*

*The artificial lightweight aggregate which was chosen for this study basing on its interesting characteristics is the **expanded polystyrene**. This last one is a climatic material, which absorbs the surplus of heat during the day, in summer. He offers a dry and comfortable space, and eliminates the humidity which can condense on walls.*

*The design of the sets of the Lightweight Concrete with Expanded Polystyrene (BGLPSE) was made according to a well determined experiment plan, allowing the characterization of the concrete with polystyrene, and the main factors influencing the rheologic and mechanical behavior, such as: the cement matrix, the percentage of the lightweight aggregate, the peculiarities in the lightweight concretes design, and the Water/Cement ratio (E/C).*

**Key words:** *lightweight concrete, Strength, density, lightweight aggregates, thermal insulation and acoustic insulation.*

## **Remerciements**

*Ce travail a été réalisé à l'Université de Mohamed khider BISKRA au sein du laboratoire Matériaux de construction de département de génie civil. C'est pourquoi je remercie les responsables qui m'ont accueilli dans le laboratoire.*

*Je voudrais particulièrement remercier mon encadreur, Monsieur **Abed Elhamid GUETTALA**, Professeur à l'Université de Biskra, pour m'avoir suivi au cours de ces trois ans. Je tiens à souligner leur disponibilité, le soutien qu'ils m'ont apporté dans les moments les plus difficiles de cette mémoire, leurs idées, leurs expériences et la confiance qu'il m'a accordée.*

*Je voudrais également adresser mes vifs remerciements au président de jury. Monsieur **B. MEZGHICHE**, Maître de conférence à l'Université de Biskra, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury. Je tiens à lui exprimer ma plus profonde gratitude.*

*Je tiens aussi à remercier les membres de jury : Monsieur **M. MELLAS**, Professeur habilité à l'Université de Biskra et Monsieur **R. CHEBILI**, Maître de conférence à l'Université de Biskra, pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail en acceptant de le juger.*

*Je remercie Monsieur **LEBBAR Abdallah**, directeur de la société d'études technique et économique Biskra S.E.T.E.B, de m'avoir encouragé pour continuer mes études, ainsi que tous mes collègues de travail en particulier : Fatma, Soumia, Karima, Sihem, Bahia, ,...ect pour leurs encouragements.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur **MADHOUI** qui m'a aidé au moment critique.*

*J'adresse à mes amies Karima, Razika, Mouniètte, Samia et Meriem un merci pour ces aides à la réalisation de ce mémoire.*

*Finalement, je ne pourrais passer sous silence le soutien moral de mes parents et de mes frères qui ont su tout au long de ces années m'encourager dans ma démarche.*

## **Sommaire**

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>I . BÉTONS LÉGERS : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>1 CONCEPT DES BÉTONS LÉGERS</b>	<b>4</b>
1.1. INTRODUCTION	5
1.2. LE BETON LEGER	6
1.2.1. Le béton cellulaire	7
1.2.2. Le béton caverneux	9
1.2.3. Les bétons de granulats légers	10
1.2.3.1. Les bétons de granulats légers naturels	13
1.2.3.2. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique	13
1.2.3.3. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial :	14
1.2.3.4. Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux :	14
1.3. CLASSIFICATION DU BETON LEGERS	14

1.4.FORMULATION.....	16
1.4.1.LA NATURE DE L'OUVRAGE.....	17
1.4.2.PROPRIETES DES BETONS LEGERS.....	18
1.4.3.LE DOSAGE.....	19
1.5.LES CONSTITUANTS DU BETON DE GRANULATS LEGERS.....	20
1.5.1.LES LIANTS HYDRAULIQUES.....	20
1.5.2.LES GRANULATS LEGERS.....	23
1.5.2.1.Granulats Naturels: (D'origine Minérale ou Végétale).....	26
1.5.2.1.1.Granulats Minéraux.....	26
1.5.2.1.2. Granulats végétaux.....	28
1.5.2.2.Granulats Obtenus Par Traitements: (D'origine Minérale ou Végétale).....	28
1.5.2.2.1.Mâchefer.....	28
1.5.2.2.2.Le Laitier.....	29
1.5.2.2.3.Cendres Volantes Frittées Et Expansées.....	30
1.5.2.2.4.Vermiculite.....	32
1.5.2.2.5.Perlite.....	33
1.5.2.3.Granulats Fabriqués Spécialement : (granulats artificiels).....	34
1.5.2.3.1. Argile Expansées.....	34
1.5.2.3.2. Schiste expansé.....	36
1.5.2.3.3. Billes de polystyrène.....	38

.....	1.5.2.4. Les Matériaux Légers De Recyclage .....	39
.....	1.5.2.4.1. Les plastiques .....	39
.....	1.5.2.4.2. Les caoutchoucs .....	41
.....	1.5.3. LES ADJUVANTS .....	42
.....	1.5.3.1. Les agents entraîneurs d'air .....	42
.....	1.5.3.2. Les agents moussants .....	43
.....	1.5.3.3. Les Super Plastifiants .....	43
.....	1.5.3.4. Les fibres .....	44
.....	1.6. DOMAINE D'UTILISATION .....	44
.....	1.7. LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS .....	45
.....	1.7.1. Avantages techniques .....	46
.....	1.7.2. Avantages de Mises En Œuvre .....	46
.....	1.7.3. Avantages économique .....	
.....	conclusion .....	46
.....	<b>2 LES BÉTONS LÉGERS DE POLYSTYRENE EXPANSE .....</b>	<b>48</b>
.....	2.1. INTRODUCTION .....	49
.....	2.2. COMPOSITION DES BETONS LEGERS DE POLYSTYRENE EXPANSE	51



2.2.1. Le liant .....	51
..	
2.2.2. Sable .....	51
..	
2.2.3. Polystyrène .....	52
.....	
2.3. DIFFERENCE ENTRE LE POLYSTYRENE NON TRAITE ET LE POLYSTYRENE TRAITE .....	53
...	
2.3.1. LE POLYSTYRENE NORMAL NON TRAITE .....	53
.....	
2.3.2. LE POLYS BETO .....	55
.....	
2.4. PROPRIÉTÉS DES BÉTONS LÉGERS DE POLYSTYRÉNE EXPANSE .....	56
..	
2.4.1. La masse volumique .....	56
.....	
2.4.2. La durabilité .....	58
.....	
2.4.3. La rhéologie à l'état frais .....	58
.....	
2.4.4. Les propriétés mécaniques .....	59
.....	
2.4.5. Les propriétés acoustiques .....	59
.....	
2.4.6. Les propriétés thermiques .....	60
.....	61
Conclusion. ....	
.....	
Orientation de l'étude .....	62
.....	
<b>II. BÉTONS LÉGERS : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE .....</b>	<b>63</b>

.....	
<b>3 MATÉRIAUX, MÉLANGES ET ESSAIS UTILISÉS .....</b>	<b>63</b>
.....	
3.1. INTRODUCTION .....	64
.....	
3.2. Caractérisation Des Matières Premières .....	64
.....	
3.2.1. LIANT .....	64
.....	
3.2.2.EAU .....	65
.....	
3.2.3.POLYSTYRENE EXPANSE .....	65
.....	
3.2.4.SABLE .....	66
.....	
3.3. Description Des Bétons .....	66
.....	
3.3.1.Formulation par la méthode 1 .....	67
.....	
3.3.2.Formulation par la méthode 2 .....	69
.....	
3.4. DESCRIPTION DES ESSAIS EN LABORATOIRE .....	70
.....	
3.4.1.Introduction .....	70
.....	
3.4.2.Coulage des éprouvettes et conditions de cure .....	71
.....	
3.4.3.Mesures (béton frais) .....	72
.....	
3.4.3.1.Mesure de l'essai d'étalement .....	72
.....	

3.4.3.2. Mesure de la masse volumique apparente . . . . .	73
.	
3.4.4. Mesures (béton durci) . . . . .	73
.	
3.4.4.1. Mesures de la masse volumique . . . . .	73
..	
3.4.4.2. Mesures de la résistance mécanique . . . . .	74
...	
3.4.4.2.1. Mesures de la résistance à la compression . . . . .	74
..	
3.4.4.2.2. Mesures de la résistance à la flexion . . . . .	74
..	
3.4.4.2.3. Mesures de la résistance à la traction par flexion . . . . .	75
.	75
3.4.4.2.4. Mesures de la Mesures module d'élasticité dynamique . . . . .	
..	
conclusion . . . . .	76
...	
<b>4 FORMULATION ET CARACTÉRISATION DES BÉTONS LÉGERS</b>	<b>77</b>
4.1. INTRODUCTION . . . . .	78
.	
4.2. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS . . . . .	79
.	
4.2.1. Etude à l'état frais . . . . .	79
..	
4.2.1.1. La maniabilité . . . . .	79
...	
4.2.1.2. Masse volumique apparente . . . . .	84
..	
4.2.2. Etude à l'état Durci . . . . .	87
...	
4.2.2.1. Masse volumique apparente du béton durci . . . . .	88
.	
4.2.2.2. Les Résistances mécaniques . . . . .	91
..	

4.2.2.2.1. Mesures de la résistance à la compression . . . . .	91
...	
4.2.2.2.2. Mesures de la résistance à la flexion . . . . .	95
...	
4.2.2.2.3. Mesures de la résistance à la traction par flexion	99
4.2.2.3. Module d'élasticité dynamique . . . . .	102
...	
4.2.2.4. Evaluation De La Résistance A La Compression En Fonction De La Masse Volumique . . . . .	106
.....	
Billant . . . . .	108
.	
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVE</b>	109
<b>Bibliographie</b>	114

## Liste des figures

<b>N°</b>	<b>Figure</b>	<b>Page</b>
1.1	Représentation schématique des différents types de bétons légers .....	7
1.2	Poids et gamme de force de béton .....	13
1.3	: masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours.....	16
1.4	: Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de pierre ponce en fonction de sa masse volumique apparente (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65 % d'humidité relative .....	27

1.5 : la variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de laitier expansé en fonction de sa masse volumique apparente (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité) .....	30
1.6 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de cendres volantes Frittées et expansées en fonction de sa masse volumique apparente (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) .....	32
1.7 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir d'argile expansées en fonction de sa masse volumique apparente (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) .....	36
1.8 : Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de schistes expansées en fonction de sa masse volumique apparente (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) .....	37
2.1 : polymérisation du styrène .....	52
2.2 : les différents types de composition .....	57

<b>N°</b>	<b>Figure</b>	<b>Page</b>
2.3 : Influence du dosage de ciment sur l'ouvrabilité du BLPSE .....		58
2.4 : Valeur des facteurs de diminution acoustique de différents matériaux .....		60
2.5 : conductivité thermique en fonction de différentes masses volumiques .....		61
4.1 : Influence de la teneur en polystyrène sur l'étalement par la 1 <sup>ère</sup> méthode pour E/C= 0.45 & 0.50 .....		81
4.2 : Evolution de l'étalement en fonction de la teneur en polystyrène suivant la 2 <sup>ème</sup> méthode et E/C= 0.45&0.5 .....		83
4.3 : Evolution de la masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en		86

polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5 .....	
4.4 : Evolution de la masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 .....	87
4.5 : Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5 .....	89
4.6 : Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 .....	91
4.7 : Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 par la méthode 01 .....	93
4.8 : Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 par la méthode 02 .....	95
4.9 : Evolution de la résistance à la flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.50 .....	97
<b>N°</b>	<b>Figure</b>
<hr/>	
4.10 : Evolution de la résistance à la flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 par la méthode 02 .....	98
4.11 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour E/C= 0.45&0.5 par la méthode 01 .....	100
4.12 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour E/C= 0.45&0.5 par la méthode 02 .....	102
4.13 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour E/C= 0.45&0.5 par la méthode 02 .....	104
4.14 : Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour E/C= 0.45&0.5 par la méthode 02 .....	106

4.15 : Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la masse volumique des mélanges pour E/C= 0.45& 0.5 par la méthode 01.....	107
4.16 : Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la masse volumique des mélanges pour E/C= 0.45&0.50 par la méthode 02.....	108

## Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
1.1	: Les propriétés comparées des bétons cellulaires .....	8
1.2	: classification des bétons légers en fonction de la densité .....	15
1.3	: classification des bétons légers en fonction de la densité .....	16

<b>1.4 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre	
ponce .....	27
<b>1.5 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de laitier	
expansé .....	30
<b>1.6 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de cendres	
volantes frittées expansées .....	32
<b>1.7 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de vermiculite .....	33
<b>1.8 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de perlite .....	34
<b>1.9 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile	
expansée .....	35
<b>1.10 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes	
expansées .....	38
<b>1.11 :</b> Propriétés du béton léger confectionné à partir de billes	
de polystyrène .....	39

<b>N°</b>	<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
<b>3.1:</b>	Caractéristiques de ciment .....	64
<b>3.2:</b>	Composition chimique du ciment .....	65
<b>3.3:</b>	Composition minéralogique de ciment .....	65
<b>3.4:</b>	Caractéristiques de polystyrène POLYS BETO .....	66
<b>3.5:</b>	Compositions 01 de tous les mélanges E/C = 0,45 .....	67
<b>3.6:</b>	compositions 02 de tous les mélanges E/C = 0, 5 .....	68
<b>3.7:</b>	compositions 03 de tous les mélanges E/C = 0, 5 .....	69
<b>3.8:</b>	compositions 04 de tous les mélanges E/C = 0,45 .....	70
<b>3.9:</b>	Liste des essais réalisés et dimension des éprouvettes .....	71



<b>4.1:</b> Résultats des mesures d'étalement par la méthode 01 .....	80
<b>4.2:</b> Résultats des mesures d'étalement par la 2ème méthode .....	82
<b>4.3:</b> Résultats les mesures de masse volumique apparente par la méthode 01. ....	85
<b>4.4:</b> Résultats des mesures de masse volumique apparente par la méthode 02. ....	86
<b>4.5:</b> Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5 .....	88
<b>4.6:</b> Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 .....	90
<b>4.7:</b> Evolution de la résistance à la compression à l'état durci en .....	
fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports E/C= 0.45&0.5. ....	92

N°	Tableau	Page
<b>4.8:</b> Evolution de la résistance à la compression à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports E/C= 0.45&0.5. ....		94
<b>4.9:</b> Evolution de la résistance à la flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports E/C= 0.45&0.5. ....		96
<b>4.10:</b> Evolution de la résistance à la flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02		97

pour les deux rapports $E/C= 0.45&0.5$ . . . . .	
<b>4.11:</b> Evolution de la résistance à la traction par flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports $E/C= 0.45&0.5$ . . . . .	99
<b>4.12:</b> Evolution de la résistance à la traction par flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports $E/C= 0.45&0.5$ . . . . .	100
<b>4.13:</b> Evolution du Module d'élasticité dynamique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports $E/C= 0.45&0.50$ . . . . .	103
<b>4.14:</b> Evolution du Module d'élasticité dynamique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports $E/C= 0.45&0.5$ . . . . .	104

## Liste des photos

<b>N°</b>	<b>Photo</b>	<b>Page</b>
<b>1.1</b>	Babylone, Irak, construit par Sumerians dans le 3ème millenium B.C . . . . .	10
<b>1.2</b>	Cathédrale de rue Sofia, Hagia Sofia, commissionné par l'empereur Justinian au 4ème siècle A.D. à Istanbul, Turquie. . . . .	10

1.3 : The Roman temple, Pantheon, built in A.D. 118 .....	11
1.4 : The prestigious aqueduct, Pont du Gard, built in ca. A.D. 14 .....	11
1.5 : Le grand amphitheatre romain, Colosseum, construit entre A.D. 70 et 82 .....	11
1.6 : Pyramides au Mexique, construit pendant la période maya, à l'A.D. 624-987 [20] .....	11
1.7 : Mohenjo-Daro et Harappa, 2500 B.C. ....	11
3.8 : mesure des billes de polystyrène .....	66
3.9 : essai d'étalement .....	72
3.10 : mesure de la masse volumique .....	73
3.11 : essai de compression .....	74
3.12 : essai de flexion et de traction par flexion .....	75
3.13 : ultrason de type TICO .....	76

## INTRODUCTION

En pratique, la masse volumique d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m<sup>3</sup>, en conséquence, le poids propre des éléments de béton est élevé et peut représenter un fort pourcentage de la charge sur la structure.

L'utilisation d'un béton de masse volumique plus faible peut donc être bénéfique en termes d'éléments portants de sections plus petites et de la réduction correspondante des fondations occasionnellement l'utilisation d'un béton de masse volumique plus faible peut permettre de construire sur un sol de faible capacité portante, ainsi avec ces faible densité les coffrages subissent une pression moindre qu'avec un béton de densité normale [A. NEVILLE , 2000 ].

Les bétons légers, c'est à dire ceux dont la masse volumique à l'état sec est inférieure à  $1800 \text{ kg/m}^3$ , sont employés dans le génie civil depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, dans les pays développés d'Europe (France, Allemagne), d'Amérique (USA) et d'Asie (Japon et ex URSS). Depuis lors, les applications ne cessent de se multiplier à cause des avantages que présente ce produit tant sur le plan économique que technique. Ces bétons normalement réalisés par trois manières, en employant les agrégats légers, l'aération ou le gaz, ou en réduisant la partie fine du granulat. Dans chacun des trois cas la réduction de la densité du béton est réalisée par une augmentation des vides d'air dans le béton. [B. BENKHALFA, 1988]

Pour développer un tel béton, deux éléments doivent être pris en considération : les concepts liés à la formulation des bétons légers et l'utilisation de granulats légers. Par ailleurs, il devient de plus en plus intéressant d'évaluer le potentiel des matériaux légers comme source de matières premières.

Les caractéristiques mécaniques des bétons de granulats légers dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. En particulier, de par leur forte porosité, les granulats légers sont beaucoup plus déformables que la matrice cimentaire et leur influence sur la résistance du béton est complexe [ M. CONTANT, 2000].

Notre travail présenté ici vise à analyser l'influence des propriétés de ces granulats sur le comportement mécanique des bétons légers en suivant une approche expérimentale après notre choix de granulat ultra léger qui est le polystyrène expansé.

Le programme expérimental s'appuie sur les caractéristiques de la matrice cimentaire et le pourcentage des granulats légers ainsi le rapport E/C, ces facteurs qu'ont va les varies afin d'avoir ses effets sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons de granulats légers.

Les objectifs de ce mémoire sont:

- 1) la formulation d'un béton léger à base de polystyrène expansé suivant deux méthodes;

## 2) L'étude des caractéristiques mécaniques de béton léger de polystyrène expansé.

Dans un premier temps, une revue de la documentation liée à la formulation des bétons légers et aux matériaux légers est présentée. Dans un deuxième temps, on présente les principaux paramètres qui gouvernent la conception d'un béton Léger avec matériaux légers.

Dans ce contexte, ce mémoire s'articule autour de deux parties :

La première partie, comporte deux chapitres, est consacrée à la recherche bibliographique. Elle présente une revue approfondie sur l'état de recherches relatives au béton léger BL.

Au premier chapitre, nous exposons un aperçu détaillé sur les BL en tant que nouveau matériau, sans oublier leur historique et leurs innovations.

Après avoir décrit les différents types et classes du béton léger afin de caractériser ces propriétés, le deuxième chapitre fait un survol sur les bétons légers de polystyrène. Il expose leurs performances.

La deuxième partie, contient le troisième et le quatrième chapitre, est consacrée à l'étude expérimentale. Cette étude nous a permis de formuler un certain nombre de formulation des BL.

Le troisième chapitre regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant notre étude, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats d'une étude expérimentale conduite sur deux méthodes de formulations des bétons légers de polystyrènes expansés, elles sont basées sur le remplacement d'ensembles naturels par le volume complémentaire d'ensembles artificiels a travers des pourcentage bien choisies ainsi nous avons varié le rapport E/C afin d'avoir ces effets sur les propriétés rhéologique, physique et mécanique tels que : l'affaissement, la masse volumique, module dynamique et la résistance (compression, flexion et traction). Enfin, nous exposons en détail les résultats obtenus et leurs discussions.

Le manuscrit se termine par une conclusion générale rassemblant une synthèse des résultats et une présentation des perspectives à envisager lors d'études complémentaires.



**P**remière partie

**BÉTONS LÉGERS :**

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

# C

## hapitre 01

### CONCEPT DES BÉTONS LÉGERS

#### 1.1. INTRODUCTION

Les bétons légers connus dans le monde depuis plus d'un quart de siècle, dans cette période connaissent un regain d'intérêt, qui semble tout à fait mérité en raison de leurs propriétés. Il est très important de bien définir dès le départ, ce qu'est un béton léger, La commission R.I.L.E.M des bétons légers propose de définir les bétons légers comme étant des bétons dont la masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m<sup>3</sup>. Cependant d'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes, CORMON appelle béton léger un béton dont la masse volumique apparente à 28j inférieure à 1800 Kg/m<sup>3</sup> (1973) dans les conditions normales de conservation (température de 20° et 65% d'humidité relative). De même L'American concrete Institute limite la masse volumique apparente des bétons à 1800 Kg/m<sup>3</sup> après séchage à l'air pendant 28 jours. Par contre SHORT et KINNIBURG considèrent que la masse volumique apparente sèche d'un béton léger doit être inférieure à 1775 Kg/m<sup>3</sup>. Ainsi en Allemagne fédérale la norme DIN1042. Parue en 1972, limite la masse volumique



apparente d'un béton léger à 2000 Kg/m<sup>3</sup>. En fin la masse volumique après séchage comprise entre 800 et 2100 Kg/m<sup>3</sup> entièrement ou partiellement réalisés avec des granulats légers. Il est donc bien difficile de donner une définition précise des bétons en se basant sur une limite supérieure de la masse volumique apparente. Cependant la définition avancée par CORMON semble la plus intéressante, car elle est proche des valeurs limites de masse volumique généralement admises et surtout car elle est la plus précise quant aux conditions de conservation du béton et à la date de mesure. [ **B. BENKHALFA, 1988** ]

## **1-2. Le BETON LEGER**

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles applications, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m<sup>3</sup>, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m<sup>3</sup> [ **A. NEVILLE , 2000** ] .

D'après ce que nous avons vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 Kg/m<sup>3</sup> .

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m<sup>3</sup> [ **M. CONTANT, 2000** ] .

Ces bétons à des fins d'isolation et d'allègement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues, Donc les bétons légers de construction affectés par leurs **masses volumiques** et **ces résistances variées**. Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction.

En fin Le béton léger se caractérise essentiellement par leur faible masse volumique, adaptable aux exigences, par leur excellent rapport poids/résistance et par leur bonne isolation thermique, leur résistance à la chaleur et au feu, leur résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction.

Pour développer un béton léger, on doit prendre en considération deux aspects :

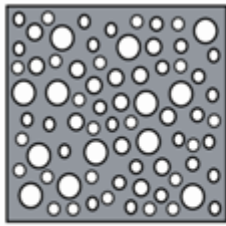
- 1) les particularités en matière de formulation des bétons légers,
- 2) la source des constituants spécifiques à la confection de bétons légers dont les matériaux légers naturels, artificiels et recyclés.

Ces deux aspects sont reliés avec la masse volumique qui diminue en remplaçant une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :

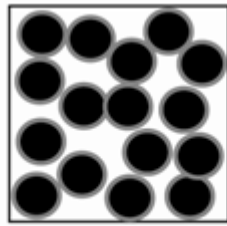
- soit dans les granulats ;
- soit dans la pâte de ciment ;
- Ou entre les gros granulats par élimination de granulats fins.

Ceci produit trois types de dénominations pour ces bétons soient :

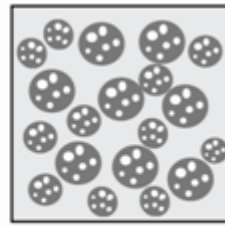
- 1- les bétons cellulaires ;
- 2- les bétons sans fines ( caverneux ) ;
- 3- les bétons de granulats légers ( argile expansé .....);



Béton Cellulaire



Béton caverneux



Béton de granulats légers

**Fig : 1.1** Représentation schématique des différents types de bétons légers [M.SHINK , 2003 ]

### 1.2.1. 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

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.

**Tableau 1.1** : Les propriétés comparées des bétons cellulaires [M. CONTANT , 2000]

<b>Masse volumique sèche</b>	<b>Résistance en compression</b>	<b>Résistance en flexion</b>	<b>Module d'élasticité</b>	<b>Conductivité thermique</b>
kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	GPa	Jm/m <sup>2</sup> s°C
450	3.2	0.65	1.6	0.12
525	4.0	0.75	2.0	0.14
600	4.5	0.85	2.4	0.16
675	6.3	1.00	2.5	0.18
750	7.5	1.25	2.7	0.20

Les résistances et le module d'élasticité augmentent en fonction de l'augmentation de la masse volumique du béton (voir tableau 1). En conséquence, il est possible d'obtenir une masse volumique souhaitée pour une résistance spécifique. Il est à noter que la résistance en flexion peut être améliorée par l'ajout d'armature ou de microfibres, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge. [ M. CONTANT, 2000 ]

Le béton léger « cellulaire » ou « aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau moulable, malléable, léger, durable et relativement résistant. Ce sont toutes des propriétés que les auteurs Agustin et al. (1990) démontrent comme étant des propriétés à rechercher pour l'habitation à faible coût. Le béton cellulaire non traité à l'autoclave, nécessite peu d'outillage spécialisé et peut être assemblé sans trop de machinerie. [M.SHINK , 2003 ]. Les bétons cellulaires ont généralement une masse volumique et une résistance à la compression extrêmement faibles. L'utilisation la plus courante des bétons cellulaires se limite au béton de remplissage dans des murs, plafonds, planchers ou comme matériaux de remblai [ M. CONTANT, 2000 ]

### 1.2.2. 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 [M. CONTANT, 2000 ]. 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.

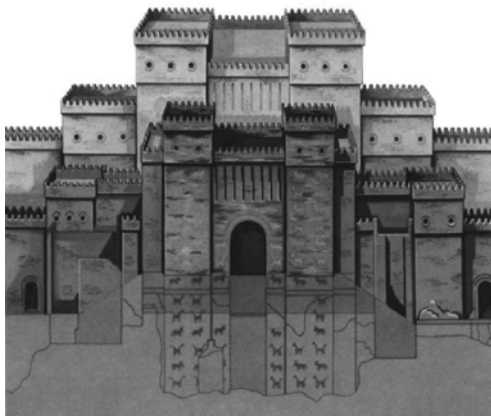
Le béton caverneux est un des types de béton léger obtenu quand on ne met pas de granulats fins dans le mélange. Ce béton ne compte que du ciment, de l'eau et de gros granulats. Il existe donc de gros vides au sein de la masse qui sont responsables de sa faible résistance. Toutefois la minuscule dimension de ces vides empêche tout mouvement capillaire de l'eau. La masse volumique du béton caverneux dépend de sa granulométrie.

La résistance en compression du béton caverneux est généralement comprise entre 1.5 et 14 Mpa. On note une augmentation de la résistance avec l'âge semblable à celle des bétons de densité normale. La résistance en flexion est habituellement égale à 30 % de la résistance en compression, c'est-à-dire supérieure à celle du béton ordinaire (Malhotra, 1989). Le retrait du béton caverneux est considérablement plus faible que celui d'un béton de densité normale. Ce béton est très résistant au gel. Sa forte absorption d'eau le rend cependant inutilisable dans les fondations et dans les situations où il peut se saturer en eau [A. NEVILLE, 2000 ] .

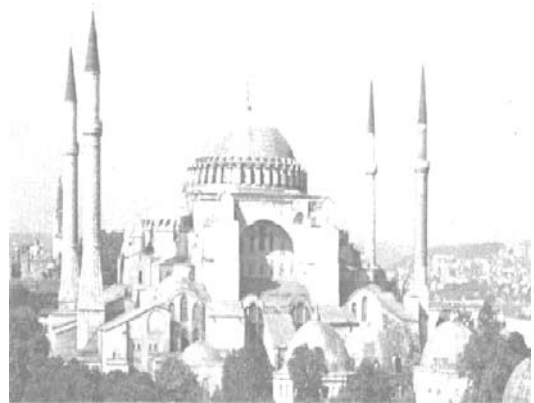
Leur utilisation n'est généralement pas associée à la recherche de la légèreté du produit, mais bien davantage pour les particularités économiques occasionnées par la faible teneur en ciment. On les utilise principalement dans la confection de murs porteurs de bâtiments domestiques et dans les panneaux de remplissage de cadres de structure. Ainsi pour des ouvrages requérant des propriétés drainantes, tels les puits de captage des eaux de ruissellement, confection des éléments architecturaux [M. CONTANT, 2000 ] .

### 1.2.3. Les bétons de 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. 1.1). 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. 1.2) ; 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 amphitheatre romain, Colosseum, construit entre A.D. 70 et 82 (figs. 1.3, 1.4, et 1.5). 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. 1.6). [ traduction, JOHN L. CLARKE, 1993 ]



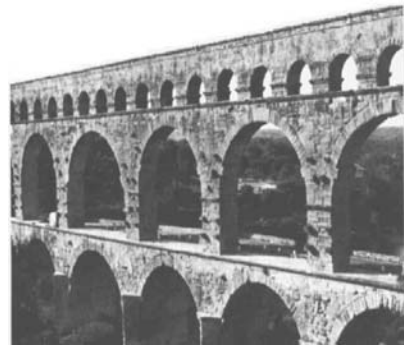
**Photo : 1.1** Babylone, Irak, construit par Sumerians dans le 3ème millenium B.C.



**Photo : 1.2** Cathédrale de rue Sofia, Hagia Sofia, commissionné par l'empereur Justinian au 4ème siècle A.D. à Istanbul, Turquie.



**Photo : 1.3** Église romain, construit en J.-C118



**Photo : 1.4** Pont du Gard, built in ca. A.D. 14.



**Photo : 1.5** Le grand amphitheatre romain, Colosseum, construit entre A.D. 70 et 82.



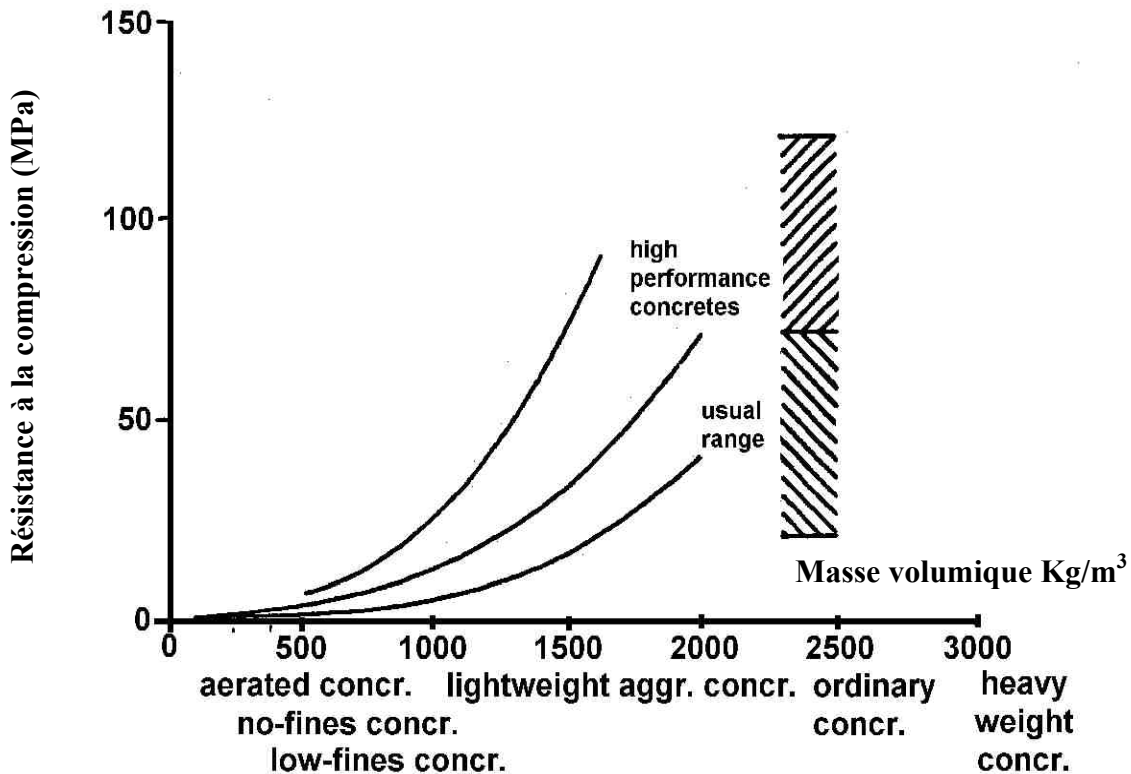
**Photo : 1.6** Pyramides au Mexique, construit pendant la période maya, à l'A.D. 624-987



**Photo : 1.7** 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 (photo1.7). 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. [ traduction, **JOHN L.CLARKE, 1993** ]

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/m<sup>3</sup> ; la conductivité thermique de 0.1 à 3 W/mK ;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. 1.8. Les agrégats légers sont l'ingrédient de base pour la fabrication de BGL. [ traduction, **JOHN L.CLARKE, 1993** ].



**Fig : 1.2** Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton .[ JOHN L.CLARKE, 1993 ]

Les bétons de granulats légers sont fabriqués comme les bétons courants, mais avec des granulats légers. Il existe en effet de nombreuse variété de bétons de granulats légers que l'on peut classer de différentes façons. Cormon propose une classification basée sur l'origine des granulats et on peut ainsi distinguer quatre grands groupes.[ **B. BENKHALFA, 1988** ] :

#### **1.2.3.1. Les bétons de granulats légers naturels :**

Il s'agit des bétons fabriqués avec de la ponce ou de la pouzzolane matériaux volcaniques naturels de structures très poreuse qui permettent par concassage des granulats légers. Ces matériaux sont relativement peu connus en Algérie, leur emploi reste donc sans domaine d'application, mais il n'est pas exclu, que dans l'avenir, certaines de leurs propriétés les rendent plus avantageux pour certaines réalisations.

#### **1.2.3.2. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique :**

Ce sont les bétons fabriqués avec des granulats d'argile, de schiste, d'ardoise, et de perlite expansés on de vermiculite exfoliée.



La perlite expansée s'obtient par traitement thermique de verres volcaniques de structure perlitique contenant une certaine quantité d'eau (rhyolite perlitique par exemple). Ce granulat n'est pas produit en Algérie, mais principalement aux USA et en URSS.

La vermiculite est un minéral phyllosilicique comportant à l'état naturel deux couches de molécules d'eau entre deux feuillets élémentaire. Le traitement par la chaleur provoque l'écartement des différentes lamelles et l'on appelle ce phénomène l'exfoliation.

Il faut enfin noter que ces deux types de granulat sont extrêmement légers (masse volumique apparente inférieure à  $150 \text{ Kg/m}^3$ ) et sont donc principalement employés pour réaliser des bétons isolants mais non porteurs.

#### **1.2.3.3. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial :**

Il s'agit des bétons réalisés avec du mâchefer, sous-produit de la combustion du charbon ou des ordures ménagères. Ce matériau est en très nette régression et on l'utilise que pour la fabrication de parpaings.

#### **1.2.3.4. Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux :**

On peut utiliser que pour fabriquer des granulats légers de très nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau : d'EL-HADJAR que l'on expande sur les lieux de production. Les cendres volantes que l'on peut fripper, on le verre que l'on peut également expandé. [B. BENKHALFA,1988 ]

Pour être complet, il faut en outre signaler que l'on classe également parmi les bétons légers des matériaux réalisés à partir de débris végétaux. Enfin, on réalise aussi des bétons de granulats légers en utilisant des liants organiques (résines synthétiques et mousses plastiques) à la place de liants hydrauliques.

### 1 – 3. CLASSIFICATION DU BETON LEGERS:

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  $\gamma_{bs}$  ;
- 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  $\text{Kg/m}^3$ . [ **G. DREUX & J. FESTA ,1998**]

**Tableau 1.2** : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [ **A. NEVILLE , 2000** ]

Classe de densité	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\text{Kg/m}^3$	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 ci- dessous :

**Tableau 1.3** : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité [ **G. DREUX & J. FESTA ,1998** ]

Classe de masses volumiques	LC 1,0	LC1,2	LC1,4	LC1,6	LC1,8	LC2,0
$\text{Kg/m}^3$	>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 -87<sup>13.141</sup> classe les bétons en fonction de la masse volumique (est comprise entre 1350 et 1900 kg/m<sup>3</sup>) en trois catégories :

**1- le béton léger de structure : 1350 – 1900 kg/m<sup>3</sup>**

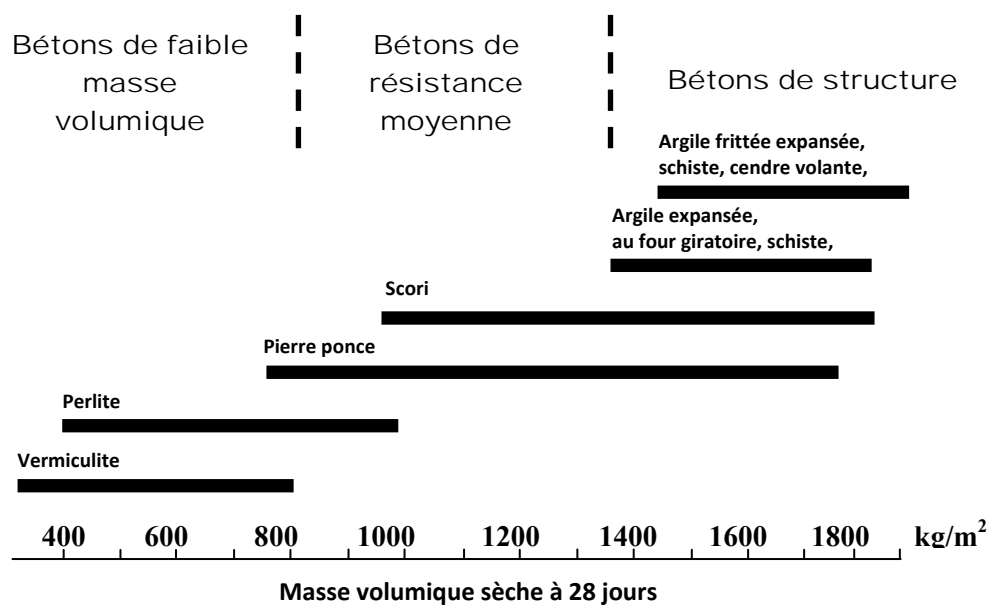
Dont la masse volumique est comprise entre 1350 et 1900 ce béton est utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression minimale de 17 MPa.

**2- le béton léger de faible masse volumique : 300 – 800 kg/m<sup>3</sup>**

A une masse volumique comprise entre 300 et 800 kg/m<sup>3</sup> n'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique,  $R_c < 7$  MPa

**3- le béton de résistance moyenne se situe entre les deux :**

Sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPa



**Fig. 1.3 :** masse volumique sèche habituelle de bétons légers confectionnés avec différents types de granulats légers à 28 jours [A. NEVILLE , 2000]

**1 - 4 : FORMULATION**

A l'exception des granulats légers, les constituants et les méthodes de formulation utilisées sont les mêmes que pour les bétons de granulats rigides. Une attention particulière doit cependant être portée à la densité apparente et à l'absorption des granulats.

L'étude de la formulation d'un béton consiste à définir la composition optimale des granulats et le dosage en ciment et en eau, de façon à atteindre les propriétés du béton recherchées (Dreux, 1990). Dans l'ensemble, le processus de formulation comprend les étapes suivantes :

- 1) définir la nature de l'ouvrage,
- 2) établir les propriétés du béton en fonction de la nature de l'ouvrage,
- 3) établir le dosage des constituants permettant ainsi d'atteindre les propriétés recherchées.

#### **1.4.1- : LA NATURE DE L'OUVRAGE :**

La formulation du béton est tributaire de la nature de l'ouvrage. A ce titre, il convient de distinguer deux grandes familles de béton léger :

- le béton léger structural,
- le béton léger architectural.

On présente de façon sommaire les distinctions entre ces deux familles

##### ***Le béton léger structural***

L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 15 MPa dont la masse volumique est inférieure à 1850 kg/m<sup>3</sup> [M.SHINK ,2003]. Dans la catégorie des bétons légers structuraux, la diminution du poids spécifique du béton provient essentiellement de l'utilisation de granulats ayant des densités nettement inférieures à celles des granulats usuels. Les laitiers de haut fourneau, les argiles et les schistes expansés, les cendres volantes, les pierres ponce, Les scories et le tuff constituent en grande partie les sources disponibles de matière première pour fabriquer des granulats légers destinés à la confection de bétons légers structuraux.

Le béton léger structural est utilisé pour répondre à des exigences structurales spécifiques. Ainsi, on utilise du béton léger lorsque la capacité portante du sol ne permet pas l'érection d'une structure conventionnelle ; pour construire un bâtiment de grande hauteur pour lequel la diminution de poids est particulièrement intéressante compte tenu de la capacité portante du sol ; pour construire des plates-formes de forage dont la diminution de masse facilite le transport dans les zones à faible tirant d'eau. Règle générale, cette réduction de poids peut entraîner des économies substantielles dans la réalisation d'ouvrage [M. CONTANT, 2000].

### ***Le béton léger architectural***

Tout comme pour le béton léger structural, l'ACCP définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 MPa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m<sup>3</sup>. [M. CONTANT, 2000].

On peut obtenir un béton de masse volumique aussi faible de trois façons :

- par l'utilisation de granulats ultra- légers ( la perlite, la vermiculite et les billes de polystyrène, ...)
- par l'utilisation d'un agent moussant,
- par la confection d'un béton caverneux.

### **1. 4.2- PROPRIÉTÉS DES BÉTONS LÉGERS:**

La description des propriétés des bétons sera davantage axée sur les éléments suivants :

- ❖ la faible masse volumique,
- ❖ la durabilité,
- ❖ la rhéologie à l'état frais
- ❖ les propriétés mécaniques (résistance a la compression, module d'élasticité, etc.).

#### ***La masse volumique***

La masse volumique du béton représente l'une des caractéristiques les plus importantes dans le cadre de la présente recherche. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants.

#### ***La durabilité***

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents [M. CONTANT, 2000.]

#### ***La rhéologie à l'état frais***

La rhéologie du béton à l'état Frais définit la relation contrainte déformation du matériau en référence à ses propriétés d'élasticité, de plasticité et de viscosité.

On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à la mise en place par rapport à la qualité recherchée du fini. En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages [M. CONTANT, 2000].

### ***Les propriétés mécaniques***

Parmi les propriétés mécaniques, on retrouve la résistance à la compression, à la flexion et à la traction. Ces propriétés sont des paramètres secondaires dans la conception d'un béton ultra- léger puisque leur importance est relativement mineure pour ce type de béton. Toutefois, on ne peut les négliger puisque tous les bétons, peu importe l'application, nécessitent un minimum de résistance mécanique [M. CONTANT, 2000].

### **1 . 4.3- LE DOSAGE :**

Le dosage est consiste essentiellement à déterminer la proportion des constituants de manière à produire le béton répondant aux qualités du béton recherchées.

Cependant, ce dosage n'est pas aléatoire puisque l'obtention des qualités recherchées repose sur des principes (qualité de la pâte, type de granulat, rhéologie, etc.) Une fois ces principes établis, on peut identifier la méthode de dosage qui correspond le mieux aux matériaux utilisés et aux conditions d'application [M. CONTANT, 2000].

### ***Les Principes de dosage***

Le principe de dosage d'un béton repose sur des concepts fondamentaux reliés au Comportement du béton à l'état frais et durci. L'étude sommaire de ces concepts va permettre, d'une part, de mieux comprendre les mécanismes du comportement interne du béton et. D'autre part, aider à la compréhension des concepts menant à la formulation d'un béton léger durable.

On peut, a priori, admettre que le béton est constitué essentiellement de deux phases : la pâte de ciment hydraté et les granulats [M. CONTANT, 2000].

Les propriétés du béton varient essentiellement en fonction des matériaux utilisés et de leur dosage. Les principes de dosage font référence à quatre principaux facteurs :

- ❖ la qualité de la pâte de ciment hydraté,
- ❖ la qualité des granulats,
- ❖ la rhéologie recherchée,

- ❖ les propriétés mécaniques.

### ***Les méthodes de dosage***

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton léger qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton léger est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De façon générale, toutes les méthodes de dosage conçu pour les bétons conventionnels s'appliquent au cas d'un béton léger moyennant quelques modifications, Les méthodes de dosage sont nombreuses. Dans la majorité des cas, elles proposent de fixer initialement un rapport E/L correspondant à la résistance à la compression recherchée. Par la suite, les autres paramètres sont établis à partir de concepts empiriques issus de l'expérience et diffusés sous forme d'abaques [M. CONTANT, 2000].

### **1. 5- LES CONSTITUANTS DU BETON DE GRANULATS LEGERES :**

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. Cette section a donc pour but de présenter une description sommaire des principaux constituants des bétons légers.

#### **1. 5 .1- LES LIANTS HYDRAULIQUES:**

Les liants hydrauliques sont des poudres minérales qui ont la propriété de réagir au contact de l'eau et de former des hydrates. Déjà il y a deux mille ans, les Romains avaient découvert le ciment lorsqu'ils s'aperçurent que la chaux résultant de la décarbonatation des calcaires, mélangée avec l'eau et des pouzzolanes (terres volcaniques faites de silice et d'alumine) donnait un mortier qui durcissait (Tapit- Hamou, 1995).

Le ciment Portland demeure le liant hydraulique le plus utilisé au monde. Est composé de chaux (CaO), de fer ( $Fe_2O_3$ ), de silice ( $SiO_2$ ), d'alumine ( $Al_2O_3$ ), de gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) et de magnésie (MgO). En plus du gypse, le ciment Portland est constitué de quatre principales composantes : l'alite ( $C_3S$ ) et la bélite ( $C_2S$ ) combinées à une phase interstitielle de ( $C_3A$ ) et de ( $C_4AF$ ) appelée autrefois célite. Au contact de l'eau le ciment s'hydrate : c'est l'hydratation. Le processus d'hydratation, lent et progressif, est accompagné d'une perte progressive de plasticité jusqu'au durcissement complet de la pâte de ciment.

Depuis quelques années, d'autres types de liants sont de plus en plus utilisés tels les ajouts minéraux. Ces ajouts sont employés en complément au ciment Portland, puisqu'ils confèrent

au béton une bonification de certaines de ses propriétés. On définit les ajouts minéraux comme étant tout matériau autre que le ciment, l'eau, les granulats qui sont ajoutés au béton et qui ont une réaction d'hydratation avec l'eau et le ciment.

Les ajouts minéraux sont des produits naturels ou des sous-produits industriels finement moulus dont les principaux produits d'hydratation sont des C-S-H et des hydrates d'aluminates. L'incorporation d'une certaine quantité d'ajouts minéraux permet d'améliorer le comportement du béton à l'état frais et durci.

Il existe trois grandes familles d'ajouts minéraux :

1. les cendres volantes, sous produits de la combustion du charbon dans les centrales thermiques,
2. les laitiers de haut fourneau. Sous - produits de la production de la fonte,
3. les fumées de silice, sous produits de la production de silicium ou de ferrosilicium (Tapit-Hamou, 1995).

Ces ajouts minéraux ont la propriété de réagir avec la chaux libérée lors de l'hydratation du ciment Portland et de former de nouveaux C-S-H. La nature de ces C-S-H est la même que celle obtenue de l'hydratation du ciment Portland. Seul le rapport chaux/silice est différent, largement plus important que dans le cas des C-S-H issus de l'hydratation du ciment Portland. Cette particularité semble leur permettre d'incorporer dans la structure de leurs hydrates des ions de différentes natures dont les alcalis. L'appauvrissement des alcalis dans la solution tend à abaisser le pH de l'eau interstitielle de la pâte de ciment hydraté.

Dans le présent programme de recherche, on compte utiliser de la fumée de silice dans la formulation des bétons légers. Il convient donc de donner quelques informations additionnelles sur cet ajout minéral. La fumée de silice est constituée de grains extrêmement fins et de formes sphérique d'un diamètre moyen d'environ 0,1  $\mu\text{m}$ , soit 200 fois plus petits que la taille moyenne des *grains* d'un ciment Portland [M. CONTANT, 2000].

La fumée de silice est constituée essentiellement de  $\text{SiO}_2$  et la surface spécifique de ces grains est de 20 000 à 25 000  $\text{m}^2/\text{kg}$  comparativement à 350  $\text{m}^2/\text{kg}$  pour le ciment Portland. Cette très grande finesse de la fumée de silice en fait un produit difficile de manipuler. De plus, son utilisation dans le béton augmente la demande en eau.

La Fumée de silice contribue à améliorer la finition et la pompabilité du béton à l'état frais. Elle contribue également à améliorer les résistances à la compression à jeune âge et aux âges avancés des bétons, à augmenter la résistance aux cycles de gel-dégel et à l'écaillage en



présence de sels fondants, à diminuer le degré d'absorption et la perméabilité et à augmenter la résistance aux sulfates [M. CONTANT, 2000].

La pâte de ciment représente approximativement 30 % du volume d'un béton. Malgré cette faible proportion, la qualité de la pâte est grandement responsable de la qualité du béton.

La qualité de la pâte dans le béton est tributaire de la densité de la pâte de ciment hydraté. Deux principales conditions sont essentielles pour obtenir une pâte dense de bonne qualité : un faible rapport eau/liant (E/L) et un mûrissement humide adéquat. Le faible rapport E/L contribue au rapprochement des grains de ciment réduisant ainsi la porosité capillaire. Le rapport E/L nécessaire à l'hydratation des grains de ciment peut être aussi faible que 0,22 à 0,25.

Le surplus d'eau apporté par un rapport E/L supérieur contribue essentiellement à rendre le mélange plus malléable : rhéologie à l'état frais. Le mûrissement favorise la formation, entre autres, des C-S-H et permet la densification de la pâte de ciment hydraté en remplissant les pores capillaires. [M.SHINK, 2003].

### **Utilisation d'ajout cimentaire dans la composition du béton léger**

Le béton léger est un mélange. Il est possible d'y intégrer des adjuvants et autres matériaux pour changer et améliorer certaines de ses caractéristiques. Selon (Neville 2000), il est possible d'ajouter de la fumée de silice dans la formulation du béton léger pour améliorer ses résistances mécaniques. La fumée de silice est un ajout cimentaire qui réagit avec le ciment et l'eau du béton (action pouzzolanique) et comble les vides interstitiels entre les granulats du béton. « Les cendres volantes, les poudres de silice et les autres matériaux contenant de la silice peuvent être utilisés comme agents pouzzolaniques au ciment. » (Traduction libre, Pacewska et al ., 2002)

#### ➤ Pouzzolane

Les Romains de l'Antiquité fabriquaient du ciment pouzzolane en brûlant de la lime et des cendres volcaniques. Ces cendres venaient de Pozzuoli, en Italie, près du Mont Vésuse, dont elles tiennent leur nom maintenant (Hart, 2001). Aujourd'hui, le nom pouzzolane fait référence aux composés inorganiques, comme des cendres volantes, utilisées comme substitut cimentaires au ciment Portland. Il est possible d'inclure dans le béton des matériaux naturels comme des fibres végétales, des cendres volcaniques, de l'écorce de riz, de la terre, du coton, du bambou etc. Les matériaux artificiels et naturels qui contiennent de l'alumine ou de la

silice s'appellent des pouzzolanes. Ces ajouts cimentaires peuvent remplacer entre 15 % et 40 % du ciment Portland, sans réduire significativement la résistance et la durabilité à long terme du béton (Traduction libre, Agustin et al ., 1990).

La plupart des matériaux pouzzolaniques sont des résidus de production tant industriels qu'agricoles. Agustin et al., (1990) ont mesuré les pourcentages de silice dans les productions agricoles pour le blé, le maïs, le bambou, le tournesol, l'écorce de riz et autres (tableau 5). Selon ces mêmes auteurs, ce sont les cendres d'écorce de riz qui ont le plus grand pourcentage de silice (93%). Il est donc avantageux d'utiliser les cendres d'écorce de riz, comme pouzzolane, pour augmenter la résistance du béton (réduction des pores capillaires) et réduire ainsi les coûts du béton.

#### ➤ Fumée de silice

La fumée de silice est un sous-produit de la production du silicium et des alliages de ferro-silicium. Cette petite poudre est formée de particules sphériques de silice amorphe extrêmement fines (de l'ordre de 0,1 micromètre) (Marchand et Pigeon, 2002). On emploie généralement la fumée de silice en remplaçant entre 5 à 10 % du ciment Portland, ce qui a pour effet de réduire la taille moyenne des pores capillaires dans le béton; de diminuer sa perméabilité; augmenter sa résistance aux attaques chimiques; et augmenter sa résistance en compression.

La technologie de ces nouveaux bétons peut être profitable pour développement à cause de la richesse de différente variété de granulats légers dans le monde en va présenter quelque ces granulats légers.

### **1. 5 .2- 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 granulats 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 [**M. CONTANT, 2000**].

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 fraîchement 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 frais, 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 à 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 [**M. CONTANT, 2000**].

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. Il 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 [**M. CONTANT, 2000**].

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 choisis, 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  $1000 \text{ kg/m}^3$

En pratique, les masses volumiques apparentes s'échelonnent entre  $10 \text{ kg/m}^3$  ( polystyrène expansé ) et  $900 \text{ kg/m}^3$  ( granulat de pouzzolane , de laitier expansé ....), Alors que pour les

granulats silico –calcaires habituels elles sont comprise entre 300 et 1600 kg/m<sup>3</sup> (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,....

Les grandes familles sont les suivantes :

### **1.5.2.1. Granulats Naturels: (D'origine Minérale ou Végétale)**

#### **1.5.2.1.1. Granulats Minéraux :**

##### **❖ Pierre Ponce:**

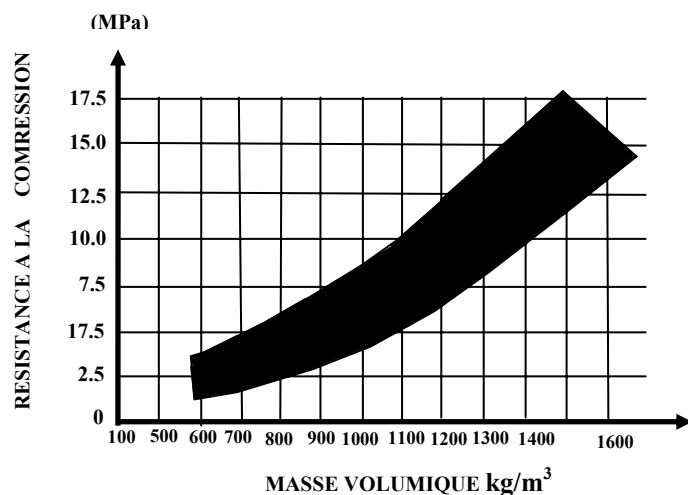
La pierre ponce est un matériau naturel d'origine volcanique, on trouve dans sa composition chimique une proportion élevée de trois minéraux qui sont : le silice, l'alumine et l'alcalis.

Elle se forme par brusque refroidissement de roches en fusion où il se présente sous l'aspect de grains assez arrondis dont le diamètre maximal est 10 à 20mm suivant les carrières, de couleur grisâtre, d'une densité sèche et faible variant de 500 à 800 kg/m<sup>3</sup> due à la présence de bulles de gaz créées lors de sa formation et non pas à sa fabrication car à cette étape la ponce ne subit aucune transformation particulière mise à part le concassage.

La ponce est assez friable et employée pour des bétons légers de structure et d'isolation ayant des résistances mécaniques modestes ainsi que dans le cas d'enduits légers.

Citons comme exemple d'utilisation de la pierre ponce : le massif de l'Eifel en France et le dôme du Panthéon à Rome [M. CONTANT, 2000].

**Propriétés du béton :** vu que la masse volumique de la ponce est faible cela nous indique une teneur excessive en vide et par conséquent les résistances à la compression du béton fabriqué avec de la pierre ponce seront fortement limitées disant faible. Au moins d'utiliser une certaine quantité de sable plus dense (densité 2,30 à 2,65), les masses volumiques resteront relativement faibles. La figure 1.4 montre la fourchette de résistance à la compression en fonction de la masse volumique apparente qu'il est possible d'obtenir. Les autres propriétés du béton contenant de la pierre ponce sont présentées dans le tableau 1.4.



**Fig. 1.4** Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de pierre ponce en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65 % d’humidité relative) [M. CONTANT, 2000].

**Tableau 1.4** : Propriétés du béton léger confectionné à partir de pierre ponce [M. CONTANT, 2000].

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
Ponce	750 à 1400	3 à 20	0.5 à 1.5	2 à 10	1.0 à 1.5	8 à $9 \times 10^{-6}$	0.40

❖ **Pouzzolane** : la pouzzolane provient de la cristallisation de magma volcanique refroidi assez lentement ( scorie, lave mousseuse, crasse volcanique ). La roche s’exploite en carrière. Elle est parfois lavée, concassée et criblée . la pouzzolane est colorée en rouge brun, en noire ou en teinte intermédiaire. C’est une roche silico-alumineuse (par EX : SiO<sub>2</sub> = 50% , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =20% , Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =10% ). Sa densité est un peu plus élevée que celle de la ponce, de l’ordre de 700 à 900 kg/m<sup>3</sup>. les bétons confectionnés sont peu plus denses et plus résistants que les bétons de ponce.

### **1.5.2.1.2. Granulats végétaux :**

#### **❖ Copeaux De Bois (pin, sapin, bouleau) :**

Des morceaux de bois de 5 à 25mm obtenus par découpage et broyage seront déshydratés, traités chimiquement et stabilisés suivant deux méthodes différentes :

- l'élimination de la cellulose puis par une attaque acide suivis par le chlorure de calcium et fini par lavage et séchage ;
- l'ajout du silicate de soude. Les densités sèches s'échelonnent entre 250 et 400 kg/m<sup>3</sup>. Le malaxage du béton préparé à l'aide de ce type de granulats ne devra pas être trop énergétique ( pour ne pas défibrer et endommager le bois).

#### **❖ Granulats De Liège :**

Ce type de granulats est obtenu à partir des chaînes de lièges, en passant par le concassage de celles-ci et puis le liège est torréfié dans des autoclaves vers 350°C sa densité sèche varie entre 65 et 120 kg/m<sup>3</sup>. Le domaine d'utilisation des granulats de liège est bien la confection de chapes et de planchers.

### **1.5.2.2. Granulats Obtenus Par Traitements: (D'origine Minérale ou Végétale)**

Soit de déchets industriels, soit de matériaux naturels :

#### **1.5.2.2.1. Mâchefer :**

Le Mâchefer est un résidu de la combustion du charbon dans les foyers domestiques ou industriels. C'est un matériau de couleur foncée, dur, d'aspect fritté et scoriacé. Il ne doit pas contenir de produit nocif (chaux et magnésie surcuites, sulfures et sulfates).

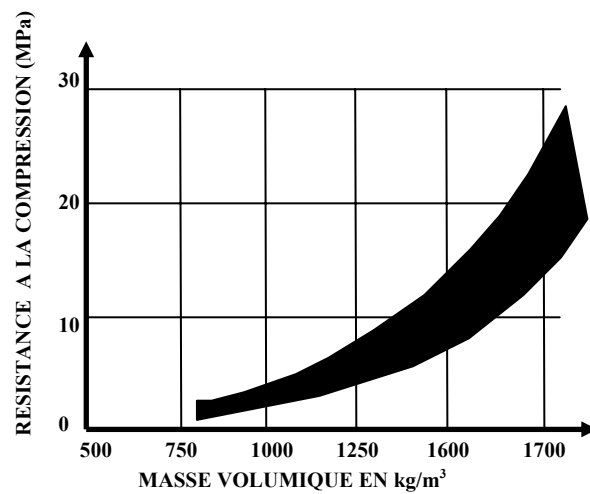
On utilise différentes classes granulométriques obtenues par un concassage des éléments les plus gros suivi d'un criblage il faut s'assurer que les mâcher fournis sont homogènes, stables et ne donneront pas lieu avec le ciment à des phénomènes d'expansion ou à des efflorescences.

### 1.5.2.2.2. Le Laitier :

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte dans les hauts-fourneaux. Des usines sidérurgiques. Plusieurs traitements permettent d'obtenir des granulats légers à partir du laitier en fusion.

- ❖ **Le Laitier Expansé :** le laitier s'expansé en se refroidissant dans une fosse au fond de laquelle on envoie des jets d'eau sous pression. La roche obtenue a une structure alvéolaire.  
Elle est concassé et criblée la densité des granulats varies de 600 à 900 kg/m<sup>3</sup> .
- ❖ **Le Laitier Bouleté:** le laitier bouleté est obtenu à partir du laitier liquide par dispersion mécanique dans l'air grâce à un tambour rotatif . le laitier prend la forme de boulettes de 1 à 20mm, de structure vitreuse extérieurement vitreux, les granulats les plus gros ont un cœur cristallisé .les granulats fins sont les gros granulats pour la confection de béton légers. La densité des grains de 4/ 10 mm varie entre 800 et 900kg/m<sup>3</sup>
- ❖ **Composition et origine :** La composition chimique des laitiers est en grande partie constituée de silice, d'alumine et de chaux. Ils sont obtenus lors de la production de la fonte dans les hauts fourneaux.
- ❖ **Méthode de fabrication :** Le matériau en fusion qui surnage au-dessus de la fonte en fusion est solidifié par refroidissement rapide par injection d'air ou d'eau. L'eau injectée sous pression produit une forte expansion par vaporisation qui donne une structure alvéolaire. Le matériau encore incandescent est brusquement refroidi, ce qui produit une recristallisation partielle de la matière et une première dislocation. Ce refroidissement rapide donne naissance à des granulats alvéolaires poreux de nature cristalline. La masse volumique apparente du granulats ainsi obtenu se situe autour de 900 kg/m<sup>3</sup>.
- ❖ **Propriétés du béton :** La masse volumique des bétons fabriqués à partir de laitier expansé varie de 1000 à 1800 kg/m<sup>3</sup>, selon les propriétés du sable utilisé. La figure 1.5 présente l'étendue des résultats obtenus par différents laboratoires quant à la variation de la résistance à la compression en fonction de sa masse volumique. Les





**Fig. 1.5** la variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de laitier expansé en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation :20°C, 65% d'humidité) [M. CONTANT, 2000].

**Tableau 1.5 :** Propriétés du béton léger confectionné à partir de laitier expansé [9]

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa) ( $R_c/R_t$ )	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
Laitier expansé	1000 à 1800	3 à 25	3 à 7	5 à 20	0.4 à 06	8 à $12 \times 10^{-6}$	0.30 à 0.45

### 1.5.2.2.3. Cendres Volantes Frittées Et Expansées

La cendre volante frittée est obtenue à partir de cendres volantes, résidus de la combustion du charbon pulvérisé utilisé dans les centrales thermiques. Les cendres sont séparées et recueillies dans des précipitateurs électrostatiques ou dans des collecteurs mécaniques. Elles

se présentent sous la forme d'une poudre gris-noirâtre dont la dimension des grains varie de 1 à 200  $\mu$ . Ce sont des produits silico-alumineux (par EX :  $\text{SiO}_2 = 48\%$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 32\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 8\%$  ).

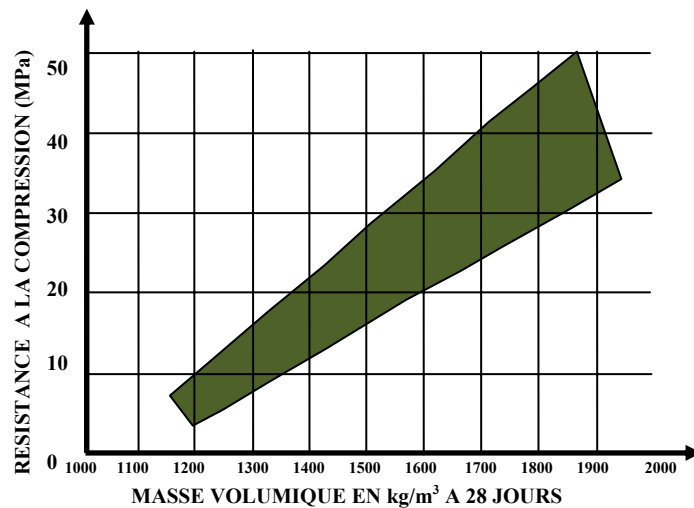
Ces cendres peuvent être granulées avec de l'eau et les boulettes obtenues sont cuites dans des fours à grille horizontale (1200-1300°C) la densité de ces granulats varie de 650 à 680  $\text{kg/m}^3$  .

**Composition** et origine : Les cendres volantes sont constituées principalement de silice (50 %) et d'alumine (32 %). Ce sont des sous-produits récupérés de la combustion du charbon pulvérisé aux environs de 1500°C. Elles sont constituées en grande partie d'une matière vitreuse, formée de billes creuses (sphérulites) ou pleines et de micro mâchefer de dimension généralement inférieure à 200  $\mu$ .

**Méthode de fabrication** : La méthode de fabrication qui semble être la plus utilisée consiste au frittage de boulettes produites par un granulateur. L'agglomération des cendres volantes dans un granulateur est rendue possible grâce à leur propriété lorsqu'elles sont sous forme de poudre humide, de s'agglomérer sous forme de billes lorsqu'on les malaxe. Cet effet est créé par la tension superficielle entre l'eau et les particules très fines. Une fois les granules formés, de taille suffisante, ils sont envoyés vers le four pour le frittage. Le procédé de frittage consiste à souder entre elles les petites particules de cendre par fusion à haute température (1300 OC). A la sortie du four. On obtient un produit dont la masse volumique apparente avoisine les 800  $\text{kg/m}^3$ . Cette faible masse volumique s'explique du fait que l'opération de frittage permet de créer de petits espaces d'air entre les particules de cendre.

**Propriétés du béton** : Les bétons fabriqués à partir des cendres volantes frittées présentent une bonne étendue de masse volumique et de résistance à la compression. A titre d'exemple il est possible de fabriquer du béton caverneux à partir de cendres volantes frittées dont la masse volumique est de 900  $\text{kg/m}^3$ . On peut également fabriquer un béton structural avec une masse volumique de 1850  $\text{kg/m}^3$  en passant par des mélanges avec air entraîné pour la fabrication de panneaux isolants à 1350  $\text{kg/m}^3$ .

La figure 1.6 définit la relation entre la masse volumique du béton et la résistance à la compression. Les autres propriétés du béton contenant des cendres volantes expansées sont présentées dans le tableau 1.6.



**Fig 1.6** Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de cendres volantes Frittées et expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) [M. CONTANT, 2000].

**Tableau 1.6 :** Propriétés du béton léger confectionné à partir de cendres volantes frittées expansées

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
Cendres volantes	900 à 1850	5 à 45	2.5 à 3.0	20	0.3 à 0.7	$8 \times 10^{-6}$	0.15 à 0.6

#### 1.5.2.2.4. Vermiculite :

Les granulats de vermiculite sont obtenus par expansion dans de l'air chaud vers 900°C. Puis refroidissement brusque de paillettes de mica. Ils ont la forme de « mini- accordéons » de couleur jaune brillant, de 0,5 à 10mm de côté. La densité est comprise entre 70 et 130 kg/m<sup>3</sup>.

**Composition et origine :** On associe la vermiculite à des micas ou à la famille des chlorites. Chimiquement, on la regroupe dans la famille des alminosilicates de fer et de magnésium comme les micas d'où ils proviennent par hydratation et pertes d'alcalis. La vermiculite est d'origine naturelle et on la traite à la chaleur pour obtenir des particules de 1 à 10 mm.

**Méthode de fabrication** - Le minéral extrait est concassé et séché jusqu'à l'obtention d'une teneur en eau de 3 %. Par la suite, les granules sont chauffés à une température de 800 à 1100 °C pendant 2 minutes provoquant l'exfoliation, c'est-à-dire que, sous l'effet de la chaleur, les molécules d'eau séparant les lamelles se transforment en vapeur et provoquent ainsi l'expansion. Par suite de cette expansion, le volume des granules peut atteindre 30 à 30 fois son volume initial.

Propriétés du béton - Les bétons confectionnés à partir de vermiculite présentent des résistances à la compression très faibles de l'ordre de 0,5 à 1,5 MPa avec des masses volumiques de 350 à 600 kg/m<sup>3</sup> respectivement. Cette piètre performance mécanique explique pourquoi ce béton léger est utilisé avant tout pour ses propriétés thermiques plutôt que mécaniques (Cormon, 1973). Les autres propriétés du béton contenant de la vermiculite sont présentées dans le tableau 1.7.

**Tableau 1.7 :** Propriétés du béton léger confectionné à partir de vermiculite

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
Vermiculite	300 à 800	1 à 2	0.2 à 0.4	0.8 à 1.7	3.0 à 4.0	$8 \times 10^{-6}$	0.20 à 0.30

#### 1.5.2.2.5. Perlite :

Les granulats de Perlite sont obtenus par chauffage rapide à 100°C puis refroidissement brusque d'une roche volcanique riche en silice. On obtient des micro-billes blanchâtres de 0,5 à 4mm de diamètre. Leur densité est comprise entre 50 et 100 kg/m<sup>3</sup> par traitement spécial ou obtient les perlites siliconés.

- ❖ **Composition et origine :** La perlite est une pierre volcanique de la famille des siliceux amorphes. Elle est composée principalement de silice (70 %) et de d'alumine (15 %).

- ❖ **Méthode de fabrication** : Cette pierre peut augmenter son volume de 20 fois lorsqu'elle est chauffée à des températures variant de 900 à 1100 OC. Une fois expansée et concassée, on obtient un granulats dont la masse volumique est aussi faible que 120 à 190 kg/m<sup>3</sup> (ACI, 1986).
- ❖ **Propriétés du béton** : Les bétons contenant seulement de la perlite permettent d'obtenir des mélanges dont la masse volumique est aussi faible que 330 à 560 kg/m<sup>3</sup> et dont les résistances à la compression varient de 0,7 à 3,1 MPa. En additionnant du sable au mélange. Les masses volumiques peuvent augmenter au-delà de 1000 kg/m<sup>3</sup> et accroître ainsi les résistances à la compression de 6,2 à 17,3 MPa (Wilson, 1981). Les autres propriétés du béton contenant de la perlite sont présentées dans le tableau 1.8,

**Tableau 1.8** : Propriétés du béton léger confectionné à partir de perlite

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa)	E (GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
<b>Perlite</b>	300 à 800	1 à 5	0.1 à 0.5	0.5 à 1.8	-	-	0.07 à 0.18

### 1.5.2.3. Granulats Fabriqués Spécialement : (granulats artificiels)

#### 1.5.2.3. 1. Argile Expansées :

L'argile expansée est certainement actuellement le matériau le plus fabriqué dans le monde.

Le principe de la fabrication est connu depuis le dépôt en 1917 du brevet américain de hayde ( pour l'argile et aussi pour le schiste expansé). La production industrielle a commencé vers 1928 et actuellement dans le monde il existe plusieurs centaines d'usines.

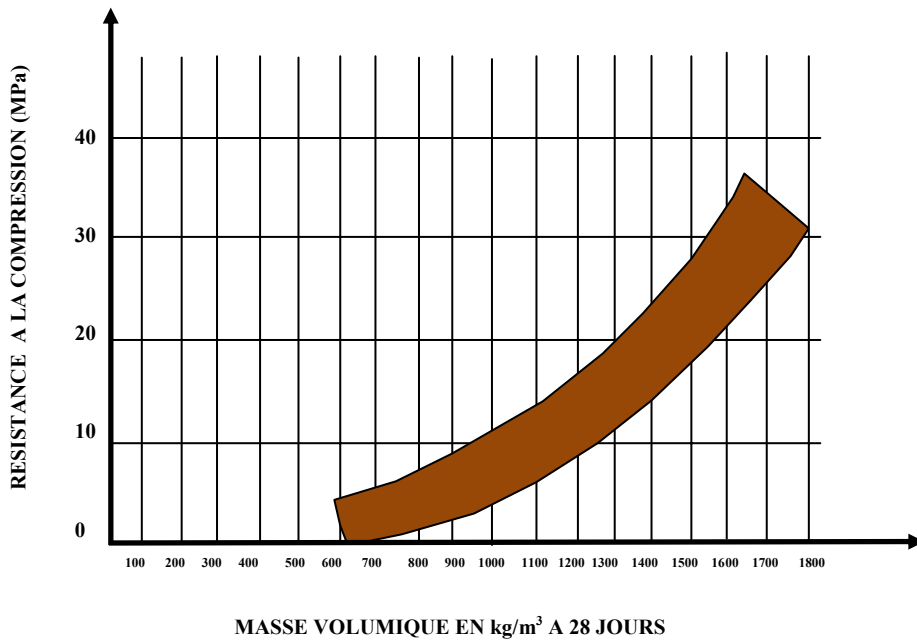
Il existe plusieurs procédés de fabrication. Les argiles sont traités à 1150-1200 °c et le dégagement de certains gaz dans le matériau lui donne, au refroidissement, une structure interne alvéolaire (et une surface externe vitrifiée et dure).

Après cuisson,

- ❖ **Composition et origine** : Les argiles ne sont pas toutes susceptibles de gonfler sous l'effet de la chaleur. En effet, seules les argiles contenant de la pyrite, de l'hématite ou de la dolomie sont réactives. A la fin du processus d'expansion, on obtient des particules de forme généralement arrondie, présentant une peau brune rougeâtre enveloppant une texture alvéolaire noirâtre.
- ❖ **Méthode de fabrication** - Certaines argiles ont la propriété de gonfler sous l'action de fortes températures de l'ordre de **1000 °C**. Ce gonflement est associé à un dégagement de gaz lié au ramollissement de la matière. Lors de la cuisson, une peau se forme **par** vitrification à la surface du matériau. A la suite du refroidissement, on obtient un granulats léger, dur, à texture cellulaire. Par concassage, on obtient des granulats de tailles variées et dont la masse volumique apparente varie entre 300 et 1000 **kg/m<sup>3</sup>**.
- ❖ **Propriétés du béton** : La figure 1.7 montre la relation entre la résistance à la compression de bétons confectionnés à partir d'argiles expansées et leur masse volumique. Les résultats montrent que l'on peut obtenir des bétons de résistance tout à fait acceptable, de l'ordre de 30 à 35 MPa. Pour ce qui est des masses volumiques, elles se situent autour de 1650 kg/m<sup>3</sup> pour les bétons légers structuraux comparativement à 1200 kg/m<sup>3</sup> pour les bétons légers isolants. Les autres propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée sont présentées dans le tableau 1.9.

**Tableau 1.9** : Propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_c$ (Mpa)	Traction (Mpa) (R <sub>c</sub> /R <sub>τ</sub> )	E (5GPa)	Retrait (mm/m)	Dilatation (mm/m)	$\lambda$ (kcal/mh°C)
<b>Argile expansée</b>	600 à 1800	5 à 35	4 à 8	6 à 20	0.3 à 0.6	6 à 7 x 10 <sup>-6</sup>	0.20 à 0.75



**Fig. 1.7** Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir d'argile expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d'humidité relative) [M. CONTANT, 2000].

### 1.5.2.3. 2. Schiste expansé

- ❖ **Composition et origine** : Les schistes servant à la fabrication des granulats légers peuvent provenir de diverses origines, soit de schistes naturels (schistes carbonifères, houillers et bitumineux), ou de schistes plus classiques, en provenance de carrière ou encore d'ardoise [M. CONTANT, 2000].
- ❖ **Méthode de fabrication** : Le procédé de fabrication des granulats légers à partir de schistes est similaire au procédé par expansion. D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules de schiste à un diamètre maximal de 800 µm. Ensuite, on mélange cette poudre à 10 % d'eau pour obtenir une pâte que l'on va extruder aux environs de 80 °C sous forme de coudes. Les nodules extrudés de 5 à 15 mm sont ensuite séchés et expansés au four à une température de 1300 à 1450 °C.

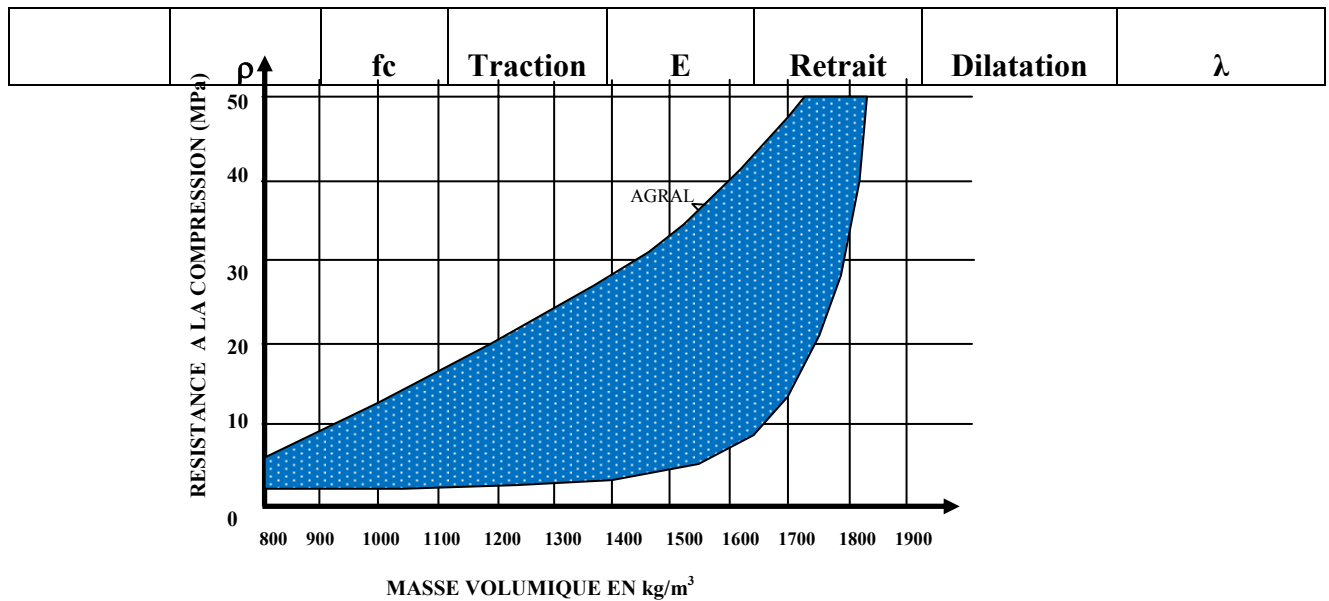
L'expansion est d'autant plus importante que la température est élevée. Par exemple, la masse volumique en vrac est d'environ 1000 kg/m<sup>3</sup> à 1300 °C comparativement à 380 kg/m<sup>3</sup> pour une température de 1450 °C [G. DREUX & J. FESTA, 1998].

- ❖ **Propriétés du béton** :

Les bétons légers confectionnés à partir de schistes expansés atteignent des masses volumiques parmi les plus élevées et, par le fait même, les meilleures résistances à la compression. Pour cette raison, ils sont majoritairement utilisés dans la conception de bétons structuraux. La figure 1.8 présente la fourchette de résistance à la compression en fonction des masses volumiques qu'il est possible d'obtenir avec des schistes expansés.



Les autres propriétés du béton contenant des schistes expansés sont présentées dans le tableau 1.10



**Fig. 1.8** Variation de la résistance à la compression du béton confectionné à partir de schistes expansées en fonction de sa masse volumique (dans des conditions normales de conservation : 20°C, 65% d’humidité relative) [M. CONTANT, 2000].

**Tableau 1.10** : Propriétés du béton léger confectionné à partir de Schistes expansées

	kg/m <sup>3</sup>	(Mpa)	(Mpa) (Rc/Rτ)	(5GPa)	(mm/m)	(mm/m)	(kcal/mh°C)
<b>Schiste expansée</b>	800 à 1800	10 à 50	10 à 15	> 20	0.5 à 0.7	6 à 7 * 10 <sup>-6</sup>	0.15 à 0.6

### 1.5.2.3. 3. Billes de polystyrène :

- ❖ **Composition et origine :** La matière première servant à la formation des billes de polystyrène est constituée de granules de polystyrène non expansé renfermant un porogène.
- ❖ **Méthode de fabrication :** Le porogène, sous l'action de la chaleur, passe à l'état gazeux, ce qui provoque l'expansion. Une fois expansées, les perles peuvent avoir atteint plusieurs fois leur diamètre initial, de 0,4 à 2 mm (Cormon, 1973). Le polystyrène présente une masse volumique parmi les plus faibles (10 à 40 kg/m<sup>3</sup>) en considération aux autres matériaux étudiés (ACI, 1986).
- ❖ **Propriétés du béton :** Les bétons confectionnés à partir de polystyrène ont une masse volumique aussi faible que 550 à 800 kg/m<sup>3</sup> selon que l'on emploie une portion de sable ou non. Ces bétons offrent de piètres performances mécaniques : une résistance à la compression de l'ordre de 2,0 à 4,0 MPa en fonction du pourcentage de sable utilisé. Il a été montré que la masse volumique de ces perles n'ont aucun apport quant aux caractéristiques mécaniques de ces bétons [M. CONTANT, 2000].  
Les autres propriétés du béton contenant des billes de polystyrène sont présentées dans le tableau 1.11.

**Tableau 1.11 :** Propriétés du béton léger confectionné à partir de billes de polystyrène

	$\rho$	fc	Traction	E	Retrait	Dilatation	$\lambda$

	kg/m <sup>3</sup>	(Mpa)	(Mpa)	(5GPa)	(mm/m)	(mm/m)	(kcal/mh °C)
polystyrène	300 à 1000	1 à 10	0.3 à 1.5	2	1.0 à 2.0	10 * 10 <sup>-6</sup>	0.05 à 0.25

#### 1.5.2.4. Les Matériaux Légers De Recyclage

Un des objectifs principaux de ce travail de recherche est, non seulement de produire un béton ultra léger, mais également de lui incorporer des matériaux recyclés.

Les matériaux recyclés 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 frais 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 le béton est passablement limitée et les paragraphes suivants en présentent les éléments pertinents.

##### 1.5.2.4.1. Les plastiques

- ❖ **Composition et origine :** Il existe deux groupes de plastique : les 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).

- ❖ **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.
- ❖ **Propriétés du béton :** 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'un 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 à diminuer le retrait au séchage du béton. Il 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 100 µm, 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 à 40 %. L'incorporation de matières plastiques s'est toutefois révélée néfaste quant à 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.

#### **1.5.2.4.2 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.

❖ **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 à travers une série de tamis. Le tamisage permet de classer les particules en différentes classes (0-20 mesh, 12-20 mesh, 2.5 mm, 5,0 mm) pour répondre aux diverses applications.

❖ **Propriétés du béton** - 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 styrène-butadiène de la compagnie Dow Chemical (densité = 1,01, concentration en solides 48 %). La taille des particules de pneu est d'environ 0,1mm. 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 à la compression, à la traction et à la flexion du béton avec latex (LMC) sont supérieures aux résistances du béton de référence (SC) ;

3) les résistances à la compression, à la traction et à la 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 à la flexion (WC) ;

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

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

### **1.5.3. Les Adjuvants :**

Dans le béton, les adjuvants sont devenus des composants indispensables pour atteindre les propriétés recherchées. On utilise ces adjuvants chimiques, entre autres, pour retarder ou pour accélérer la prise du ciment, pour réduire la quantité d'eau dans la pâte. Pour fluidifier ou pour entraîner de l'air. Leurs multiples applications résultent de leurs effets chimiques ou physiques sur les grains de ciment et sur la pâte de ciment.

Malgré cette diversité, deux catégories d'adjuvants sont plus souvent utilisées pour la confection de bétons légers. Il s'agit des plastifiants pour leur aptitude à fluidifier le béton ayant un faible rapport EIL et les agents entraîneurs d'air pour contrer les effets dus aux cycles de gel-dégel.

#### **1.5.3.1. Les agents entraîneurs d'air**

On retrouve sur le marché plusieurs agents entraîneurs d'air, mais leur composition chimique se résume à quelques produits dont les plus utilisés sont les sels des acides gras. L'air entraîné améliore la maniabilité du béton frais et la durabilité des matériaux face aux cycles de gel-dégel en présence ou non de sels fondants.

#### **1.5.3.2 Les agents moussants**

Les agents moussants sont, en quelque sorte, des supers-agents entraîneurs d'air qui ont pour fonction de substituer des bulles d'air à une partie de la pâte et des granulats. Cette substitution permet donc une diminution de la masse volumique. On distingue deux catégories

d'agent moussant : les CLSM (*Controlled Low-Strength Materials*) et Les LD-CLSM (*Low-Density Controlled Low-Strength Materials*). Les CLSM, qui entraînent jusqu'à un maximum de 30 % d'air, donnent des bétons de masse volumique supérieure à 800 kg/m<sup>3</sup>, comparativement aux LD-CLSM qui peuvent entraîner jusqu'à 70 % d'air pour des bétons de masse volumique inférieure à 800 kg/m<sup>3</sup>. Les agents moussants sont généralement composés de protéines hydrolysées ou de résine de savon. On les utilise dans le béton léger. La répartition uniforme des bulles est obtenue pendant le malaxage à haute vitesse (Neville, 1981). Il existe deux procédés d'incorporation : le premier, pour les CLSM, consiste à ajouter le produit sous forme de poudre ou de liquide dans le malaxeur et le second, généralement utilisé pour les LDCLSM, consiste à utiliser un fusil à mousse, celui-ci fait mousser le produit avant de l'introduire dans le malaxeur.

### **1.5.3.3. Les Super Plastifiants**

On utilise les super plastifiants pour réduire le rapport E/L, ce qui permet d'augmenter les résistances à la compression du béton tout en améliorant sa maniabilité.

Les super plastifiants sont des produits de synthèse, fabriqués pour les besoins de l'industrie du béton. Ils sont constitués de polymères dont la composition et la taille sont ajustées pour optimiser l'effet dispersant. La pureté de ces produits de synthèse permet de les utiliser à fort dosage, sans être au prise avec des effets secondaires tels que l'entraînement d'air et les retards de prise du ciment. Cependant, leur coût est relativement élevé.

Les superplastifiants se subdivisent en deux grandes familles, soit les polycondensés de formaldéhyde et de mélamine sulfonaté (PMS) et les polycondensés de formaldéhyde et de naphthalène sulfonaté (PNS). On retrouve également quelques autres types tels que des lignosulfonates modifiés, des polyacrylates et des esters (Ramachandran et Malhotra, 1984).

Les particules de ciment présentent un grand nombre de charges négatives et positives sur leur surface. Ces charges ont tendance à flocculer en présence d'un liquide aussi polaire que l'eau. La formation de flocons emprisonne une quantité d'eau grandement supérieure à celle nécessaire au mouillage des grains. L'ajout d'un super plastifiant va, par adsorption à la surface des grains, permettre de charger les grains de ciment de même signe de manière à créer une répulsion de ces derniers. Les particules, plus mobiles, se repoussent entre elles et favorisent ainsi un empilement optimal qui est à l'origine de la réduction d'eau.

### **1.5.3.4 Les fibres**

Les fibres jouent un rôle de micro-armatures, qui s'opposent à la propagation des fissures dans la pâte de ciment hydraté. Elles contribuent également à améliorer de façon très significative le comportement mécanique du béton après rupture. Les bétons renforcés de fibres ont une meilleure ténacité en flexion et une meilleure résistance à l'impact sans pour autant remplacer le rôle de l'acier d'armature dans le béton armé.

L'ajout de fibres dans le béton modifie relativement peu les résistances à la compression et à la traction avant la rupture. Leur introduction dans le béton entraîne par contre une perturbation du squelette granulaire. Cette perturbation est accompagnée par une perte de maniabilité proportionnelle au dosage en fibres. Pour compenser ce manque, on doit souvent limiter à 20 mm la dimension maximale du gros granulat et augmenter la teneur en éléments fins (sable et pâte). Cette modification aura pour effet d'augmenter la compacité et la maniabilité du mélange.

On trouve sur le marché des fibres de différents matériaux (acier, fonte, polypropylène, kevlar, etc.) Et de formes diverses (droite, ondulée, déformée, à double tête). Le dosage en fibres est généralement compris entre 0,35 % et 1,5 % en volume (Gagne, 1994). L'effet des fibres sur les propriétés du béton sera donc très variable en fonction de leur dosage et de leur type [M.SHINK , 2003].

## **1.6- DOMAINE D'UTILISATION :**

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

- 1) **des bétons d'isolation pure, non porteurs** : leur masse volumique est faible (600 kg/m<sup>3</sup>) 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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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 où le poids mort est important par rapport au poids total (chargement compris) ;
- ✓ Immeuble de grande hauteur ;
- ✓ Portées importantes (poutres, voiles) ;
- ✓ Structures marines immeubles ;
- ✓ Surélévation d'immeubles existants ;
- ✓ Restauration d'anciens immeubles ;
- ✓ Etc.

## **1.7- LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS :**

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

### **1.7.1. 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 ;

#### **1.7.2. 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);

#### **1.7.3. 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 ferrailage 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.8 Conclusion:**

En résumé, nous abordons, à travers la bibliographie, d'abord des problèmes liés aux choix du matériau utilisés et aux méthodes d'allégier le béton. Nous précisons que:

- ❖ Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- ❖ D'un point de vue générale et simple, le béton léger est réalisé on diminue la masse volumique par le remplacement d'une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :
  - Dans les granulats ;
  - Dans la pâte de ciment ;
  - Entre les gros granulats par élimination de granulats fins.
- ❖ Il convient de compléter notre bibliographie centrée sur le béton de granulats légers en notant l'importance des propriétés et les caractéristiques de chaque type de granulats.
- ❖ Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- ❖ On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.

## 2.1. INTRODUCTION

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

Le polystyrène permet une économie d'énergie dans l'habitat domestique, les pertes d'énergie sont évaluées à 43% de la consommation énergétique totale. Les économies d'énergie sont réalisées en supprimant la plupart des ponts thermiques, en particulier ceux qui sont situés à la jonction entre les cloisons internes et les façades. La consommation en énergie (chauffage et ventilation) coûte plus cher pour les ménages.

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

Ce matériau n'est néfaste pour de l'environnement. Le polystyrène est un produit écologique, il n'est certes pas biodégradable. Mais il est recyclable [C. ROUGERON , 1979]. Certain producteur a introduit une technique innovante d'origine allemande, utilisée dans le domaine de la construction : utiliser des hourdis en polystyrène, avec armature métallique pour les dalles, les murs de séparation et les toitures. Le produit est isolant, léger et résistant et il est certifié par le CTC. Les hourdis en polystyrène armé sont tout aussi solides que le béton conventionnel.

Alitco, une entreprise algéro-italienne spécialisée dans la construction de logements aux normes parasismiques. Elle utilise << des panneaux ayant une couche en polystyrène fixée par deux grillages en acier galvanisé à haute charge de rupture reliés entre eux par des connecteurs électro soudés avec application d'un enduit structural en béton sur les deux cotés [journal].

IBER CONSTRUCTION est une société à capitaux mixte algéro-Espagnols activant dans le domaine de la construction ; avec comme fer de lance des produits issus des nouvelles technologies du bâtiment et dont elle est productrice et promotrice ; [IBER construction, 2008].

- le POLYS BETO: agrégat artificiel qui permet d'alléger le béton jusqu'à 60% et dont les domaines d'utilisation sont : hourdis, chapes, formes de pente, etc.....
- LE BATI-LIGHT : agrégat destiné à la fabrication de béton allégé de structure.

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

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

Grace à sa légèreté on peut atteindre à des densités très basses. En outre, grâce à l'emploi des matrices cimentaires à ultra haute résistance, ces bétons de polystyrène peuvent avoir des résistances de bétons de structure. Par conséquent, ils représentent, grâce à leur légèreté, une solution technique intéressante pour les domaines du bâtiment, des ouvrages d'art et d'offshore. 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 [K. MILLED, 2005].

## **2.2 - COMPOSITION DES BETONS LEGERS DE POLYSTYRENE EXPANSE:**

On obtient ces nouveaux bétons par le remplacement total ou partiel du granulats 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 granulats 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- légers.

### **2.2.1. 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.

### **2.2.2. Sable**

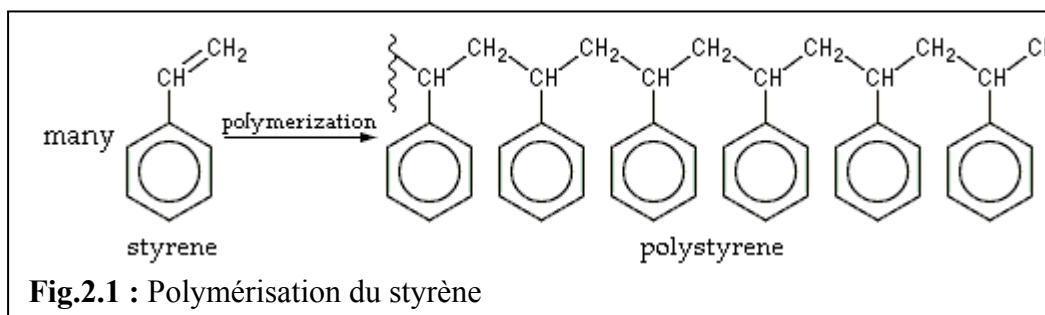
Tout type de sable adéquat pour la confection du béton de polystyrène, Le dosage en sable dans le mélange va combler la discontinuité granulaire qu'il y a entre le diamètre des grains de ciment et de polystyrène.

### **2.2.3. 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 utilisé comme isolant thermique pour le bâtiment

Le polystyrène est obtenu par polymérisation du styrène. C'est dans un autoclave, machine à la panse concave que la réaction aboutit au polystyrène.



Il existe deux types de PSE : les polystyrènes expansés moulés (PSE-M) et les polystyrènes expansés extrudés (PSE-E).

- **Le PSE-M** est obtenu à partir d'un polystyrène "expansible" qui n'est rien d'autre qu'un polystyrène cristal auquel on a ajouté, en cours de polymérisation, un agent d'expansion (pentane, Tébullition = 35°C). Une pré-expansion est opérée à la vapeur d'eau puis une période de stabilisation permet aux perles de PS pré-expansées de perdre leur excédent d'eau. Enfin, dans un moule, on les expansé et on les moule à la vapeur.
- **Le PSE-E** est quant à lui obtenu lors de l'extrusion (mise en forme à la chaleur) par injection sous pression d'un gaz dans le polymère cristal fondu. De par ses caractéristiques que lui confèrent ses 98% d'air, le PSE s'est imposé dans la formulation des béton léger comme granulat extra léger ( la masse volumique).

Les billes de polystyrène offrent une masse volumique apparente comprise entre 10 et 50 kg/m<sup>3</sup> [GROUPE SPECIALIZE N°7,2006]

## Des Propriétés Du Polystyrène

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

- 1- Sa légèreté est une propriété intrinsèque.
- 2- excellent pouvoir d'isolation thermique,
- 3- protection sur mesure contre les chocs et les chutes,
- 4- bon rapport résistance/légèreté : 98 % d'air, 2 % de produit,
- 5- stabilité aux intempéries, neutralité pour l'environnement,
- 6- aptitude au contact alimentaire ;
- 7- ignifugées,
- 8- résistantes à haute température,

## **2. 3. DIFFERENCE ENTRE LE POLYSTYRENE NON TRAITE ET LE POLYSTYRENE TRAITE**

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

### **2.3.1. LE POLYSTYRENE NORMAL NON TRAITE:**

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

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

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



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

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

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

En conclusion l'emploi du polystyrène normal dans le béton a une pauvre image de fragilité, pour minimiser ces problèmes nos doivent traiter ces billes de polystyrène de façons d'améliorer ces caractéristiques. En Algérie la société IBERCONSTRUCTION traite les billes de polystyrène qui sont fabriquées à l'usine ENL sise à la zone industrielle d'Oued-Smar Alger pour obtenir le produit **POLYS BETO [GROUPE SPECIALIZE N°7, 2006]**.

Les granulats **Polys béto** sont des agrégats artificiels. Associés à des liants hydrauliques et le plus souvent à du sable, ils sont employés pour la confection de chapes légères sur supports continus porteurs, pour la réalisation de parois et de produits manufacturés et comme remblai. C'est un agrégat léger qui s'emploie comme un agrégat traditionnel. Il est constitué par un polymère rigoureusement sélectionné expansé sous des contraintes spécifiques de température, de vitesse, et de pression, permettant ainsi aux alvéoles périphériques de s'opposer à la pénétration de l'eau. Il est calibré, traité en surface pour éviter toute ségrégation lors de la confection du béton. Incorporé au béton, le Polys Béto assure un allègement durable du béton, diminue les délais de prise, ouvre un large éventail de choix de densités. Il participe à l'isolation thermique du béton selon la densité. En Algérie, des demandes ont été formulées pour un avis technique préalable sur ce procédé nouveau, pour pouvoir introduire le matériau dans le marché de la construction. Pour cela plusieurs essais sont en cours pour vérifier les caractéristiques physico mécanique du procédé Polys béto. [A. GUEZOULI &A. BENAÏSSA ,2005]

### **2.3.2. LE POLYS BETO :**

Le Polys béto est un agrégat artificiel conçu et réalisé pour alléger, isoler et améliorer certaines caractéristiques de résistance des bétons. Ces agrégats sont du polymère rigoureusement sélectionné et expansé sous des contraintes spécifiques de température, de vitesse, et de pression, permettant ainsi aux alvéoles périphériques de s'opposer à la pénétration de l'eau.

Le polys béto est réalisé à base d'un styrène spécifique, expansé à seulement 80 fois pour obtenir une taille de diamètre de perle ou de bille égale au maximum à 3 mm. Donc, dès le début la matière première est complètement imperméable. Ces perles expansées sont alors traitées avec des additifs spécifiques pour d'abord les déchargez de leurs charges électriques, puis avec d'autres additifs, pour les chargez avec des charges électriques négatives, afin que toutes les perles aient les mêmes charges électriques, et auront tendance à se repousser. Ceci dans le but d'avoir toutes les perles avec des charges opposées, à celle du ciment Les charges électriques des perles seront neutralisées au contact de l'eau et du ciment. Ce qui leurs donnera une répartition entièrement homogène dans le béton. La structure de la surface des perles sera renforcée par leur propriété d'imperméabilisation, ce qui éliminera les risques de microbes et de germes. On aura moins besoin de perles pour alléger, d'où la consommation se verra réduite. [A. GUEZOULI &A. BENAÏSSA , 2005]

### **D'où les perles de Polys bété qui sont :**

- ❖ Utilisable avec tous les types de ciment, et avec tous les types de granulats naturels
- ❖ Mixer avec des équipements traditionnels
- ❖ Le béton est homogène et est réalisé avec les mêmes règles qu'avec le béton traditionnel.
- ❖ Le béton transporté par camion est facile à pomper.
- ❖ Peu de perles de Polys Beto seront séparées par des micros bulle aériennes :
- ❖ Aucun alvéole ne sera rempli d'eau pour réduire la différence de densité entre le mélange "l'eau / ciment" et le polystyrène " d'où une résistance au feu MO et à la fumée FO ; au contact du feu les perles produiront moins de fumée que les perles normales non traitées.
- ❖ Moins d'eau contenue dans le béton
- ❖ Polys bété peut alléger tout type de béton de 3 à 80 % selon son taux d'incorporation.
- ❖ Résistance à la compression plus élevée.
- ❖ Polys Beto est économique parce que les petites quantités de Polys Beto sont suffisantes pour alléger le béton : les alvéoles du Polys Beto ne seront rempli ni d'eau ni de ciment,
- ❖ Aucun microbe ni germes n'est détecté, ainsi qu'aucune odeur.
- ❖ Durée courte de séchage pour le béton.
- ❖ Aucune corrosion des renforts d'acier.
- ❖ Retrait très faible.

## **2. 4 - PROPRIÉTÉS DES BÉTONS LÉGERS DE POLYSTYRÉNE**

### **EXPANSE:**

#### **2 .4 . 1. 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 [A. GUEZOULI &A. BENAÏSSA , 2005], 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. BENAÏSSA, 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 12 représentent les différents types de composition.

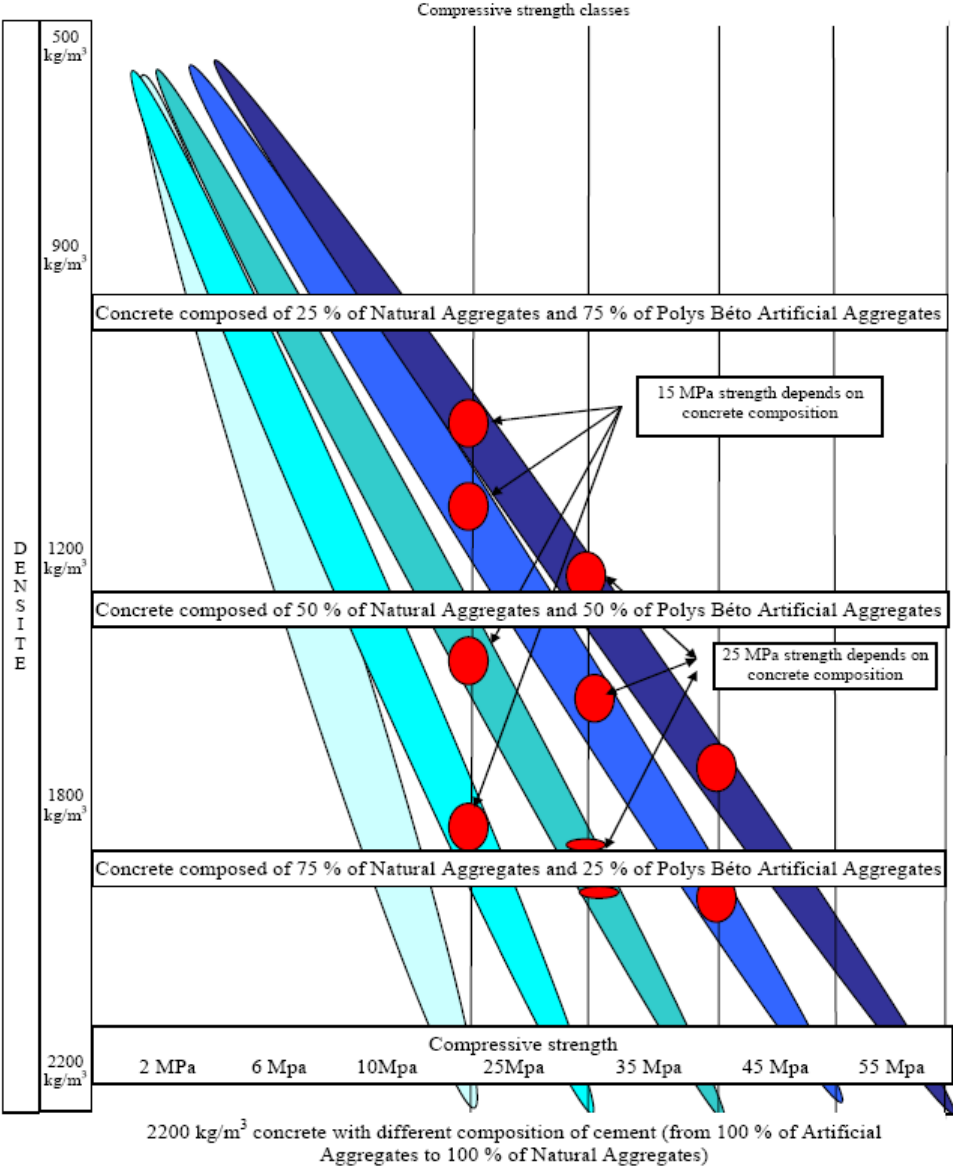


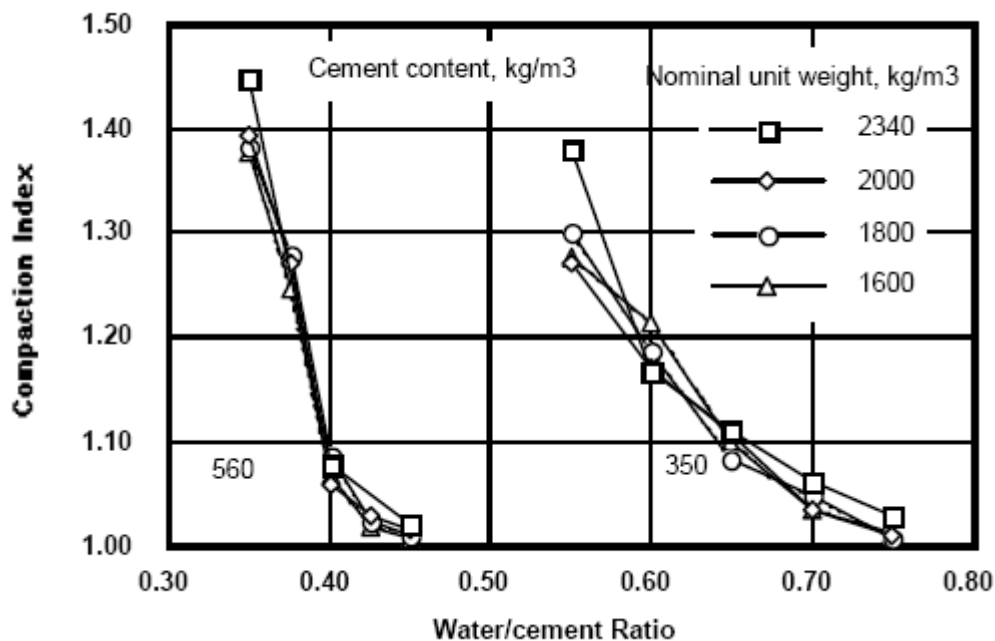
Fig.2.2 les différents types de composition. [ A. GUEZOULI &A. BENAÏSSA , 2005]

## 2.4.2. 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 [K. MILLED 2005].

## 2.4.3. La rhéologie à l'état frais

L'ouvrabilité, qui est une propriété importante du béton à l'état Frais définit la relation contrainte déformation du matériau, La détermination d'ouvrabilité du béton est exigé pour réaliser le béton de bon qualité.les caractéristiques fondamentales pour définir l'ouvrabilité incluent la viscosité, la cohésion, la mobilité, la stabilité, le compactibilité et la pompabilité. Une étude étendue à l'université de la technologie, Sydney sur la production et les propriétés du béton de polystyrène. Il a constaté que l'ouvrabilité de béton de polystyrène expansé pourrait être classées en fonction de l'indice de compactage [B. SABAA& R. SRI RAVINDRARAJAH,1999].



2.4 Fig.2.3. Influence du dosage de ciment sur l'ouvrabilité du béton léger de polystyrène BLPSE

Les propriétés mécaniques des billes de polystyrène expansé sont négligeables devant celles de la matrice cimentaire. En effet, ces billes ont un module d'Young compris entre 4 et 8 MPa et une résistance en compression de l'ordre de 80 kPa [K. MILLED, 2005].

Grâce à l'emploi des matrices cimentaires à ultra haute résistance, les bétons de polystyrène peuvent avoir des résistances de bétons de structure.

#### 2.4 .5. 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] .

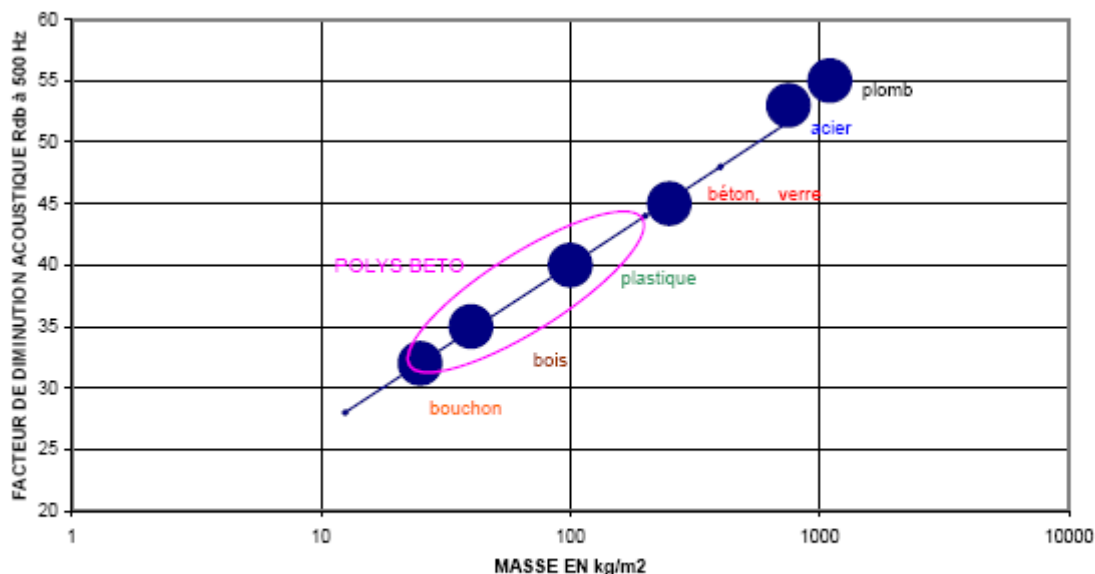
L'isolation acoustique a pour but de traiter la propagation des bruits entre deux locaux voisins. En effet, l'énergie acoustique se transmet entre des locaux voisins par trois voies : [SFBC, 2005]

- 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 [A. GUEZOULI &A. BENAÏSSA, 2005]. 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. BENAÏSSA 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 (2.4) montre que les valeurs du facteur de diminution acoustique pour le Polys béto est proche de celui du bois, du plastique et du bouchon.



**Fig.2.4.** valeurs des facteurs de diminution acoustique de différents matériaux

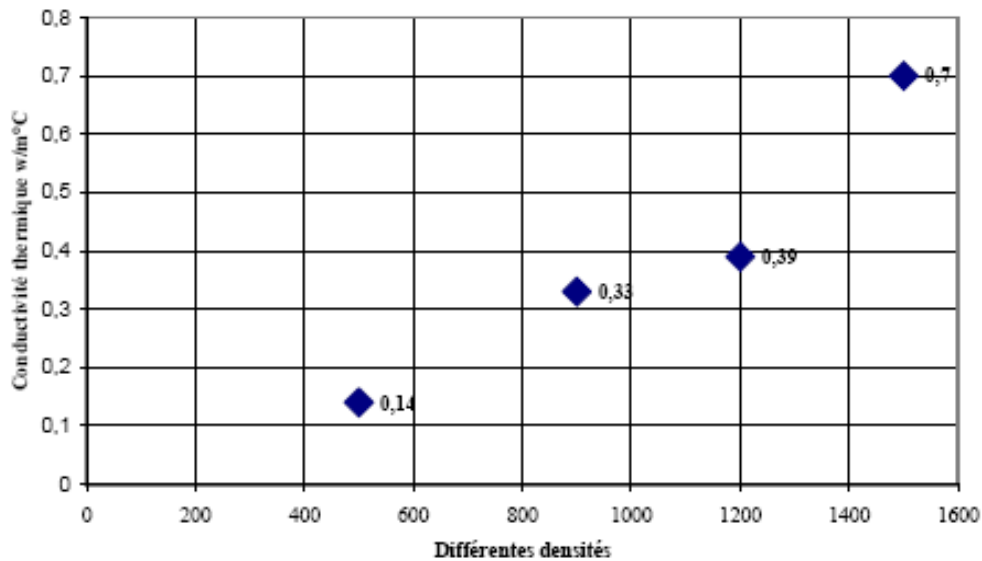
## 2.4. 6- Les propriétés thermiques

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 densité de 400 kg/m<sup>3</sup> et 0.30 à pour des densité de 800 kg/m<sup>3</sup>. [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 [K. MILLED, 2005].

Les recherches réalisées par A. GUEZOULI et A. BENAÏSSA ont montrées que l'évolution de la conductivité thermique du béton de polystyrène décroît avec l'augmentation des perles de polystyrène dans le béton comme l'indique la fig2.5.



**Fig.2.5.** 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

### **Orientation de l'étude :**

Du fait que les données disponibles dans la littérature Nous avons constaté que l'influence des choix des granulats légers sur les performances des bétons légers restent encore imprécis, ainsi que l'absence d'une méthodologie pratique pour leur formulation, c'est pourquoi l'utilisation de BL reste jusqu'à présent timide dans notre pays malgré son importance dans le secteur économique.

Nous avons par conséquent orienté notre recherche expérimentale dans le but de formuler et caractériser des bétons légers de polystyrène expansé béton léger de polystyrène (BLPSE).

# **C**hapitre 03

**MATÉRIAUX, MÉLANGES ET**

**ESSAIS UTILISÉS**

### 3.1. INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux utilisés dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, permettant de faire un choix répondant à leur destination [H. G. ESSOBA, A. BENAZZOUK, O. DOUZANE, M. QUENEUDEC-T'KINT , 80025 Amiens Cedex1]. Par ailleurs, il est essentiel que ces matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes. Ainsi, pour évaluer ces propriétés, on doit choisir des moyens adéquats afin de parvenir à un meilleur contrôle.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la présentation des caractéristiques de matériaux utilisés durant ce projet de recherche, les procédures des malaxages pour confectionner nos mélanges, ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l'état frais et durci.

### 3.2 Caractérisation Des Matières Premières

La Caractérisation des matières premières est structurée de façon à fournir les caractéristiques principales des matériaux.

#### 3.2.1 LIANT

On a choisi d'utiliser des produits d'usage courant, Le ciment utilisé est de type ciment Portland composé CPJ-CEM provenant de la cimenterie de Ain-Touta, dont les caractéristiques physico-chimique et minéralogique sont données sur les tableaux (1,2 et 3)

**Tableau 3.1:** Caractéristiques de ciment

Nomination Caractéristiques	CPJ-CEM II/42,5 A
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.215
Masse volumique Absolu (g/cm <sup>3</sup> )	3.150
Surface spécifique (Blaine) (g/cm <sup>3</sup> )	3371
Temps de début de prise (heure:minute)	2h: 03
Temps de fin de prise (heure:minute)	3h : 00
La résistance à la compression à 28 jours (MPA)	47

**Tableau 3.2:** Composition chimique du ciment

<b>Composition chimique (%): CPJ-CEM II/42,5 A</b>											
Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	CaO libre	Perte au feu	Résidus insolubles
19.34	5.37	3.00	61.69	1.80	0.76	0.14	2.20	0.027	0.97	5.03	1.12

**Tableau 3.3:** Composition minéralogique de ciment

<b>Composition minéralogique de ciment CPJ-CEM II/42,5 A</b>			
<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>
58.3	14.6	8.7	11.26

### 3.2.2 EAU

L'eau de gâchage utilisée au cours des essais est une eau du robinet de l'Université de Biskra sans aucun traitement. Nous supposons qu'elle répond à toutes les prescriptions de la norme (EN 1008) en matière de béton.

### 3.2.3 POLYSTYRENE EXPANSE

La fabrication des billes de polystyrène est réalisée dans l'usine ENL sise à la zone industrielle de Oued- Smar Alger, Proviennent de la ces billes sont ensuite traitées par la société IBER CONSTRUCTION SARL dans la même usine pour obtenir le produit POLYS BETO.

POLYS BETO est constitué de billes de polystyrène de diamètres variant entre 1,5 et 4 mm traitées en surface par un agent tensioactif spécifique. Ce traitement assure aux billes une intégration et une répartition homogènes dans le mortier ou béton qu'on souhaite alléger en se substituant aux sables courants ou légers.



**Photo. 08 :** mesure des billes de polystyrène

**Tableau 3.4:** Caractéristiques de polystyrène POLYS BETO

Nomination Caractéristiques	POLYS BETO
Granulométrie (mm)	1,5 à 4 mm
Masse volumique apparente après traitement (kg/m <sup>3</sup> )	28 à 32
Masse volumique absolue (kg/m <sup>3</sup> )	33
Conductivité thermique sèche (W/mK)	0,045

### 3.2.4 Sable

Le sable utilisé dans tous les mélanges du béton léger provient de la région de Lioua (wilaya de Biskra). Il s'agit d'un sable fin siliceux de granulométrie  $\Phi < 4$  mm, ses propriétés physiques :

Masse volumique apparente = 1678 kg/m<sup>3</sup>

Masse volumique absolue = 2572 kg/m<sup>3</sup>

Equivalent de sable = ES visuel 86.2 %, ES piston = 79.3 % (Sable propre)

## 3.3 Description Des Bétons

Notre programme expérimental a pour but de contribuer à la valorisation des granulats de polystyrène expansé par leur incorporation dans une matrice cimentaire, pour l'élaboration d'un composite à base de particules de polystyrène expansé. Dans cette étude, on s'intéresse au comportement d'un mortier dans lequel le sable a été substitué par les granulats de polystyrène expansé.

Nous avons proposé de faire varier des facteurs clés (rapport E/L, quantité de polystyrène ), nous avons choisi deux procédés de formulation afin de voir quelle est la meilleure:

### 3.3.1 Formulation par la méthode 1

Cette méthode est basée sur un choix d'une matrice cimentaire qui s'attribue au béton léger souhaité, on le désigne par  $M_0$  c'est-à-dire le pourcentage du granulat léger est nulle.

Pour nos mélanges, nous avons choisi huit compositions de béton de polystyrène pour les tester, les densités de ces mélanges sont : 2000, 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800 et 600  $\text{kg/m}^3$ . Les proportions de polystyrène nécessaires pour obtenir ces densités sont calculées grâce à la formule suivante :

$$g = \frac{\gamma_{matrice} - \gamma_{béton}}{\gamma_{matrice} - \gamma_{polystyrène}} \quad [\text{K. MILLED, 2005}]$$

Où  $g$  : est la fraction volumique en polystyrène dans le mélange,  $\rho_{matrice}$ ;  $\rho_{béton}$  et  $\rho_{polystyrène}$  représentent respectivement les masses volumiques de la matrice, du béton et des billes de polystyrène expansé. Dans les tableaux 3.5 et 3.6, nous présentons les compositions de tous les mélanges pour cette méthode de formulation.

Nous avons adopté la matrice cimentaire de mortier classique pour trouver  $g\%$

**Tableau 3.5:** compositions de tous les mélanges E/C = 0,45

Constituant ( $\text{kg/m}^3$ )	$M_0$	$M_{01}$	$M_{02}$	$M_{03}$	$M_{04}$	$M_{05}$	$M_{06}$	$M_{07}$	$M_{08}$
<b>POLYS BÉTO</b>	0	3,04	5,94	9,14	12,21	15,23	18,3	21,32	24,42
<b>SABLE</b>	1500	1362	1230	1084	945	808	670	531	390
<b>CIMENT</b>	500	454	410	361,5	315	270	223	177	130
<b>EAU</b>	225	204,23	184,5	162,7	141,75	121,16	100,35	80	58,5
<b>g %</b>	<b>0%</b>	<b>10,26%</b>	<b>19,4%</b>	<b>28,51%</b>	<b>37,64%</b>	<b>46,76%</b>	<b>55,88%</b>	<b>65%</b>	<b>74%</b>
<b>E/C</b>	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
$\gamma_{th}$	<b>2225</b>	<b>2000</b>	<b>1800</b>	<b>1600</b>	<b>1400</b>	<b>1200</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>	<b>600</b>

**Tableau 3.6:** compositions 02 de tous les mélanges E/C = 0, 5

<b>Constituant (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>M<sub>0</sub></b>	<b>M<sub>01</sub></b>	<b>M<sub>02</sub></b>	<b>M<sub>03</sub></b>	<b>M<sub>04</sub></b>	<b>M<sub>05</sub></b>	<b>M<sub>06</sub></b>	<b>M<sub>07</sub></b>	<b>M<sub>08</sub></b>
<b>POLYS BÉTO</b>	0	6,7	9,67	12,65	15,63	18,61	21,6	24,56	27,54
<b>SABLE</b>	1500	1195,5	1060,22	924,9	789,6	654,26	518,9	383,63	248,3
<b>CIMENT</b>	500	398,5	353,4	309	263,2	218,1	173	128	82,77
<b>EAU</b>	250	199,25	176,70	154,15	131,6	109,04	86,5	64	41,4
<b>g %</b>	<b>0%</b>	<b>11,27%</b>	<b>20,3%</b>	<b>29,3%</b>	<b>38,34%</b>	<b>47,36%</b>	<b>56,38%</b>	<b>65,4%</b>	<b>74,42%</b>
<b>E/C</b>	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5
<b>γ<sub>th</sub></b>	<b>2250</b>	<b>2000</b>	<b>1800</b>	<b>1600</b>	<b>1400</b>	<b>1200</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>	<b>600</b>

### 3.3.2 Formulation par la méthode 2

Dans cette méthode, le sable a été substitué par les granulats de polystyrène expansé à des teneurs volumiques de  $g=5\%$  puis 10, 20, 30, 50, 75 et finalement 100 % dans le volume d'ensembles naturels par le volume complémentaire d'ensembles artificiels. Les différentes compositions utilisées sont reportées aux tableaux 3.7 et 3.8.

**Tableau 3.7:** compositions 03 de tous les mélanges E/C = 0, 5

<b>Constituant (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>M<sub>0</sub></b>	<b>M<sub>0,5</sub></b>	<b>M<sub>0,10</sub></b>	<b>M<sub>0,20</sub></b>	<b>M<sub>0,30</sub></b>	<b>M<sub>0,5</sub></b>	<b>M<sub>0,75</sub></b>	<b>M<sub>100</sub></b>
<b>POLYS BÉTO</b>	0	0,96	1,92	3,85	5,77	9,62	14,43	19,24
<b>SABLE</b>	1500	1425	1350	1200	1050	750	375	0
<b>CIMENT</b>	500	500	500	500	500	500	500	500
<b>EAU</b>	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>g %</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
<b>E/C</b>	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5
<b><math>\gamma_{th}</math></b>	<b>2250</b>	<b>2176</b>	<b>2102</b>	<b>1954</b>	<b>1806</b>	<b>1510</b>	<b>1140</b>	<b>770</b>



**Tableau 3.8:** compositions 04 de tous les mélanges E/C = 0,45

<b>Constituant (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>M<sub>0</sub></b>	<b>M<sub>0,5</sub></b>	<b>M<sub>0,10</sub></b>	<b>M<sub>0,20</sub></b>	<b>M<sub>0,30</sub></b>	<b>M<sub>0,5</sub></b>	<b>M<sub>0,75</sub></b>	<b>M<sub>100</sub></b>
<b>POLYS BÉTO</b>	0	0,96	1,92	3,85	5,77	9,62	14,43	19,24
<b>SABLE</b>	1500	1425	1350	1200	1050	750	375	0
<b>CIMENT</b>	500	500	500	500	500	500	500	500
<b>EAU</b>	225	225	225	225	225	225	225	225
<b>g %</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
<b>E/C</b>	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
<b>γ<sub>th</sub></b>	<b>2225</b>	<b>2151</b>	<b>2077</b>	<b>1929</b>	<b>1781</b>	<b>1484,6</b>	<b>1114,5</b>	<b>744,24</b>

### 3.4 DESCRIPTION DES ESSAIS EN LABORATOIRE

#### 3.4.1 Introduction

Cette section décrit les essais réalisés en laboratoire pour évaluer l'impact des variations proposées par le programme expérimental. On retrouve également les techniques de fabrication ainsi que la taille et le nombre d'éprouvettes requises pour chacun des essais (tableau 3.9).

**Tableau 3.9:** Liste des essais réalisés et dimension des éprouvettes

Essai	Formule	Dimension des éprouvettes	Nombres de couches	Nombre d'éprouvettes
Étalement	$D = \frac{D1 + D2 + D3 + D4}{3}$	Cône normalisé	2	3
Masse volumique	$\gamma = \frac{m}{v}$	4x4x16	2	3
Résistance à la compression	$R_c = \frac{F}{S}$	4x4x16	2	3
Résistance à la flexion	$R_{ff}$ directement données par l'appareil	4x4x16	2	3
Résistance à la traction	$R_{tf}$ directement données par l'appareil	4x4x16	2	3
Module d'élasticité dynamique	$E_d = \frac{V^2 Q(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu}$	4x4x16	2	3

### 3.4.2 Coulage des éprouvettes et conditions de cure

Le matériau élaboré est un composite à trois phases, constitué de ciment, sable et Les billes de polystyrènes expansé. Le procédé consiste à préparer un mortier classique suivant la norme (EN 196-1), Les autres gâchées s'articulent selon le mode opératoire suivante :

Verser 80 % d'eau, puis le polys béton, le sable et ensuite le ciment. Toute ces opérations se réalisent en bétonnières (malaxeur) tournant au ralenti en faisant attention que l'axe de la bétonnière soit plus horizontal possible, puis à vitesse rapide intégrer le restant de l'eau et malaxer pendant 3 min. Après homogénéisation du matériau frais, celui-ci est mis en place. En outre, les mélanges des bétons dans les éprouvettes ont été soumis à la vibration pour que les bulles d'air s'échapper. Puisque les bulles d'air enfermés peuvent facilement s'échapper des mélanges humides, sur table vibrante, dans des moules de dimensions 4 x 4 x 16 cm.

Le choix des dimensions du moule est fixé par la norme NFP.18-400. Il doit satisfaire le critère de l'échelle de volume représentatif stipulant que la plus petite dimension du moule

doit être largement supérieure à la plus petite dimension du moule doit être largement supérieure aux plus gros granulats, de plus les dimensions permettent de réaliser les essais de caractérisation recherchés.

Pour la caractérisation physico-mécaniques des bétons élaborés dans ce travail, le choix de moules de dimensions 4x4x16 cm pour le mortier témoin ainsi pour les bétons à granulats légers convient largement pour effectuer les essais de caractérisation.

Pour chaque essai et une composition donnée, trois échantillons ont été préparés et Les éprouvettes élaborées sont conservées dans une cure par immersion dans l'eau à  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , Avant les essais mécaniques, les échantillons ont été séchés jusqu'à masse constante à l'air.

### **3.4.3 Mesures (béton frais)**

#### **3.4.3.1 Mesure de l'essai d'étalement**

La mesure de l'étalement a pour but de fournir un indice de la maniabilité du mélange. La maniabilité est une propriété intrinsèque du matériau frais. Elle détermine la facilité de sa mise en œuvre. Cette propriété peut affecter les caractéristiques mécaniques du matériau à l'état durci.

L'essai consiste à remplir un cône normalisé en deux couches de volumes égaux et à pilonner chacune d'elles de 20 coups de bourroir répartis uniformément sur toute la surface. Par la suite, on retire le cône et on actionne la table à chocs d'étalement : le plateau doit tomber 25 fois à raison de 1 coup à la seconde. On mesure ensuite l'étalement en quatre points à l'aide d'une règle prévue à cet effet. Finalement, on additionne les quatre valeurs obtenues qui donne le pourcentage d'étalement moyen.



**Photo.09** : essai d'étalement

### 3.4.3.2 Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique est sans contredit l'un des aspects techniques les plus importants pour la formulation de béton léger, la masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains de constituant.

La méthode préconisée pour évaluer la masse volumique du béton à l'état frais Consiste à peser les moules juste après les remplies par le béton frais pour déterminer la masse du béton.

La masse volumique est donnée par La masse du béton divisée par le volume des éprouvettes.

La masse volumique théorique :  $\gamma^{th} = (E + G + C)/v$

Tel que :

C : dosage en ciment en  $kg/m^3$

G : dosage en granulats en  $kg/m^3$

V : volume

### 3.4.4. Mesures (béton durci) :

Des essais ont été effectués à l'état durci afin de déterminer les performances physico-mécaniques de nos mélanges. Il s'agit de mesure la masse volumique de ces mélanges et de quatre essais sur béton, qui dictent la résistance à la compression, la résistance à la flexion , la résistance à la traction par flexion et module dynamique .

#### 3.4.4.1. Mesures de la masse volumique :

La masse volumique sèche du composite a été évaluée par pesée, à l'aide d'une balance électronique 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.



**Photo.10** : mesure de la masse volumique

#### 3.4.4.2. Mesures de la résistance mécanique

Les résistances mécaniques en compression, en flexion et en traction sont déterminées sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm, suivant la norme EN 196-1, à l'aide d'une Presse hydraulique et la Machine de flexion, respectivement. Les procédures de ces essais sont détaillées ci-dessous et leurs dispositifs sont représentés dans des photos.

#### **3.4.4.2.1. Mesures de la résistance à la compression :**

Il est réalisé, sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression  $f_{cj}$  obtenus à 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 KN en compression, le dispositif est représenté sur la photo (11).



**Photo.11** : essai de compression

#### **3.4.4.2.2. Mesures de la résistance à la flexion :**

L'essai consiste à placer les éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm mûries à l'eau dans la Machine de flexion. Les résultats de la résistance à la flexion directement donnée par l'appareil obtenus à 28 jours représentent

la moyenne de trois échantillons. L'essai est représenté sur la photo (12).



**Photo.12** : essai de flexion et de traction par flexion

#### **3.4.4.2.3. Mesures de la résistance à la traction par flexion :**

Il est réalisé, sur des éprouvettes prismatiques de 40 x 40 x 160 mm mûries à l'eau. La résistance à la traction obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150 kN.



**Photo.13** : les éprouvettes après l'essai de flexion

#### **3.4.4.4. Mesures module d'élasticité dynamique :**

Les modules d'élasticité dynamiques et statiques ne peuvent être déterminés que de façon indirecte par le mesurage de la vitesse du son, alors la détermination du module d'élasticité dynamique du composite a été effectuée par auscultation ultrasonore, suivant la norme NF P 18-418 [AFNOR, 1989]

Le module élastique est déterminé, à 28 jours, lors d'essais de compression sur des éprouvettes 40 x 40 x 160 mm mûries à l'eau. Le principe est basé sur la détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le matériau. Les ultrasons sont des vibrations mécaniques qui se propagent sous forme d'ondes, produisant un champ sinusoïdal de contraintes mécaniques. Pour un échantillon soumis à des oscillations forcées, La déformation de la matière se produit dans le sens de la propagation. La détermination du module d'élasticité dynamique est effectuée à l'aide d'un appareil d'auscultation sonique des structures, type Tico Ultrasonic SN0010.0039 1.10.



**Photo.13** : ultrason de type Tico  
SN0010.0039 1.10

### **3.5 Conclusion:**

La présentation des caractéristiques des matériaux utilisés, la composition des mélanges et les procédures de mesure va nous permettre de mieux analyser les résultats et faciliter la compréhension de l'influence de différents paramètres étudiés dans notre mémoire.

# **C**hapitre 04

## **FORMULATION ET CARACTÉRISATION DES BÉTONS LÉGERS**



## 4.1. INTRODUCTION

Les bétons de granulats légers sont fabriqués comme les bétons courants, mais avec des granulats légers. Ce chapitre présente la formulation du béton de polystyrène expansé BLPSE.

Le BLPSE est un mélange de granulats légers artificiels de polystyrène expansé, de ciment, de sable, et d'eau. Nous pouvons obtenir une infinité de bétons légers, en faisant varier les proportions de ces constituants, il est certain que, parmi ces bétons, ceux qui sont utilisés pour la fabrication d'éléments porteurs, sont les bétons légers de structure, ceux qui sont fabriqués pour des éléments secondaires où la résistance modérée et destinées à la fabrication des éléments architecturaux où la masse volumique est faible.

L'objectif de l'étude expérimentale présentée dans ce chapitre est de formuler un béton de polystyrène expansé et d'aider à développer une compréhension améliorée des caractéristiques du BLPSE.

Comme il a été mentionné dans le chapitre précédent, notre expérimentation vise à l'élaboration d'un béton léger de différente teneur en polystyrène. Nous avons essayé deux méthodes pour la formulation, concernant la première nous avons basé sur une formule de calcul pour déterminer les proportions de tous les constituants du mélange afin de pouvoir formuler un béton de polystyrène expansé d'une masse volumique souhaité (2000 ; 1800 ; 1600 ; 1400 ; 1200 ; 1000 ; 800 ; 600 ), alors que dans la deuxième méthode nous avons joué seulement sur deux paramètres qui sont les pourcentages de granulats de polystyrène (0 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30, 50 ; 75 ; 100)%et le sable en substituant l'un par l'autre.

Il convient maintenant de présenter une synthèse des résultats obtenus, celle qui présente les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons légers de polystyrène à l'état frais puis à l'état durci, pour chacun des facteurs clés étudiés (E/C et le pourcentage du polystyrène expansé PSE) qu'on a varier à travers les deux méthodes de formulation choisies.

## 4.2. PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats vise à mettre en relief les effets des facteurs clés étudiés sur les propriétés du béton de polystyrène. A la lumière de cette analyse, il sera alors possible de cibler la méthode de composition idéale pour le béton de polystyrène selon les propriétés recherchées.

La méthodologie d'analyse est basée sur une analyse des résultats obtenus pour chaque essai à travers les deux méthodes à l'état frais puis à l'état durci du béton BLPSE, aussi, nous allons étudier les effets de chaque facteur clé. De façon très sommaire,

#### **4.2.1. Etude à l'état frais**

L'analyse qui suit est basée sur les travaux réalisés en laboratoire.

##### **4.2.1.1. La maniabilité:**

La maniabilité est une propriété intrinsèque du matériau frais. Elle détermine la facilité de sa mise en œuvre. Cette propriété peut affecter les caractéristiques mécaniques du matériau à l'état durci. Le besoin en eau du matériau frais, pour atteindre une maniabilité convenable, est très influencé par la texture superficielle, la porosité et la forme des granulats. Dans le cas des granulats légers notamment, la perte de maniabilité peut être due à une absorption plus ou moins importante d'eau en fonction de la porosité du granulat et de son degré de saturation. Nous rappelons que Les billes de polystyrènes expansés sont totalement imperméables à l'eau donc elles ne l'absorbent pas.

Nous allons présenter la rhéologie des bétons à l'état frais qui a été mesurée par l'essai d'étalement pour les deux méthodes de formulation. Elle représente le premier indice obtenu lors des essais en laboratoire. L'analyse qui suit est basée sur les résultats de la table à secousse.

#### **Présentation Des Résultats Par La 1<sup>ère</sup> Méthode :**

Le tableau 4.1 indique les valeurs d'étalement pour  $E/C = 0.45 \& 0.50$ , Au cours des essais On a remarqué que les mélanges obtenus sont homogènes avec une bonne cohésion quelle que soit la teneur des billes de polystyrènes expansés.

**Tableau 4.1:** Résultats des mesures d'étalement par la méthode 01

g%	L'étalement (mm)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	105	125
10,26	110	120
19,4	105	115
28,51	105	115
37,64	100	110
46,76	100	105
55,88	100	100
65	100	100
74	100	100

#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

La figure 4.1 montre l'effet du pourcentage des perles de polystyrène expansé sur l'étalement pour les mélanges des bétons de polystyrène, l'étalement a diminué avec l'augmentation du pourcentage g% alors le rajout de polystyrène fait diminuer la maniabilité, donc la relation entre le pourcentage de granulats de polystyrène ajouté à la composite et l'étalement est inversement proportionnel tel que:

- Lorsque le rapport  $E/C = 0.45$ : sauf le pourcentage de  $g=10,25\%$  qui nous a permis d'augmenter la maniabilité de la composition à 110mm, toutes les autres valeurs montrent une légère variation comprise entre 5 et 10mm jusqu'à ce qu'elle se stabilise à tout pourcentage supérieur à 37,64%.
- $E/C = 0.5$ : c'est presque le même scénario que le premier rapport, l'étalement décroît toujours en fonction de l'augmentation du pourcentage de granulats ajoutés jusqu'à ce qu'il se stabilise à la valeur 100 mm.
- Suivant ces valeurs, on classe les bétons de polystyrène PSE qu'on a fabriqué par cette méthode parmi les bétons très ferme ( $D < 130$ ).

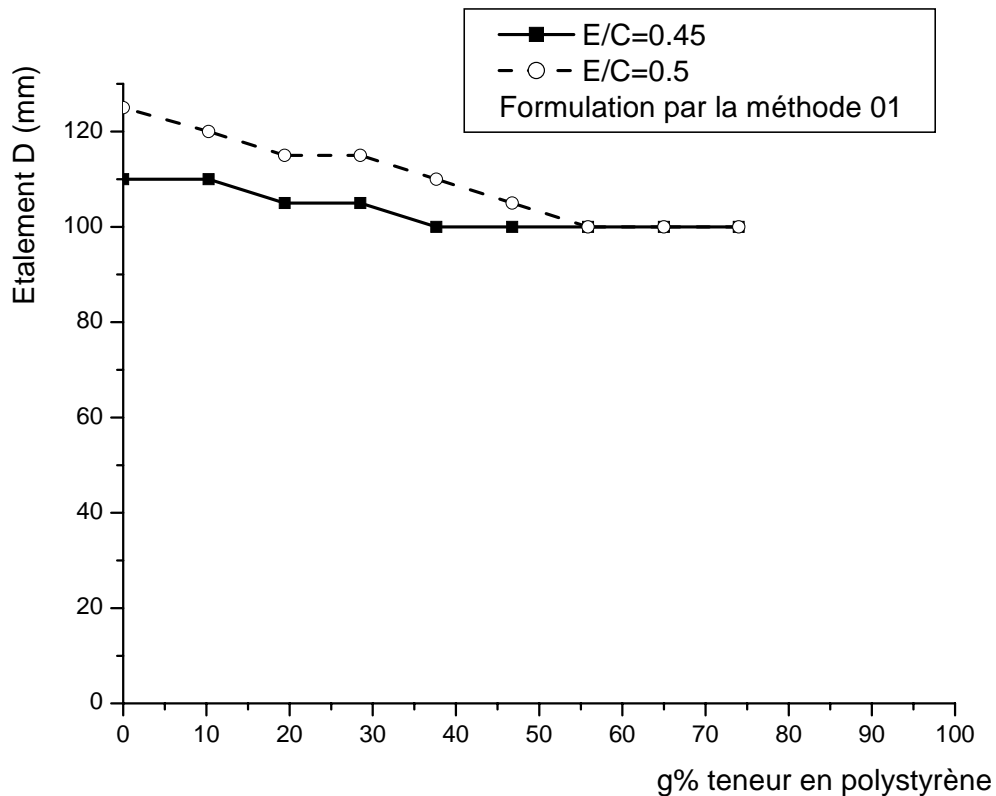
L'effet du pourcentage sur la diminution de l'étalement donc sur la maniabilité des composites peut s'expliquer par deux raisons :

- Une bonne quantité du sable équivaut à une demande en eau plus élevée.
- La réduction d'autres composants (ciment et eau) alors la réduction de la pâte qui enrobe les particules de polystyrène expansé.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

Toujours d'après la figure 4.1, on a pu remarquer une diminution de la maniabilité du béton lorsque le rapport E/C diminue. Les résultats des essais sont clairs à cet effet, selon le tableau 21 :

l'étalement pour les bétons de rapport E/C de 0,45 est faible en comparant avec celle de 0,50 tel que lorsque le pourcentage g%= 37,64 l'étalement reste constant pour E/C =0.45, mais pour le rapport E/C= 0.50 l'étalement devient constant lorsque g%= 55,88, ce qui explique l'influence du rapport.



**Fig.4.1 :** Influence de la teneur en polystyrène sur l'étalement par la 1<sup>ère</sup> méthode pour E/C= 0.45&0.5

### Présentation Des Résultats Par La 2<sup>ème</sup> Méthode :

Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, cette méthode est basée sur le remplacement des granulats naturels par un substitué artificiel polystyrène expansé PSE, L'analyse de la variance présentée dans la figure 4.1 a été obtenue à partir des valeurs d'étalement présentées dans le tableau 4.2.

**Tableau 4.2:** Résultats des mesures d'étalement par la 2<sup>ème</sup> méthode

g%	L'étalement (mm)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	105	125
5	105	130
10	115	170
20	120	180

30	145	195
50	180	200
75	185	215
100	220	230

❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

Dans cette méthode on a observé une augmentation de la maniabilité du béton lorsque la teneur en polystyrène augmente, d'après la figure 4.11 on a constaté que :

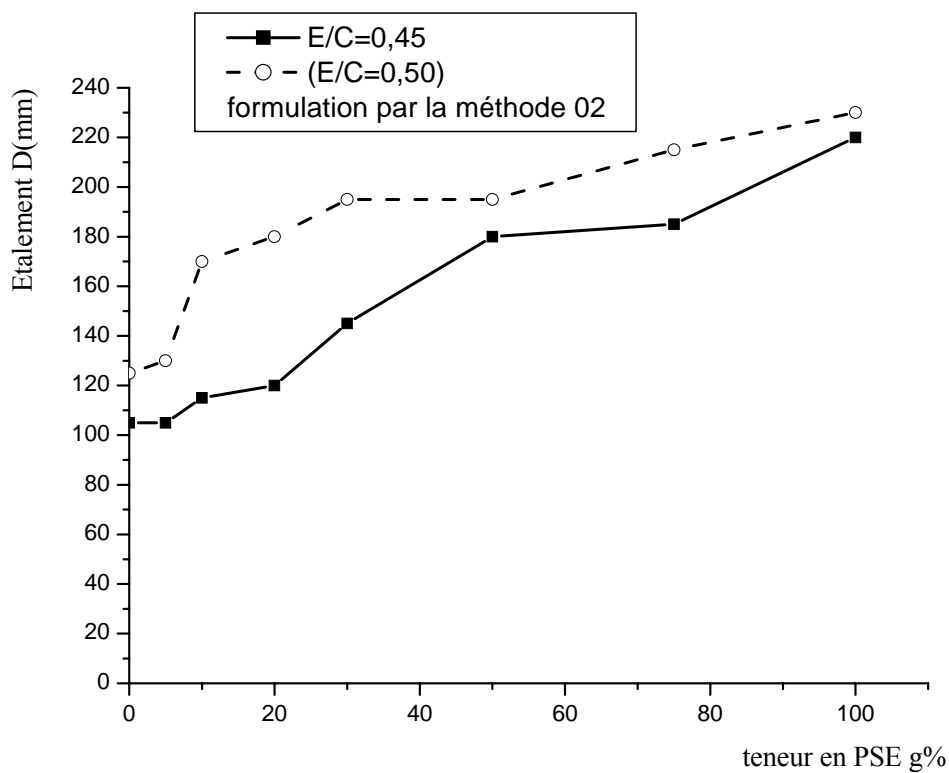
- Le pourcentage du polystyrène augmente la maniabilité de ces bétons jusqu'à ce qu'il lâche, et notamment pour des grandes teneurs en PSE.
- Nous distinguons quatre classes :
  - entre (0- 20) %, la composite est très ferme
  - A 30 %, le béton appartient à la deuxième classe (composite ferme)
  - A 50 %, le béton est plastique (3<sup>ème</sup> classe)
  - Entre 75 et 100 % le mélange est très plastique

Alors ce paramètre a un effet significatif sur la rhéologie des mélanges obtenus, nous pouvons l'expliquer par:

- Une diminution du sable qui équivaut à une demande en eau plus faible
- la pate de ciment est conservée constante pour tous les mélanges, par conséquent toutes les particules de polystyrène expansé deviennent enrober.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

Le schéma .4.2 montre l'effet du rapport E/C pour les mélanges, il est proportionnel avec la maniabilité ; l'étalement croit avec la croissance du rapport E/C autrement dit quand la proportion des granulats se trouve dans l'intervalle de 5 à 50 % l'étalement se diffère clairement suivant l'élévation du rapport E/C. Au pourcentage de 20% des granulats qui est le pique de différence d'étalement entre les deux rapports 0.45 et 0.5, l'effet de l'eau apparaît clairement.



**Fig.4.2 :** Evolution de l'étalement en fonction de la teneur en polystyrène suivant la 2ème méthode et E/C = 0.45&0.5

#### L'effet des deux méthodes sur l'étalement :

Les deux méthodes ont des différentes allures. Dans la 1ère méthode nous remarquons que l'augmentation du pourcentage de polystyrène PSE influe négativement sur la maniabilité des mélanges, donc c'est une relation inversement proportionnel ; cette perte de maniabilité peut être due à la réduction d'autre composition (ciment, sable et l'eau), en revanche dans la

2ème méthode, la maniabilité augmente si le pourcentage du polystyrène PSE augmente est cela revient à la réduction du volume du sable par contre le volume des autres composantes (ciment et l'eau) a été maintenu constant.

L'emploi de cette méthode d'essai d'étalement a apporté des résultats utiles dans notre étude, mais elle reste limitée si nous prenons en compte le fait qu'elle ne nous a pas permis d'identifier clairement et avec précision la maniabilité du béton de polystyrène expansé BPSE.

#### **4.2.1.2. Masse volumique apparente**

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. Le béton de sable et grâce à sa petite granularité est plus léger que les bétons traditionnels. Le rajout de polystyrène expansé allège d'avantage les bétons de sable, ce qui est démontré par les résultats que nous allons présenter par la suite.

Les masses volumiques présentées dans le tableau 4.3 et 4.4 ont été mesurées tout de suite après la période de malaxage pour les deux méthodes de formulation.

Dans l'ensemble, les masses volumiques des bétons varient de 500 à 2200 kg/m<sup>3</sup>, la variation de la masse volumique des bétons est expliquée en grande partie par la teneur en polystyrène PSE dans les mélanges. La masse volumique du béton de polystyrène expansé  $\gamma_{bf}$  à l'état frais a été déterminée, connaissant le poids des moules ainsi que leurs volumes.

Pendant la préparation des éprouvettes, on a constaté que les techniques normales de vibration ne sont pas efficaces pour rendre les bétons de polystyrène compact. Par conséquent la manière la plus efficace de rendre les mélanges compacts est l'application de la pression manuelle douce mais ferme pour serrer les perles entre-elles sans les comprimer.

#### **Présentation Des Résultats Par La 1<sup>ère</sup> Méthode :**

D'après les résultats présentés dans le tableau 4.3, nous observons que plus la proportion des polystyrènes augmente plus la masse volumique du composite diminue. Ceci est normal du fait que nous introduisons les perles de polystyrène ultra léger dans le béton de sable.

**Tableau 4.3:** Résultats les mesures de masse volumique apparente par la méthode 01

g%	Masse volumique apparente	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	2408,854	2213,541
10,26	2083,333	2018,229
19,4	1953,125	1822,916
28,51	1757,812	1757,812
37,64	1627,604	1627,604
46,76	1236,979	1236,979
55,88	1171,875	1171,875
65	976,562	911,458
74	651,041	520,833

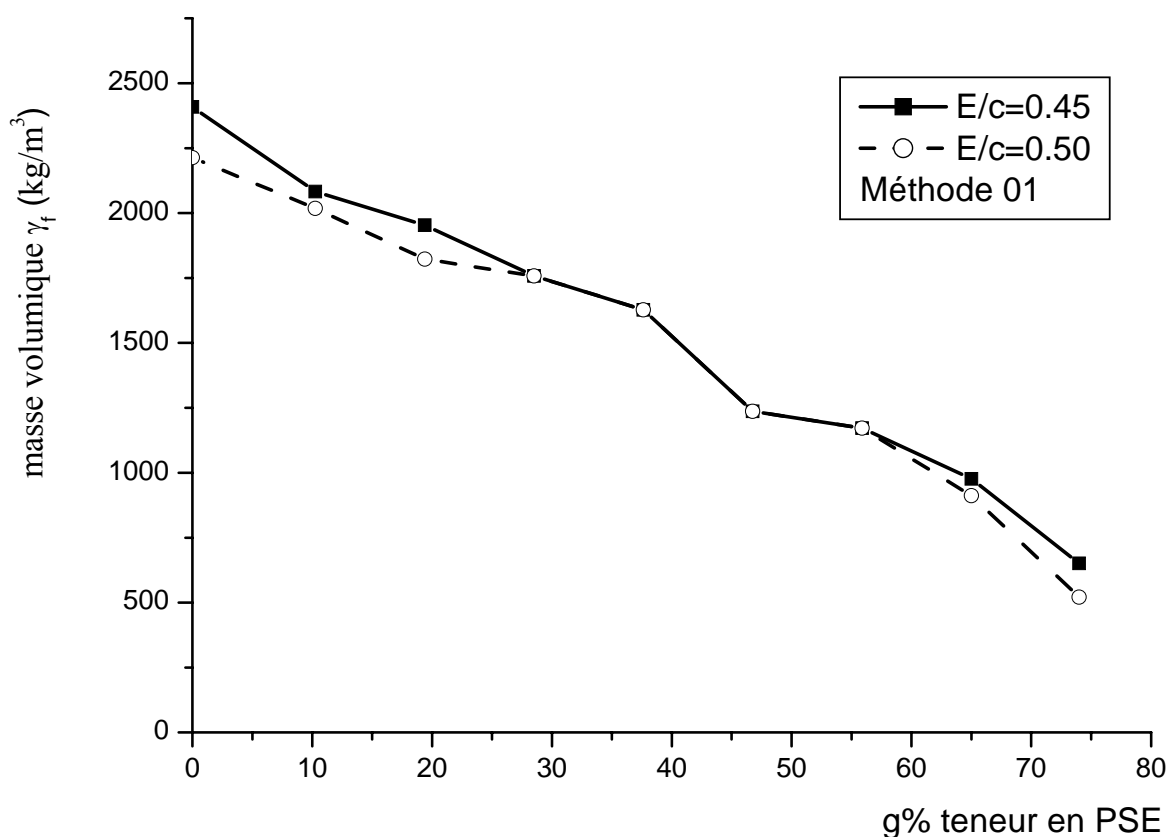
❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

La figure 4.2 montre qu'il est nettement visible que la masse volumique du béton de polystyrène à l'état frais décroît quand les teneurs en polystyrène expansé g% croît, est cela revient au poids léger du granulat de PSE.

❖ **L'effet du Rapport E/C : -**

Les deux courbes sont presque identique ce qui signifie que le rapport E/C n'a pas un grand effet sur la masse volumique de chaque mélange, et cela est concret dans quatre valeurs où la masse volumique est la même quelque soit le rapport E/C.





**Fig.4.3 :** Evolution de la masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5

#### Présentation Des Résultats selon La 2<sup>ème</sup> Méthode :

Les résultats des masses volumiques obtenus par cette méthode sont représentés dans le tableau 4.4,

**Tableau 4.4:** Résultats des mesures de masse volumique apparente par la méthode 02

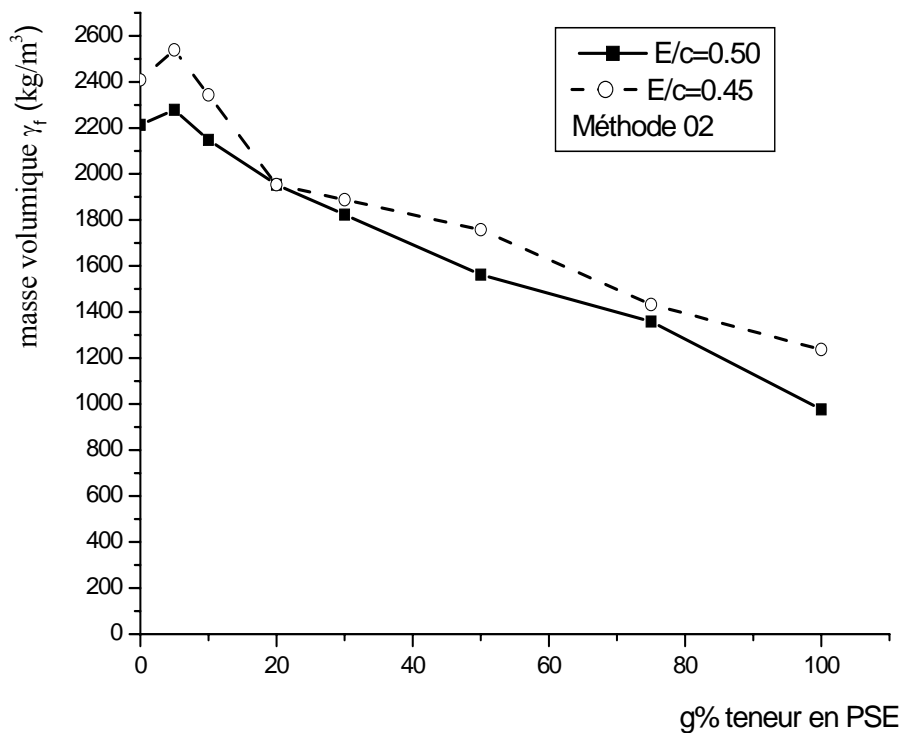
g%	Masse volumique apparente (Kg/m3)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	2408,85	2213,54
5	2539,06	2278,64
10	2343,75	2148,43
20	1953,12	1953,12
30	1888,02	1822,91
50	1757,81	1562,5
75	1432,29	1358,29
100	1236,97	976,56

#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

Les teneurs en polystyrène expansé g% croissante sont toujours accompagnées par une décroissance de la masse volumique du béton de polystyrène à l'état frais, mais contrairement à la première méthode, cette fois-ci la diminution de la masse volumique n'a pas atteint la classe du béton ultra léger qui est inférieur à 500 Kg/m<sup>3</sup>.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

Légèrement le rapport E/C influe de façon négative sur l'ampleur de la masse volumique, la Fig.4.4 montre que le rapport E/C le moins (E/C=0.45) contribue mieux à l'élévation de la masse volumique du mélange par rapport à celle de la valeur E/C=0,5.



**Fig.4.4 :** Evolution de la masse volumique à l'état frais en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5

#### 4.2.2. Etude à L'état Durci:

Au cours de la réalisation de nos essais expérimentaux, nous avons observé que les éprouvettes où le pourcentage du polystyrène expansé PSE supérieur a 70% pour la masse

volumique à l'état frais inférieur à 1000 Kg/m<sup>3</sup> flottent sur l'eau grâce à la poussée d'Archimède ce qui explique sa grande légèreté.

#### 4.2.2.1. Masse volumique apparente du béton durci :

L'évolution de la masse volumique sèche du composite en fonction de la teneur en polystyrène, est donnée par la figure 4.5.

#### Présentation Des Résultats Par La 1<sup>ère</sup> Méthode :

Au cours de la formulation des mélanges nous avons remarques que :

- Les masses volumiques inférieures à 700 kg/m<sup>3</sup> ont assez de pâte pour enduire les perles de polystyrène et les tenir ensemble. Ceci a donné un type de béton très poreux donc un béton ségrégué. Il aura besoin d'un enduit.
- Entre 700 et 1000 kg/m<sup>3</sup>, les composites ont assez de pâte pour remplir la plupart des vides mais n'ont pas toujours assez pour donner une finition extérieure lisse.
- Pour les masses volumiques supérieures à 1000 kg/m<sup>3</sup> la pâte est suffisante pour éliminer la ségrégation et donner une finition extérieure raisonnable.

La figure 4.4 résume les résultats de mesure de la masse volumique du béton durci en fonction de la teneur en polystyrène dans les conditions du laboratoire.

**Tableau 4.5:** Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5

g%	Masse volumique apparente Kg/m <sup>3</sup>	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	2235,677	2259,114
10,26	2083,333	2183,333
19,4	1856,77	1956,77
28,51	1690,364	1792,968
37,64	1610,937	1710,937
46,76	1347,656	1395,833
55,88	1230,468	1234,375
65	996,093	1018,229
74	528,645	746,093

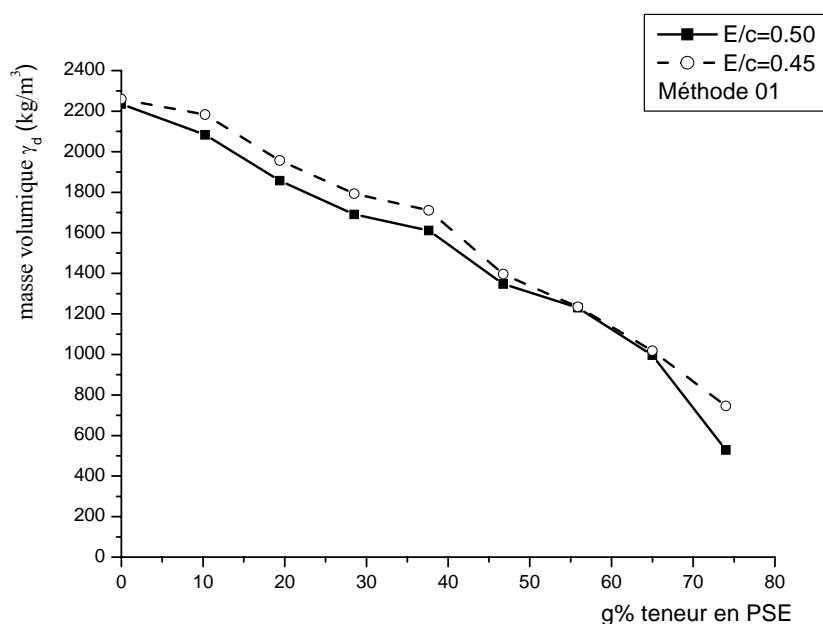
#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

En prenant le tableau 4.5, les résultats montrent que :

- les valeurs de masse volumique décroissent suivant l'ascendance du pourcentage g% et atteignent des valeurs basses conduisant à classer le mélange en béton ultra léger comme le cas de g % = 74.
- La masse volumique diminue en fonction du rajout de polystyrène expansé, cette diminution est plus rapide pour les pourcentages du PSE inférieure à 20% et ralentie pour g% supérieure à 30%.
- la chute de la masse volumique est attribuée à l'évaporation de l'eau de gâchage. Cette évaporation est favorable pour les grands dosages PSE pour lesquels la matrice est plus aérée. Ce résultat est bien marqué pour le rapport E/C=0.50.
- Pour les dosages en polystyrène de 20%, nous avons pu atteindre des masses volumiques inférieures à 1800 kg/m<sup>3</sup> réglementairement préconisées pour les bétons légers.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

Aussi, les deux courbes sont presque identiques, d'où le rapport E/C n'a pas un grand effet sur la masse volumique de chaque mélange, et cela est concret dans quatre valeurs où la masse volumique était la même quelque soit le rapport E/C.



**Fig. 4.5 :** Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et E/C= 0.45&0.5

### Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :

Contrairement à la première méthode les mélanges ont suffisamment de pâte pour éliminer la ségrégation et donnent une finition extérieure raisonnable, mais la réduction de la quantité de sable rend les mélanges très plastiques suivant le pourcentage de réduction.

Le tableau (4.6) ci-dessous représente ces résultats, nous constatons une réduction croissante, due à la substitution d'une partie de sable par son équivalent en matériaux moins dense.

**Tableau 4.6:** Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5

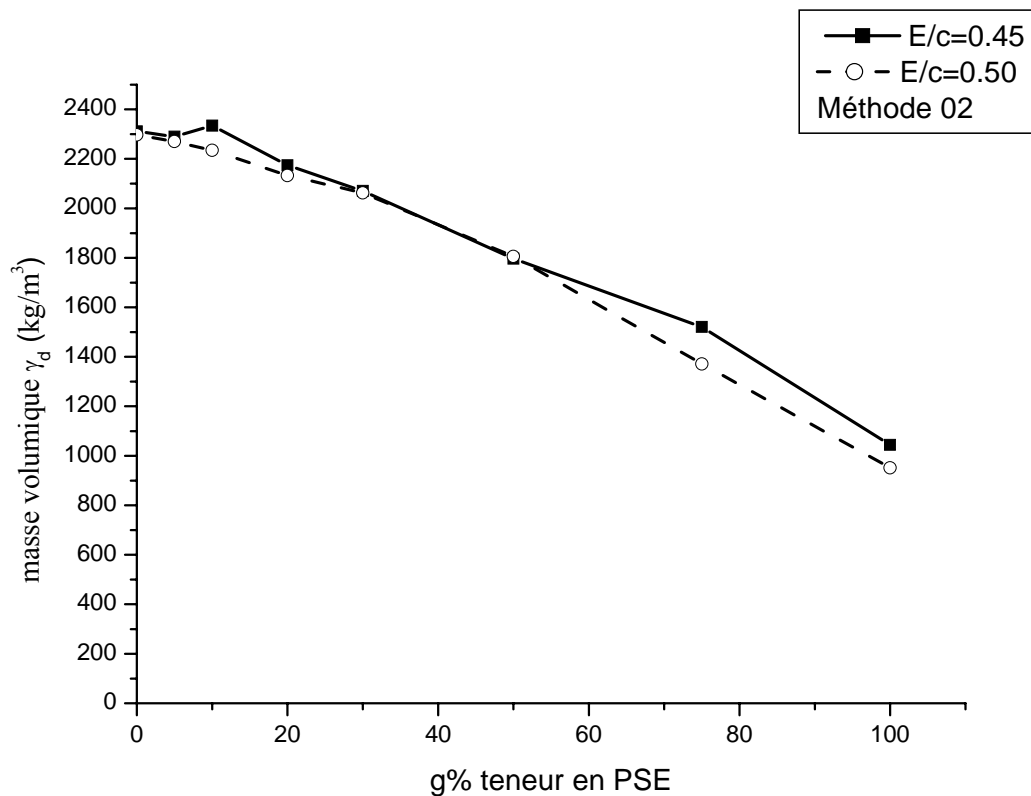
g%	Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	2310,937	2296,87
5	2290,364	2270,83
10	2334,635	2234,37
20	2174,479	2132,81
30	2070,312	2062,5
50	1796,875	1805,98
75	1520,833	1371,09
100	1044,27	951,82

#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

Le dosage au point g%= 5 n'apporte pas de grands effets sur la masse volumique mais dans le dosage g=10% il remonte la masse volumique, puis elle redescend jusqu'à 950 Kg/m<sup>3</sup>

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

Les deux courbes sont presque identiques ce qui signifie que le rapport E/C n'a pas un grand effet sur la masse volumique de chaque mélange comme nous l'avons déjà montrés, nous pouvons constater que ce facteur n'est pas radical dans la variation de la masse volumique à cause la masse volumique d'eau égale 1.



**Fig. 4.6 :** Evolution de la masse volumique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5

#### 4.2.2.2 Les Résistances mécaniques:

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

##### 4.2.2.2.1. Mesures de la résistance à la compression :

Les résistances à la compression des bétons étudiés sont relativement faibles pour les rapports E/C de 0,45 et 0,50 respectivement. En ce qui a trait à l'effet du pourcentage de polystyrène expansé et du rapport E/C sur la résistance à la compression, les résultats du tableau 4.7 indiquent un effet significatif.

### Présentation des résultats obtenus par la 1<sup>ère</sup> méthode :

Le tableau 4.7 regroupe les valeurs de la résistance moyenne à la compression à 28 jours des différentes compositions du béton de polystyrène expansé. Les résultats confirment une relation tout à fait évidente entre la masse volumique et la résistance à la compression.

**Tableau 4.7:** Evolution de la résistance à la compression à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports  $E/C= 0.45\&0.5$

g%	La résistance à la Compression (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	48,12	37,08
10,26	38,18	35,41
19,4	29,58	25,52
28,51	24,79	21,04
37,64	17,5	14,79
46,76	10	6,87
55,88	5,62	3,33
65	2,5	2,08
74	0,35	0,20

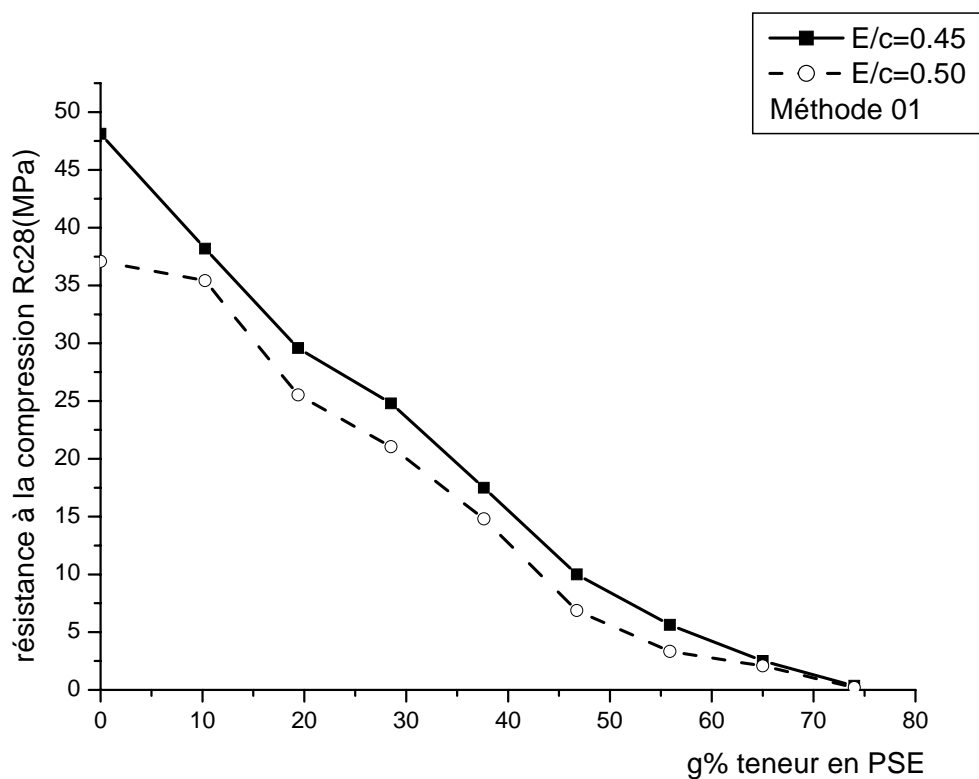
#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

L'étude de l'influence de pourcentage g% sur la résistance mécanique des bétons de polystyrène à différentes teneurs en polystyrène expansé PSE, est basée sur la figure 4.7. Ces résistances à la compression du composite, diminuent considérablement avec l'augmentation de la teneur volumique en granulats légers. Tel que, pour une teneur en polystyrène de 100%, la résistance à la compression décroît de 48 MPa à 0,3 MPa. Soit une réduction de l'ordre de 98% puisque les billes de polystyrène n'offrent pratiquement aucune résistance mécanique. Ces résultats sont normaux.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

La réduction de la quantité d'eau de gâchage permet d'avoir une maniabilité faible pour les mélanges, et d'améliorer progressivement en conséquence les résistances à la compression. Nous avons vu précédemment que la masse volumique diminuée en fonction de la teneur en

polystyrène expansé PSE. Nous pouvons donc noter qu'une diminution de la quantité d'eau de gâchage permettrait de pallier à cette différence et d'améliorer les propriétés mécaniques puisque le dosage en eau conditionne la compacité du gel cimentaire. La qualité de la pâte de ciment diminue (porosité augmente) lorsque le rapport E/C augmente.



**Fig. 4.7 :** Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et E/C= 0.45&0.5 par la méthode 01

### Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :

L'évolution de la résistance à la compression du composite, à différentes teneurs en polystyrène expansé PSE, est donnée par la figure (4.8). Elle diminue considérablement avec l'augmentation de la teneur volumique en granulats légers, mais reste dans les valeurs compatibles avec l'utilisation en isolants porteurs pour une teneur de 100%.

Les résultats des essais de compression réalisés par cette méthode sont établis sur le tableau (4.8) et sur la courbe (4.8).



**Tableau 4.8:** Evolution de la résistance à la compression à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports E/C= 0.45&0.5

g%	La résistance à la Compression (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	48,12	39,58
5	50	48,02
10	54,58	46,25
20	48,75	41,77
30	45,20	40,62
50	29,16	28,54
75	19,16	16,75
100	5	3,12

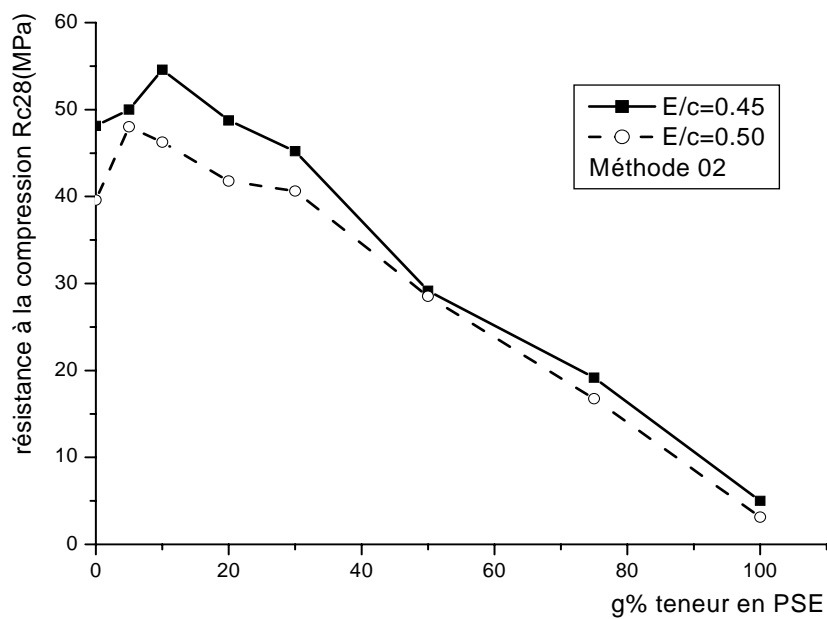
❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

Pour une teneur en polystyrène expansé PSE de 0 à 100%, la résistance à la compression décroît de 48,125 MPa à 5 MPa. Soit une réduction de l'ordre de 90%.

La résistance à la compression se développe avec le rajout de polystyrène expansé et elle arrive à son pic à 10% de granulats, mais elle se réduit rapidement en dépassant la valeur de 30% de la teneur en PSE.

❖ **L'effet du Rapport E/C : -**

L'effet du rapport E/C sur la résistance à la compression est remarquable quand le rajout de polystyrène ne dépasse pas le 30% car la lecture du graphe montre qu'à partir de 50% de la teneur en PSE les valeurs de la résistance des deux rapports restent proches les unes aux autres quelque soit le pourcentage.



**Fig. 4.8 :** Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 et  $E/C= 0.45\&0.5$  par la méthode 02

#### 4.2.2.2.2. Mesures de la résistance à la flexion :

L'évolution de la résistance à la flexion des composites, en fonction de la teneur en polystyrène, est donnée par la figure 4.9.

#### Présentation des résultats obtenus par la 1<sup>ère</sup> méthode :

L'analyse qui suit est basée sur les travaux réalisés en laboratoire et sur les résultats de la résistance moyenne à la flexion à 28 jours des différentes compositions du béton de polystyrène. Nous regroupons ces résultats dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4.9:** Evolution de la résistance à la flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports  $E/C= 0.45&0.5$

g%	Mesures de la résistance à la flexion (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	6,43	5,83
10,26	4,97	4,85
19,4	4,89	4,10
28,51	3,70	3,48
37,64	3,44	3,08
46,76	1,27	2,09
55,88	1,31	1,5
65	0,77	0,88
74	0,19	0,45

❖ **L'effet Du Pourcentage Du Polystyrène g% :**

Nous constatons une réduction très sensibles de la résistance à la flexion suite à l'augmentation de la proportion de polystyrène dans le composite.

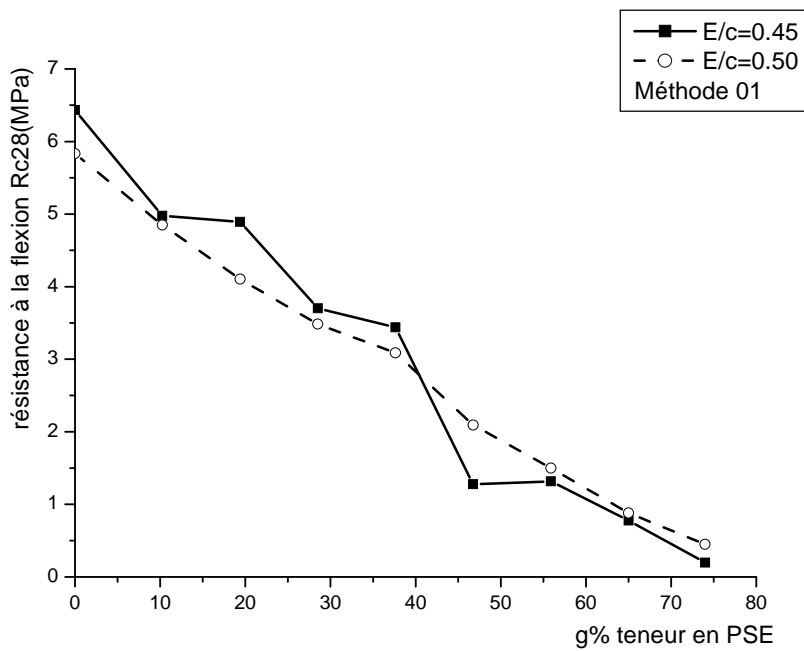
La résistance à la compression est assez grande que celle de la résistance à la flexion, cela revient à la présence de perle de polystyrène qui intervient dans la phase des microfissurations.

❖ **L'effet du Rapport E/C :**

Les données de la figure nous ont permis de savoir que le rapport E/ n'a pas un grand effet sur la résistance à la flexion qui est toujours inversement proportionnel au pourcentage de polystyrène.

Aussi nous devons signalés deux intervalles.

- Quant  $g\% \in [0,37 ; 64]$  la composition de  $E/C = 0,45$  prend une légère supériorité que celle de  $E/C = 0,5$
- Quant  $g\% \in [37,64 ; 74]$  la résistance à la flexion deviens légèrement supérieure chez la composition de  $E/C = 0,5$



**Fig. 4.9 :** Evolution de la résistance à la flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 et  $E/C= 0.45\&0.50$

**Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :**

Les évaluations des résistances mécaniques de flexion par l'addition de granulats de polystyrène expansé PSE sont établies sur le tableau (4.10) .

**Tableau 4.10:** Evolution de la résistance à la flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports  $E/C= 0.45\&0.5$

g%	La résistance à la Flexion (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	7,433	7,25
5	6,933	6,75
10	7,33	6,70
20	6,55	6,38
30	6,5	5,80
50	5,78	4,59
75	4,40	2,79
100	2,73	1,04

❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

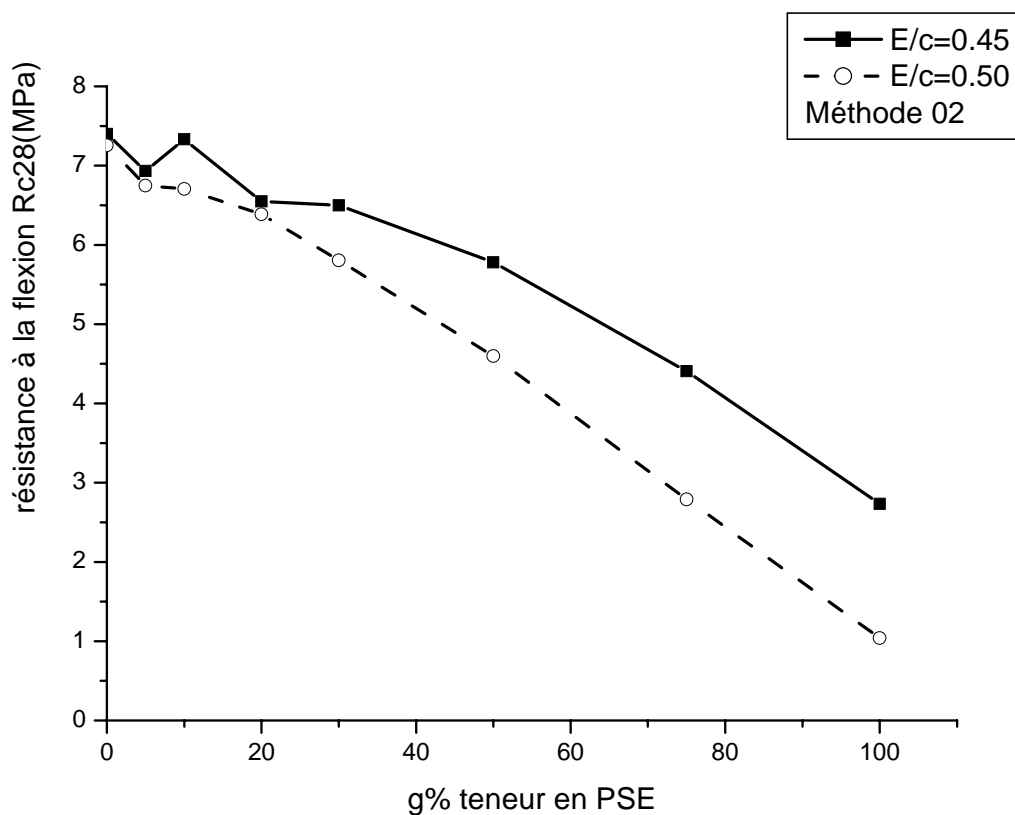
La résistance à la flexion varie de 7,433 à 2,733 concernant le rapport  $E/C=0,45$  et de 7,256 à 1,04 MPa concernant le rapport  $E/C=0,50$ . Pour une teneur en polystyrène allant de 0% à 100%. Soit une réduction de l'ordre de 86%.

Nous constatons que l'augmentation de l'ajout des particules de polystyrène expansé dans la matrice produit une réduction de la résistance à la flexion considérable.

Ce résultat est prévisible compte tenu des résultats relatifs à la résistance à la compression. En effet, la résistance à la flexion est généralement tributaire de la résistance à la compression.

❖ **L'effet du Rapport E/c :**

La courbe (4.10) montrent que les résistances à la flexion sont d'autant plus grande quand le rapport  $E/C$  diminue, la valeur  $E/C = 0,45$  étant la plus petite, donc le faible rapport eau sur ciment mène à une amélioration de la qualité du matériau par cette méthode de formulation.



**Fig. 4.10 :** Evolution de la résistance à la flexion à 28j en fonction de la teneur en granulat de polystyrène par la méthode 02 et  $E/C= 0.45\&0.5$  par la méthode 02

#### 4.2.2.2.3. Mesures de la résistance à la traction par flexion :

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais nous avons parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par  $f_{t28}$ .

#### Présentation des résultats obtenus par la 1<sup>ère</sup> méthode :

L'évolution des résultats de la résistance à la traction par flexion présentés dans le tableau 4.11 est donnée dans la figure 4.11.

**Tableau 4.11:** Evolution de la résistance à la traction par flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports  $E/C= 0.45$  &  $0.5$

g%	La résistance à la traction par flexion (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	5,33	5,41
10,26	4,60	4,14
19,4	4,18	3,50
28,51	3,30	2,99
37,64	2,94	2,62
46,76	1,18	1,77
55,88	1,10	1,3
65	0,66	0,75
74	0,16	0,39

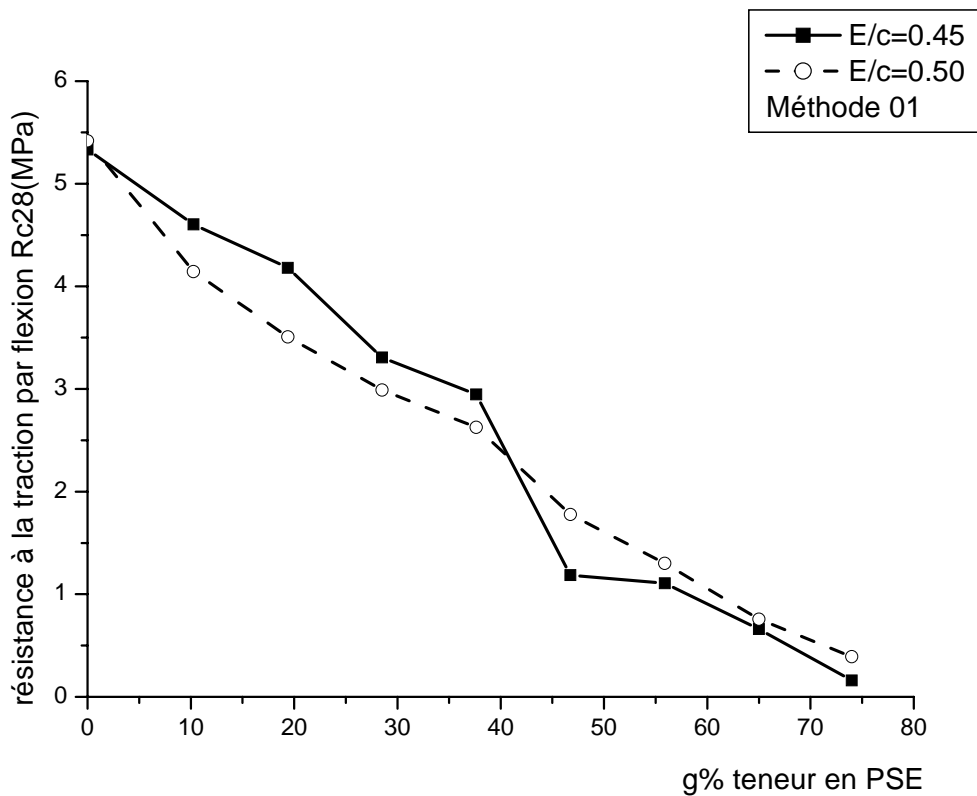
#### ❖ L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :

L'évolution de la résistance à la traction par flexion des composites, en fonction de la teneur en polystyrène, est donnée par la figure 4.11. L'analyse montre que les facteurs clés ont des effets significatifs sur la résistance à la traction par flexion tel que nous observons une réduction très sensible de la résistance à la traction. Celle-ci varie de 5,33 à 0,16 MPa, pour une teneur en polystyrène allant de 0% à 74%. Soit une réduction de l'ordre de 90%.

#### ❖ L'effet du Rapport E/c : -

La comparaison entre les deux courbes d'évolution par traction illustre une réduction très sensible de la résistance à la traction par flexion. Après le pourcentage  $g\%= 46,76$

La résistance à la traction par flexion pour le rapport  $E/C=0.50$  devient supérieure à celle du rapport  $E/C=0,45$ , nous pouvons toujours l'expliquer par l'insuffisance de la pâte pour le rapport  $E/C=0,45$ .



**Fig. 4.11 :** Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour  $E/C= 0.45\&0.5$  par la méthode 01

**Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :**

Les résultats d'essais sur les mélanges formulés par la 2<sup>ème</sup> méthode sont présentés sur le tableau ci-dessous.

**Tableau 4.12:** Evolution de la résistance à la traction par flexion à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports  $E/C= 0.45\&0.5$

g%	La résistance à la traction par flexion	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	6,5	5,41
5	5,98	5,75
10	5,75	5,71
20	5,67	5,44
30	5,46	4,95
50	4,94	4,43
75	3,76	3,08
100	2,32	1,8

❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

Dans cette méthode nous avons observé une réduction de la résistance à la traction par flexion du béton lorsque la teneur en polystyrène augmente, d'après la figure 4.11 nous avons constaté que :

- Une chute rapide de la résistance à la traction par flexion avant que le pourcentage du polystyrène atteigne  $g\%=30$  puis le rythme de la décroissance devient faible, et notamment pour des grandes teneurs en PSE.

Alors ce paramètre a un effet significatif sur la résistance des mélanges obtenus, on peut s'expliquer par:

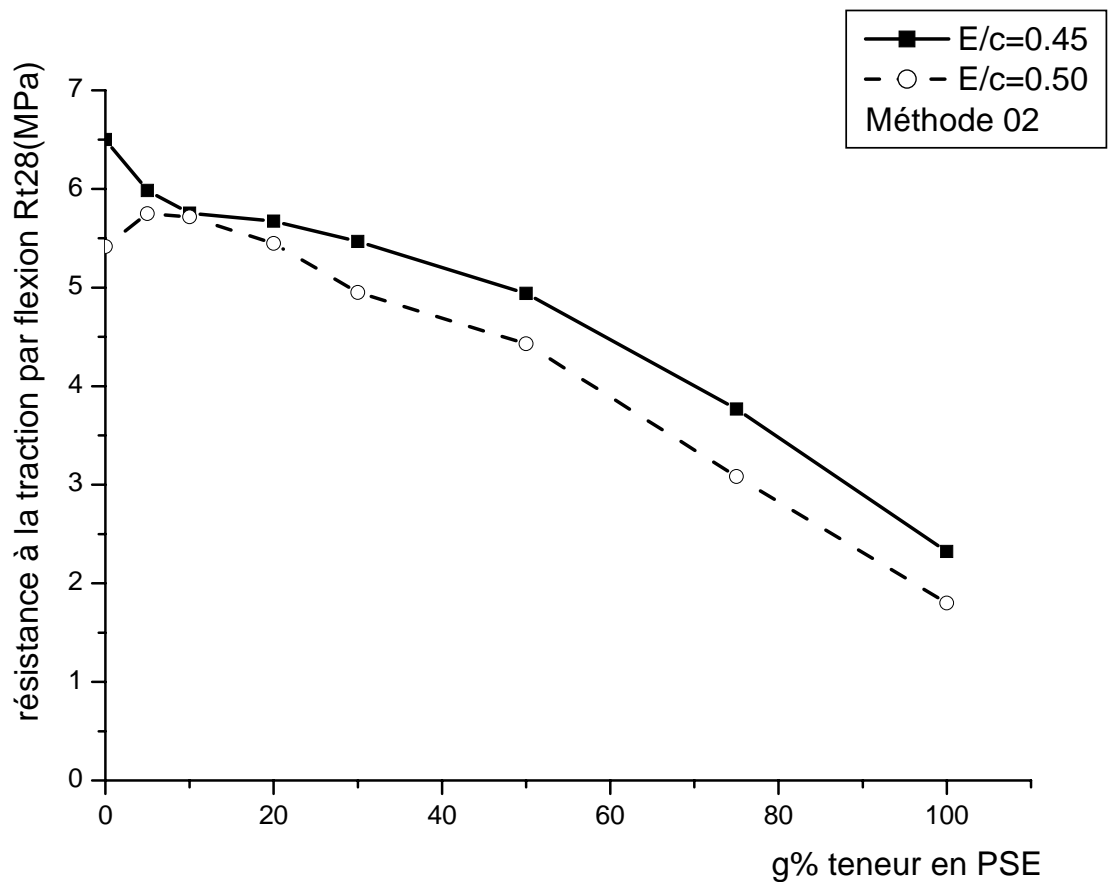
- o Une diminution du sable équivaut à une demande en eau plus faible donc une augmentation de la résistance ceci est évident si nous comparons entre les deux méthodes
- o la pâte de ciment est conservée constante pour tous les mélanges, par conséquent toutes les particules de polystyrène expansé deviennent enrobées ce qui diffère de la 1<sup>ère</sup> méthode.

#### ❖ L'effet du Rapport E/C : -

La courbe (4.12) montre que les résistances à la traction par flexion grandissent quand le rapport E/C diminue, mais elles sont proches pour  $g\%=10$  et  $20$ .

Donc le faible rapport eau sur ciment mène à une amélioration de la qualité du matériau par cette méthode de formulation.





**Fig. 4.12 :** Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour  $E/C= 0.45&0.5$  par la méthode 02

#### 4.2.2.3. Module d'élasticité dynamique :

La détermination du module d'élasticité dynamique du composite est basée sur les essais non destructifs, elle a été effectuée par auscultation ultrasonore, suivant la norme NF P 18-418 [9]. La détermination du module d'élasticité dynamique est effectuée à l'aide d'un appareil d'auscultation sonique des structures, type tonic Ultrason Teste.

#### Présentation des résultats obtenus par la 1<sup>ère</sup> méthode :

Pour un échantillon soumis à des oscillations forcées, il y a propagation d'ondes élastiques correspondant à des déformations de traction-compression. Cette déformation de la matière se produit dans le sens de la propagation. La détermination du module d'élasticité dynamique est effectuée à l'aide d'un appareil d'auscultation sonique des structures.

L'évolution du module d'élasticité dynamique des mélanges en fonction de la teneur en Polystyrène expansé, est donné par la figure (4.13).

Les résultats obtenus de cet essai sont présentés sur le tableau (4.13) montrent que le module  $E_d$  décroît suivant la croissance du pourcentage du polystyrène expansé.

**Tableau 4.13:** Evolution du Module d'élasticité dynamique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 01 pour les deux rapports  $E/C = 0.45$  &  $0.50$

g%	Module d'élasticité dynamique (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	26833	26481,90
5	25828,12	24711,41
10	25110,37	23923,58
20	22421,52	21899,05
30	18542,56	17694,90
50	10413,95	11400
75	6144,32	8105,64
100	3000,20	3027,84

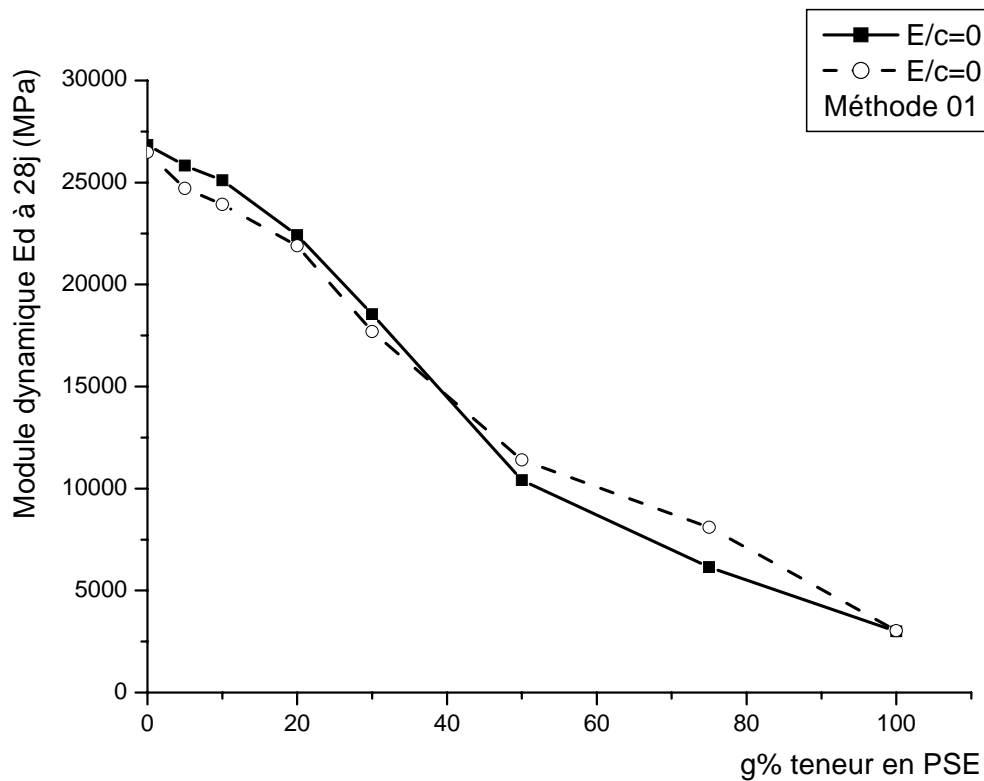
❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

Les mesures séparées de la célérité des ondes ultrasonores dans le béton de polystyrène et dans le composite sans polystyrène, pris séparément, donnent des valeurs respectives de 2,29 et 4,01 Km/s. Le phénomène est accentué par la présence de bulles d'air dans la matrice. Les ondes doivent contourner ces bulles d'air pour se propager dans la pâte. Ceci met en évidence la capacité à atténuer les ondes ultrasonores ainsi que l'amortissement des vibrations, caractéristique d'une bonne isolation phonique.

❖ **L'effet du Rapport E/C : -**

Le module d'élasticité dynamique varie de 26,8 GPa à 3 GPa pour un rapport  $E/C=0,45$  et de 26,5 GPa à 3,03 GPa pour un rapport  $E/C=0,50$  avec une teneur en polystyrène expansé allant de 0 à 100%. L'écart observé est dû à la nature du polystyrène expansé qui favorise l'absorption des ondes ultrasonores

Nous pouvons observer globalement un effet proportionnel du pourcentage g% sur la Le module d'élasticité dynamique, et notamment pour des grandes teneurs en PSE, quand g% croît le module d'élasticité dynamique décroît pour les deux rapports presque identique mais nous remarquons qu'après g%=30 les résultats Le module d'élasticité dynamique pour le rapport  $E/C=0,50$  devient meilleur que les résultats du rapport  $E/C=0,45$ .



**Fig. 4.13 :** Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour  $E/C = 0.45$  &  $0.5$  par la méthode 02

**Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :**

L'évolution du module d'élasticité dynamique du composite en fonction de la teneur en Polystyrène expansé PSE, est donnée par la figure (4.14)

**Tableau 4.14:** Evolution du Module d'élasticité dynamique à l'état durci en fonction de la teneur en polystyrène par la méthode 02 pour les deux rapports  $E/C = 0.45$  &  $0.5$

g%	Module D'élasticité Dynamique (MPa)	
	E/C=0.45	E/C=0.5
0	26533	26381,50
5	26128,12	25911,41
10	26110,37	21923,58
20	22211,52	20199,05
30	18542,56	15694,90
50	11400	10413,95
75	8105,64	6144,32
100	3027,84	3000,20

❖ **L'effet du Pourcentage du polystyrène g% :**

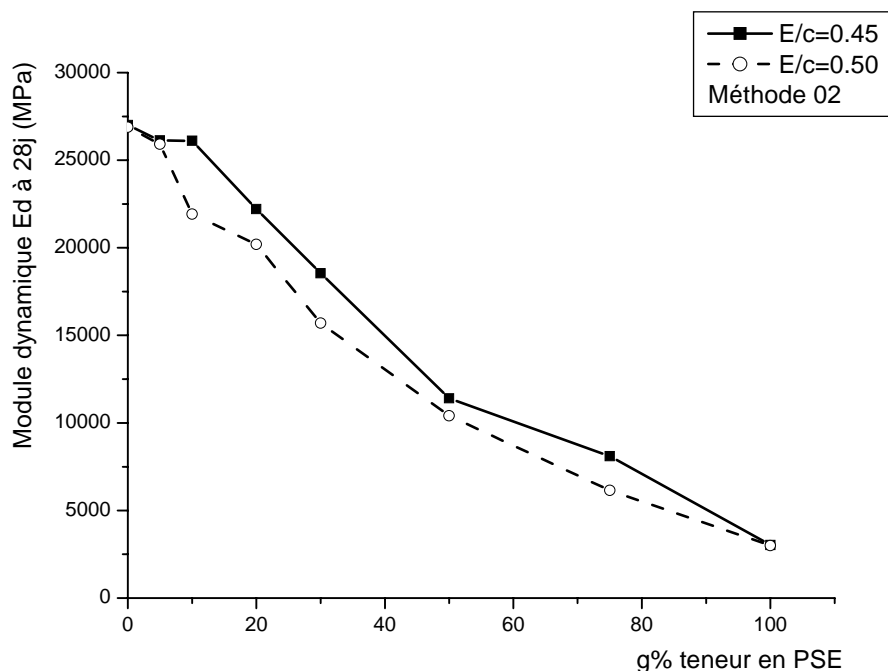
Le module d'élasticité dynamique varie de 26,53 GPa à 3,03 GPa, pour le rapport  $E/C=0,45$  et de 26,381 GPa à 3 GPa pour le rapport  $E/C=0,45$  avec une teneur en polystyrène expansé allant de 0 à 100%. Donc g% croît et  $E_d$  décroît.

❖ **L'effet du Rapport E/C : -**

L'effet du rapport est évident suivant les courbes dans la figure (4.14), alors Le module d'élasticité dynamique croît inversement avec le rapport  $E/C$

On remarque que la vitesse de propagation des impulsions du béton témoin où  $g=0\%$  est nettement supérieure à celle des bétons de polystyrène expansé pour différents pourcentages des différentes masses volumiques.

Pour  $g=100\%$  la vitesse de propagation reste la plus petite. D'une manière générale, nous constatons que les perles de polystyrène ont participé à diminuer la vitesse de propagation des impulsions émises par l'appareil d'auscultation sonore qui reflète une amélioration des propriétés des bétons. Par conséquent les perles de polystyrène expansé ont augmentées les propriétés isolantes du béton du fait que sa structure cellulaire fermée emprisonne l'air sous forme de petits volumes, le polystyrène expansé est un mauvais conducteur de la chaleur et cela donne un autre avantage pour le béton de polystyrène expansé BPSE.



**Fig. 4.14 :** Evolution de la résistance à la traction par flexion à 28j en fonction de la teneur en polystyrène pour  $E/C= 0.45\&0.5$  par la méthode 02

#### 4.2.2.4. Evaluation De La Résistance A La Compression En Fonction De La Masse Volumique :

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  $\gamma_{bs}$  ;
- la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

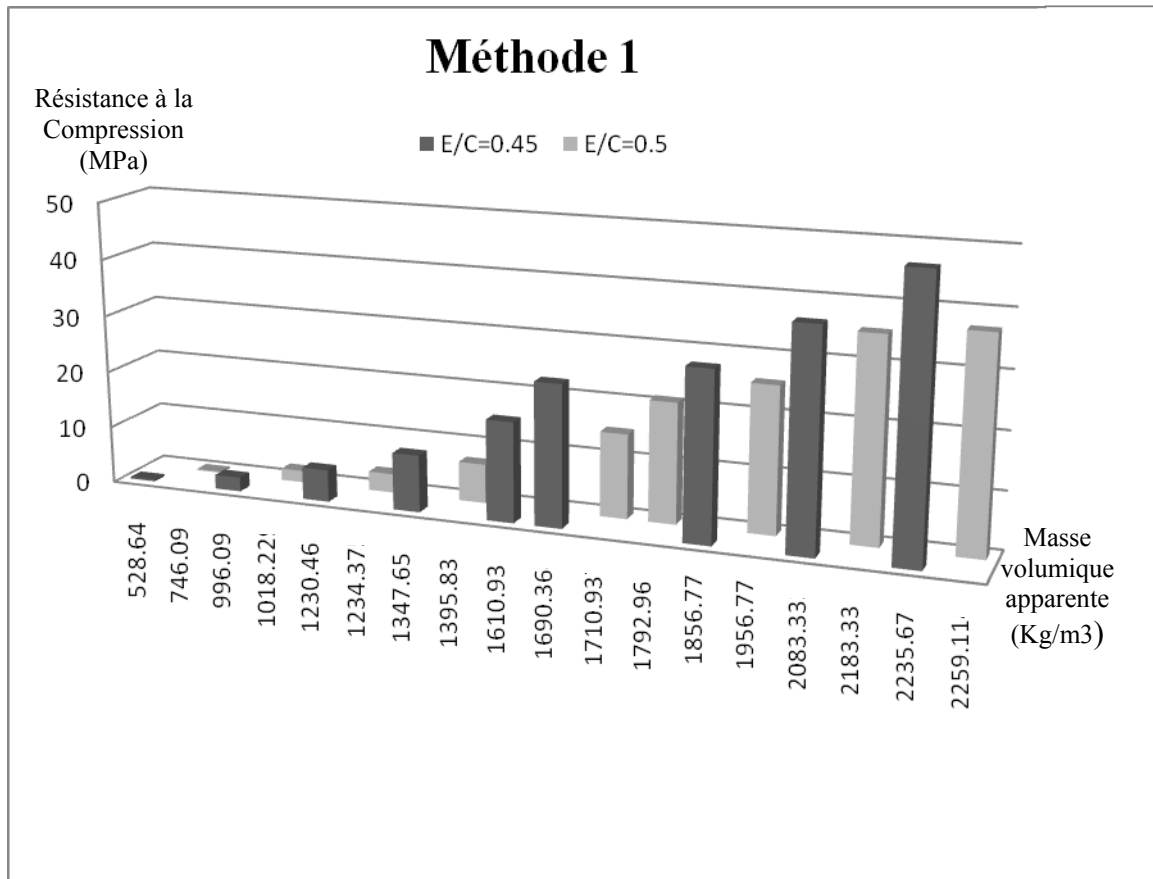
La masse volumique et la résistance sont étroitement liées, lorsque la masse volumique diminue la résistance diminue aussi.

#### Présentation des résultats obtenus par la 1<sup>ère</sup> méthode :

L'évolution de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique sèche du composite est donnée par la figure (4.15). La diminution de la masse volumique se traduit n par une baisse de la résistance mécanique.

Nous remarquons avec la présence du PSE le béton léger n'a pas besoin d'une trop grande quantité d'eau pour avoir des résistances intéressantes. Les courbes montrent que les résistances à la compression augmentent au fur et à mesure que le rapport E/C diminue,

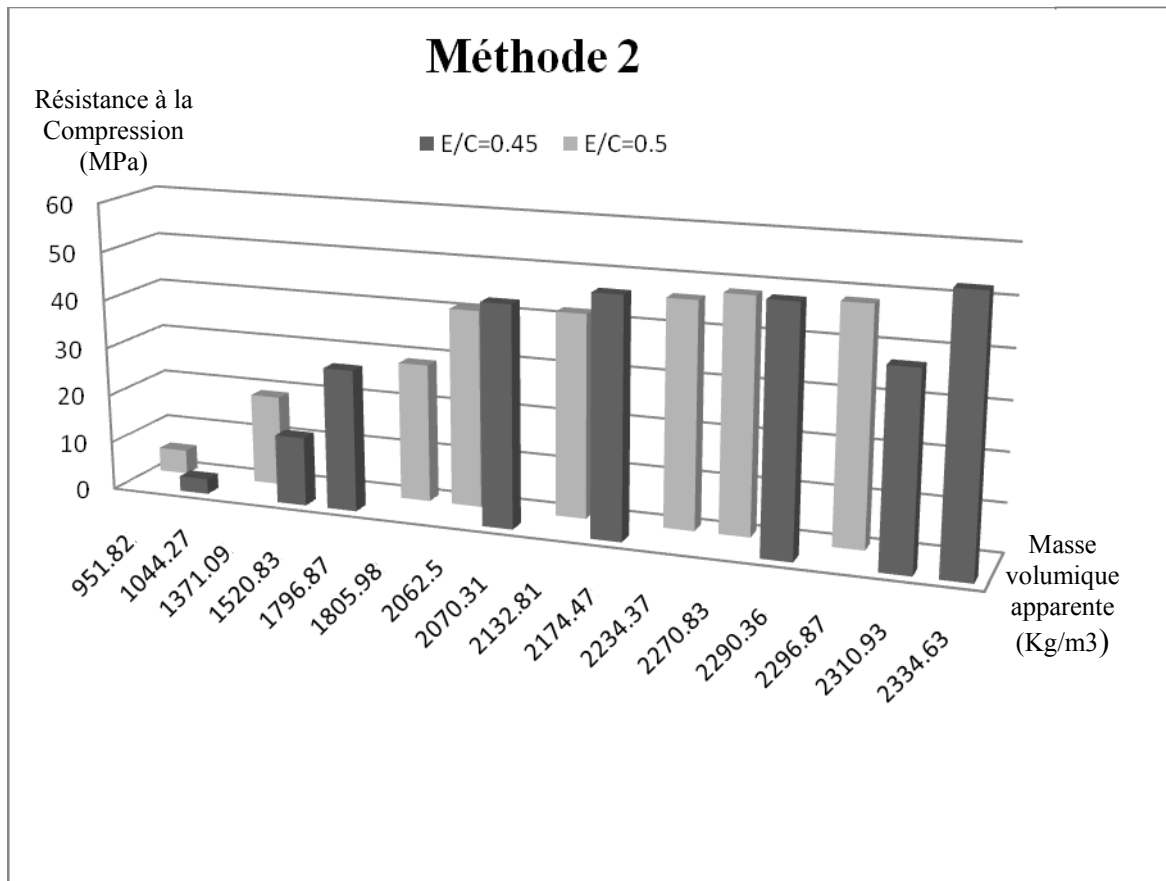
La valeur E/C = 0,45 étant la plus petite, donc le rapport eau sur ciment faible mène à une amélioration de la qualité du matériau.



**Fig. 4.15 :** Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la masse volumique des mélanges pour E/C= 0.45& 0.5 par la méthode 01

### Présentation des résultats obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode :

L'évolution de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique sèche du composite obtenus par la 2<sup>ème</sup> méthode est donnée par la figure (4.16). Nous remarquons que les masses volumiques obtenues sont proches quand les pourcentages du PSE sont petits par conséquent les résistances sont mieux que la 1<sup>ère</sup> méthode, nous pouvons l'expliquer par la présence d'une matrice cimentaire suffisante pour donner des résistances acceptables malgré la présence des perles de polystyrène PSE.



**Fig. 4.16 :** Evolution de la résistance à la compression à 28j en fonction de la masse volumique des mélanges pour E/C= 0.45&0.50 par la méthode 02

### Billant :

L'objectif de ce programme expérimental est de formuler un certain nombre des BLPSE caractérisés par leur dosage de polystyrène nécessaire afin d'avoir une faible masse volumique.

Ce programme a également fait le point sur l'effet des principaux paramètres de composition sur les performances rhéologiques et mécaniques des BLPSE.

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

- la 1<sup>ère</sup> méthode, l'augmentation du pourcentage de polystyrène PSE influe négativement sur la maniabilité des mélanges, donc c'est une relation inversement proportionnel. En revanche à la 2<sup>ème</sup> méthode, la maniabilité augmente si le pourcentage du polystyrène PSE augmente.
- la masse volumique diminue en fonction du pourcentage du polystyrène PSE pour les deux méthodes grâce au poids léger du PSE.

- un béton de faible masse volumique ne peut être obtenu qu'en utilisant une proportion importante de granulats ultra légers (> 70%).
- De manière générale le faible rapport E/C mène à une amélioration de la qualité du matériau.
- Le béton léger de polystyrène expansé est un béton moins résistant à la compression, à la traction et à la flexion par rapport à un béton ne contenant pas de billes de polystyrène.
- La baisse de la résistance à la flexion est moins importante que celle à la compression.
- Les mesures du module d'élasticité dynamique ont mis en évidence les capacités d'atténuation d'ondes ultrasonores ainsi que l'amortissement des vibrations de ce composite.
- Les perles de polystyrène expansé ont augmenté les propriétés isolantes du béton en diminuant la vitesse de propagation des impulsions, nous pouvons expliquer ce comportement vis-à-vis de la structure cellulaire de billes de polystyrène, qui emprisonnent de l'air sous forme de petits volumes et qui représente un isolant pour le son.



**C**onclusions

**E**t

**P**erspectives

## Conclusions

Bien que connus dans le monde depuis plus d'un quart de siècle, les bétons légers ont été employé dans notre pays d'une façon timide et individuel, mais ils connaissent à l'heure actuelle un regain d'intérêt, qui semble tout a fait mérité en raison de leurs propriétés techniques et économiques intéressantes.

Rappelons que l'objet de cette mémoire est la formulation et la caractérisation des bétons légers. En effet, il a été conclu qu'ils se caractérisent essentiellement par leurs faible masse volumique, adaptable aux exigences, ces bétons normalement réalisés par trois manières, en employant les agrégats légers, l'aération ou le gaz, ou en faisant une réduction de la partie fine du granulat. Dans chacun des trois cas la réduction de la densité du béton est réalisée par une augmentation des vides d'air dans le béton.

Le béton léger de polystyrène (BLPSE) est un béton léger avec la bonne capacité de déformation, mais son application est d'habitude limitée à l'utilisation non-structurelle à cause de ses propriétés de résistance basses.

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

La première partie est consacrée à la revue bibliographique qui nous a permis de bien préciser le contexte scientifique et technique pour le béton léger. Cette partie est composée de deux chapitres I et II.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons conduit une étude expérimentale selon deux chapitres : III et IV.

Le chapitre III a fait le point sur les caractéristiques des matériaux utilisés à savoir : le ciment, le sable et l'eau. Le type de ciment est le ciment portland provenant de la cimenterie de Ain Touta (wilaya de Batna) a été utilisé, il s'agit du ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5. Les granulats utilisés dans tous les mélanges du béton léger sont composés d'un sable naturel lavé (0/4) provient de la région de Lioua (wilaya de Biskra) et de billes de polystyrène expansé PSE (0/4). Nous avons visé dans le programme expérimental à formuler une série de BL de polystyrène expansé avec une ligue de masses volumiques, suivant deux méthodes de formulation à travers sont paramètres clés de composition (g% pourcentage du granulat léger, le rapport E/C). Nous avons apporté également une compréhension de l'effet de ces paramètres sur les caractéristiques rhéologiques, physiques et mécanique des BLPSE.

Dans le chapitre IV, nous avons présentés les résultats d'une étude expérimentale conduite sur deux méthodes de formulations des bétons légers de polystyrènes expansés, elles sont basées sur le remplacement d'ensembles naturels par le volume complémentaire d'ensembles artificiels selon des pourcentage bien choisies ainsi on a varier le rapport E/C afin d'avoir ces effets sur les propriétés rhéologique, physique et mécanique tels que :

l'affaissement, la masse volumique, module dynamique et la résistance (compression, flexion et traction). Enfin, nous exposons en détail les résultats obtenus et leurs discussions.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ Le béton léger réalisé à l'aide du PSE donne l'avantage d'avoir toute une panoplie de densités allant de 500 kg/ m<sup>3</sup> à 2000 kg/m<sup>3</sup>.
- ❖ le béton de Polystyrène expansé est tout à fait difficile à compacter car les techniques vibratoires normales de tassement ne fonctionnent pas comme avec le béton ordinaire.
- ❖ la maniabilité du béton d'agrégat de polystyrène est influencée par le rapport E/C, le contenu de granulats fins, et la teneur en PSE.
- ❖ la maniabilité est sensible à la méthode de formulation.
- ❖ Le dosage de polystyrène nécessaire est important compte tenu de la faible masse volumique recherchée. En effet, un béton de faible masse volumique ne peut être obtenu qu'en utilisant une proportion importante de granulats ultra légers (> 70%).
- ❖ l'allègement du matériau est accompagné par une perte de résistance mécanique, mais il est possible d'obtenir des résistances mécaniques acceptables avec des petits dosages en PSE.
- ❖ La baisse de la résistance à la flexion est moins importante que celle à la compression.
- ❖ module d'élasticité dynamique croît inversement avec le rapport E/C
- ❖ le module  $E_d$  décroît suivant la croissance du pourcentage du polystyrène expansé
- ❖ les perles de polystyrène ont participé à diminuer la vitesse de propagation des impulsions qui reflète une amélioration des propriétés des bétons.
- ❖ les perles de polystyrène expansé ont augmenté les propriétés isolantes du béton du fait que sa structure cellulaire fermée emprisonne l'air sous forme de petits volumes.
- ❖ le polystyrène expansé est un mauvais conducteur de la chaleur et cela fait un autre avantage pour le béton de polystyrène expansé BPSE.
- ❖ Ces bétons ont une faible demande d'eau (E/C) ce qui conduit à avoir une diminution de la corrosion d'acier éventuel.
- ❖ Nous pensons que ce matériau ultra léger Polystyrène expansé, jouera un rôle très intéressant dans l'avenir, dans le domaine de la rénovation du vieux bâti par sa légèreté sur les dalles, et dans les nouvelles constructions par son isolation thermique et phonique.

En conclusion, ce travail constituant une première étude sur la formulation des bétons légers à base de polystyrène expansé, Nos résultats sont le fruit d'une étude qui ouvre la voie

à nombreuses recherches. Leur généralisation n'est pas immédiate. Ce sont néanmoins des résultats obtenus dans un cadre national. D'autres études sont bien sûr nécessaires pour confirmer les résultats et augmenter la base de données sur ces nouveaux bétons.

## Perspectives

Les bétons légers de polystyrène posent de nombreux problèmes au niveau de la compréhension de leurs propriétés rhéologiques, mécaniques, thermique et acoustique, Les recherches sur les BL peuvent se poursuivre sur plusieurs niveaux :

- ❖ Étude des paramètres rhéologiques fondamentaux, à savoir le seuil de cisaillement et la viscosité plastique et leur relation avec les autres paramètres de la maniabilité.
- ❖ Étude de la durabilité et notamment dans un milieu agressif pour les BLPSE.
- ❖ Développement des méthodes de formulation précises et générales.
- ❖ Caractérisation et formulation des BLPSE dans un climat chaud.
- ❖ L'industrialisation des procédés de fabrication des BLPSE.
- ❖ L'effet du comportement de la matrice cimentaire pour les BL.
- ❖ L'effet de l'interface entre les billes de polystyrène et la matrice cimentaire.
- ❖ L'effet de la taille des hétérogénéités de la matrice cimentaire.
- ❖ L'effet de la fraction volumique en polystyrène appelée macro porosité du béton.
- ❖ Étude de la résistance au feu pour les BLPSE.
- ❖ Étude des caractéristiques acoustique et thermique des BLPSE.
- ❖ Les techniques de compactage des BLPSE.
- ❖ L'effet d'Absorption et/ou perméabilité à l'eau des BLPSE
- ❖ Développement d'autres essais de caractérisation à l'état frais permettant d'évaluer à la fois l'ouvrabilité et la déformabilité.
- ❖ Etude de phénomène de ségrégation et le ressuage dans le béton léger de polystyrène.
- ❖ Les caractéristiques thermique et acoustique des BLPSE.
- ❖ Amélioration du béton léger en utilisant des adjuvants et les ajouts minéraux.
- ❖ Les caractéristiques d'allongement unitaire du béton léger de polystyrène.
- ❖ Formulation et caractérisation du béton léger haute performance.

## Bibliographie

**AFNOR**, «*Auscultation sonore, mesure du temps de propagation d'onde ultrasonore dans le béton*». 1989.

**A. NEVILLE** : «*Propriétés des bétons*». Eyrolles. Paris, 2000.

**ATILH**: «*Bases et données pour leur formulation*». Eyrolles. 1996.

**A. GUEZOULI & A. BENAÏSSA** «*le polys beto un nouveau matériau de construction*». Décembre 2005.

**B. BENKHALFA**: «*contribution a l'étude des bétons légers d'argile expansée pour des éléments armés préfabriqués*».Thèse de magistère. Université d'Annaba. 1988.

**B. SABAA& RASIAH SRI RAVINDRARAJAH** «*workability assessment for polystyrene aggregate concrete*» Centre University of Technology, Sydney, Australia. Proceedings of the CONPAT 99: V IBEROAMERICAN Congress of Building Pathologies,VII Quality Control Congress, 18-21 October 1999, Montevideo, Uruguay.

**B. CHEN, J.LIU** «*Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber*» Cement and Concrete Research 34 (2004) 1259–1263

**B.CHEN, J.LIU** «*Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads*» Construction and Building Materials 21 (2007) 7–11

**C. ROUGERON:** «*Acoustique et Thermique*». Édition. Eyrolles. 1979.

**D. SARADHI BABU, K. GANESH BABU, W. TIONG-HUAN** «*Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete*». Cement & Concrete Composites 28 (2006) 520–527.

**D. MORIN, J. C. MASO** «*Fluage en traction des bétons ordinaires et des b tons légers*» 469-473.

**D. SARADHI BABU, K. GANESH BABU, T.H. WEE** «*Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash* » Cement and Concrete Research 35 (2005) 1218– 1223.

**G. DREUX & J. FESTA :** «*Nouveau guide du béton et de ses constituants*». 8<sup>ème</sup> Édition. Eyrolles. Mai 1998.

**GRUPE SPECIALIZE N°7** «*produits et procédés pour chape et maçonnerie*» Avis technique 7/2006-1 CNERIB.

**G. BRIGAUX** «*La maçonnerie* » Eyrolles 1981

**Gregory M. Glenn, Artur K. Klamczynski, Bor-Sen Chiou, Delilah Wood, William**

**J. Orts, and Syed H. Imam** «*Lightweight Concrete Containing an Alkaline Resistant Starch-Based Aquagel*». Journal of Polymers and the Environment, Vol. 12, No. 3, July 2004 (2004)

**G. G. AMOROSO, D. BACATSELOS** «*Recherche d'un béton léger base de polystyrène expansé facile mettre en œuvre*». 385 -392.

**H. G. ESSOBA, A. BENAZZOUK, O. DOUZANE, M. QUENEUDEC-T'KINT** «*Déchets de caoutchouc : une matière première permettant d'améliorer le comportement des composites cimentaires*» Université de Picardie Jules Vernes Laboratoire des Technologies Innovantes L.T.I. Avenue des Facultés, Le Bailly. 80025 Amiens Cedex1.

**J. F. BERTONCELLO & J. FOUIN** «*les matériaux naturels : décorer, restaurer et construire*». Édition du Rouergue 2007

**J.BARON** «*Les bétons bases et données pour leur formulation* ».

**JOHN L, CLARKE** «*Structural lightweight Aggregate Concrete*»

Edited by Chief Structural Engineer British Cement Association Crowthorne First Edition 1993

**K. MILED, R. LE ROY, K. SAB, C. BOULAY** «*Compressive behavior of an idealized EPS lightweight concrete: size effects and failure mode* » Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, BCC, 58, BD Lefebvre, 75732 Paris cedex 15, France Received 25 February 2003.

**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.

**K.S. AL-JABRI, A.W. HAGO, A.S. AL-NUAIMI, A.H. AL-SAIDY** «*Concrete blocks for thermal insulation in hot climate*» Cement and Concrete Research 35 (2005) 1472– 1479

**M. VENUAT:** «*La pratique des ciments, mortiers et bétons*». Édition. Moniteur. Tome1. 1989.

**M. CONTANT:** «*Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux*». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.

**M.SHINK** «*Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers*». Université Laval Québec Avril 2003.

**P. BOCCA, U. ROSSETTI** «*Investigation on the cracking behaviour of lightweight concrete*» CEB Bulletin No. 117-F.

**SFBC** «*Mémento du béton cellulaire* » Eyrolles juin 2005 France.

**W.C. TANG \*, Y. LO, A. NADEEM** «*Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete*» Cement & Concrete Composites 30 (2008) 403–409

**X.ZHAO. W.TIAN, X.JIANG, X.ZHANG** «*Effects of Vibration Technology and Polyvinyl Acetate Emulsion on Microstructure and Properties of Expanded Polystyrene Lightweight Concrete*» Trans. Tianjin Univ. 2009, 15: 145-149.