

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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



## Mémoire de Master

Présenté à l'Université du 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : HADDOURI DHIKRA

---

---

**THEME : Les bétons légers et très légers : Formulation,  
caractérisation et applications**

---

---

Sous la direction de : Pr. BENMALEK ML

---

Juin 2024

---

# *Remerciement*

*Je remercie le bon Dieu qui m'a donné le courage, la volonté et la force d'accomplir ce travail.*

*Je tiens à remercier mon encadreur **Mr Benmalek Med Larbi** qui m'a témoigné son soutien et sa confiance et qui m'a prodigué un enseignement rigoureux durant toutes les phases du mémoire.*

*Ainsi que tous les enseignants qui ont assuré ma formation durant mes années d'étude.*

*Et tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.*

*HADDOURI Dhikra*

# *Dédicace*

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail. Je dédie ce travail :

- ❖ A mes chers parents qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs,
- ❖ A ma grande sœur Yousra et son mari Bilel et mon petit frère Yacine, pour leurs encouragements permanents, leur appui et leur soutien moral,
- ❖ A toute ma famille pour leurs conseils tout au long de mon parcours universitaire,
- ❖ A mon cher neveu , Ghaith ,
- ❖ A tous mes amis qui m'ont aidé et supporté dans les moments difficiles particulièrement à Ghada, Ines et Hadil
- ❖ A ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour mes études.

*Merci d'être toujours là pour moi.*

***DHIKRA***

# RÉSUMÉS

## Résumé

Dans le présent travail, d'ordre bibliographique, sont présentés les différents types de granulats légers et très légers ainsi que les bétons à granulats légers BGL et très légers BGTL qui leur sont associés. L'étude de ces bétons a montré que l'allègement apporté par les granulats contribue à l'amélioration du confort thermique et acoustique mais réduit sensiblement les résistances mécaniques. La gamme de ce type de béton allégé et innovant est très large, allant de Mv comprise entre 800 et 2000 kg/m<sup>3</sup> pour les BGL à Mv comprise entre 300 et 800 kg/m<sup>3</sup> pour les BGTL. Cette gamme s'étend aux bétons spéciaux tels que les bétons de granulats de perlite, de pierre ponce, aux bétons à granulats végétaux tels que le béton de noix de palme, aux bétons non standardisés utilisant des granulats de roseaux et aux bétons locaux tels que le béton de liège et le béton de pouzzolane de Béni saf (wilaya de Ain temouchent).

Si le descriptif est global pour les matériaux d'étude, nous avons réservé un chapitre pour une étude de cas relativement détaillée sur un béton de granulats de liège.

Par ailleurs, ce travail a été amélioré par la mise au point d'un glossaire comprenant près de 200 mots liés au présent thème et réalisé en 3 langues (français-anglais-arabe). Le but est une contribution pour enrichir la bibliographie du thème, notamment en langue anglaise dont l'usage a un avenir prometteur dans les universités algériennes.

**MOTS CLÉS** : Granulats légers – Béton léger – Béton très léger – Allègement – Caractéristiques – Utilisation.

## Abstract

In this work, of a bibliographical nature, the different types of light and very light aggregates are presented as well as the lightweight BGL and very light BGTL aggregate concretes associated with them. The study of these concretes showed that the weight reduction provided by the aggregates contributes to improving thermal and acoustic comfort but significantly reduces mechanical resistance. The range of this type of lightweight and innovative concrete is very wide, ranging from Mv between 800 and 2000 kg/m<sup>3</sup> for BGL to Mv between 300 and 800 kg/m<sup>3</sup> for BGTL. This range extends to special concretes such as perlite and pumice aggregate concretes, concretes with vegetable aggregates such as palm nut concrete, non-standardized concretes using reed aggregates and local concretes such as cork concrete and pozzolan concrete from Béni saf (wilaya of Ain temouchent).

If the description is global for the study materials, we have reserved a chapter for a relatively detailed case study on cork aggregate concrete.

Furthermore, this work was improved by the development of a glossary comprising nearly 200 words related to this theme and produced in 3 languages (French-English-Arabic). The goal is a contribution to enrich the bibliography of the theme, particularly in English, the use of which has a promising future in Algerian universities.

**KEY WORDS**: Lightweight aggregates, Lightweight concrete, Very light concrete, Lightening, Characteristics, Use.

## ملخص

في هذا العمل، ذو الطبيعة الببليوغرافية، يتم عرض الأنواع المختلفة من الركام الخفيف والخفيف جداً بالإضافة إلى خرسانة خفيفة الوزن BGL والخفيفة جداً BGTL المرتبطة بها. أظهرت دراسة هذه الخرسانة أن تخفيض الوزن الذي يوفره الركام يساهم في تحسين الراحة الحرارية والصوتية ولكنه يقلل بشكل كبير من المقاومة الميكانيكية. نطاق هذا النوع من الخرسانة خفيفة الوزن والمبتكرة واسع جداً، حيث يتراوح من Mv بين 800 و 2000 كغ/م<sup>3</sup> لـ BGL إلى Mv بين 300 و 800 كغ/م<sup>3</sup> لـ BGTL. تمتد هذه التشكيلة إلى خرسانة خاصة مثل خرسانة البيرلايت والخفاف والخرسانة ذات الركام النباتي مثل خرسانة جوز النخيل والخرسانة غير القياسية باستخدام خرسانة القصب والخرسانة المحلية مثل خرسانة الفلين والخرسانة البوزولانية من بني صاف (ولاية عين تموشنت).

إذا كان الوصف عاماً بالنسبة للمواد الدراسية، فقد قمنا بحجز فصل لدراسة حالة مفصلة نسبياً عن خرسانة الفلين.

علاوة على ذلك، تم تحسين هذا العمل من خلال تطوير معجم يضم ما يقرب من 200 كلمة تتعلق بهذا الموضوع وتم إنتاجه بثلاث لغات (الفرنسية-الإنجليزية-العربية). والهدف هو المساهمة في إثراء ببليوغرافية الموضوع، خاصة باللغة الإنجليزية، والتي سيكون لاستخدامها مستقبل واعد في الجامعات الجزائرية.

**الكلمات المفتاحية**: الركام الخفيف، الخرسانة خفيفة الوزن، الخرسانة الخفيفة جداً، التخفيف، الخصائص، الاستخدام.



# SOMMAIRE

<b>Granulats légers et bétons à granulats légers .....</b>	<b>3</b>
<b>Partie I : Granulats légers .....</b>	<b>4</b>
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Différents types de granulats légers .....</b>	<b>7</b>
<b>I.2.1 Les granulats légers naturels .....</b>	<b>7</b>
<b>I.2.2 Les granulats légers artificiels .....</b>	<b>8</b>
<b>I.3 Caractéristiques des granulats .....</b>	<b>9</b>
<b>I.3.1 Caractéristiques géométriques.....</b>	<b>9</b>
<b>I.3.2 Caractéristiques physiques .....</b>	<b>9</b>
<b>I.3.2.1 Porosité.....</b>	<b>9</b>
<b>I.3.2.2 Absorption d'eau .....</b>	<b>10</b>
<b>I.3.2.3 Masse volumique apparente des granulats légers .....</b>	<b>10</b>
<b>I.3.3 Caractéristiques mécaniques .....</b>	<b>11</b>
<b>I.3.3.1 Résistance à l'écrasement des granulats légers.....</b>	<b>12</b>
<b>I.3.3.2 Module d'élasticité des granulats légers.....</b>	<b>12</b>
<b>I.4 Composition chimique des granulats légers .....</b>	<b>12</b>
<b>I.5 Etudes de quelques formes commerciales .....</b>	<b>13</b>
<b>I.5.1 Pouzzolane.....</b>	<b>13</b>
<b>I.5.2 Diatomite .....</b>	<b>14</b>
<b>I.5.3 Perlite.....</b>	<b>15</b>
<b>I.5.4 Pierre ponce.....</b>	<b>15</b>
<b>I.5.5 Vermiculite.....</b>	<b>16</b>
<b>I.5.6 Cendre volante frittée .....</b>	<b>16</b>
<b>I.5.7 Argile expansée .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.8 Mâchefer.....</b>	<b>18</b>
<b>I.5.9 Schiste expansé.....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.10 Laitiers bouletés expansés .....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.11 Billes de polystyrène .....</b>	<b>20</b>
<b>I.5.12 Copeaux de bois .....</b>	<b>21</b>
<b>I.5.13 Pouzzolane de Beni Saf .....</b>	<b>21</b>
<b>I.5.14 les granulats de liège expansé .....</b>	<b>23</b>

I.5.15 la balle de riz .....	24
I.5.16 coque de noix de palme .....	24
I.5.17 granulat de Caoutchouc .....	25
<b>Partie II : Bétons à granulats légers .....</b>	<b>27</b>
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>27</b>
<b>II.2 Les bétons de granulats légers naturels .....</b>	<b>27</b>
<b>II.3 Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique</b>	<b>28</b>
<b>II.4 Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial .....</b>	<b>28</b>
<b>II.5 Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux .....</b>	<b>29</b>
<b>II.6 Propriétés physiques des bétons à base de granulats légers .....</b>	<b>29</b>
II.6.1 Interaction des granulats légers avec la matrice cimentaire.....	29
II.6.2 Maniabilité et murissement des bétons à granulats légers.....	30
II.6.3 La porosité .....	30
II.6.4 Absorption d'eau .....	31
II.6.5 La masse volumique de bétons de granulats légers .....	32
<b>II.7 Propriétés mécaniques des bétons de granulats légers .....</b>	<b>32</b>
II.7.1 Résistance à la compression.....	32
II.7.2 Résistance à la traction .....	33
II.7.3 Module élastique .....	33
<b>II.8 Domaines d'utilisation des bétons de granulats légers .....</b>	<b>34</b>
<b>II.9 Quelques types de bétons de granulats légers .....</b>	<b>35</b>
<b>II.9.1 Bétons utilisés actuellement .....</b>	<b>35</b>
II.9.1.1 béton de pouzzolane .....	35
II.9.1.2 Béton de diatomite.....	35
II.9.1.3 Béton de perlite .....	36
II.9.1.4 Béton de pierre ponce.....	36
II.9.1.5 Béton de vermiculite.....	37
II.9.1.6 Béton d'argile expansée .....	37
<b>II.9.2 Bétons a l'état d'étude .....</b>	<b>38</b>
II.9.2.1 Béton de copeaux de bois .....	38
II.9.2.2 Béton de coque de noix de palme .....	38

II.9.2.3 Béton de balle de riz .....	39
II.9.2.4 Béton de roseaux.....	39
II.9.2.5 Béton de pouzzolane de Beni Saf.....	39
<b>Chapitre II : Les granulats très légers et bétons à granulats très légers.....</b>	<b>40</b>
<b>Partie I : Les granulats très légers .....</b>	<b>41</b>
I.1 Introduction .....	41
I.2 Différents type de granulats très légers .....	42
I.3 Les granulats très légers naturels .....	42
I.3.2 la ponce .....	43
I.3.3 Argile expansée .....	43
I.3.4 Perlite expansée .....	44
I.3.4 Vermiculite expansée .....	45
I.3.4 Schiste expansé .....	45
I.4 Les granulats très légers artificiels .....	46
I.4.1 Les billes de polystyrène expansée .....	46
I.4.2 Le laitier expansée .....	46
I.4.3 Perlite expansée (artificielle) .....	47
I.4.4 Poudre de verre expansée .....	47
I.5 Masses volumiques des granulats très légers .....	47
<b>Partie II : Les bétons à granulats très légers .....</b>	<b>49</b>
II.1 Définition .....	49
II.2 Composition .....	49
II.3 Quelques Caractéristiques .....	49
II.3.1 Faible densité.....	49
II.3.1 Isolation thermique .....	50
II.3.2 Isolation acoustique .....	50
II.3.3 Résistance mécanique .....	50
II.3.4 Facilité de mise en œuvre .....	50
II.3.5 Durabilité.....	50
II.4 Quelques différences entre les bétons légers et très légers .....	51
II.1 Densité (masse volumique sèche ) .....	51
II.2 Composition .....	52
II.3 Résistance mécanique .....	52

<b>II.4 Isolation</b> .....	<b>52</b>
<b>II.5 Applications</b> .....	<b>52</b>
<b>Série imagée d'applications de bétons de granulats légers et très légers</b> .....	<b>54</b>
<b>Chapitre III Etude de cas : Béton de liège</b> .....	<b>56</b>
<b>III.1 Introduction</b> .....	<b>57</b>
<b>III.2 Composants</b> .....	<b>57</b>
<b>III.2 Formulation des bétons élaborés</b> .....	<b>59</b>
<b>III.3 Résultats et discussion</b> .....	<b>61</b>
<b>III.4 Commentaires sur cette étude de cas</b> .....	<b>64</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>66</b>
<b>Perspectives d'avenir</b> .....	<b>68</b>







# LISTE DES PHOTOS

## Chapitre I : Granulats légers et bétons a granulats légers

### Partie I : Granulats légers

<b>Photo I.1 :</b> Différents types de granulats	4
<b>Photo I.2 :</b> Granulats roulés	5
<b>Photo I.3 :</b> Granulats concassés	5
<b>Photo I.4 :</b> Granulats artificiels	5
<b>Photo I.5 :</b> Granulats recyclés	5
<b>Photo I.6 :</b> Granulats légers	6
<b>Photo I.7 :</b> colisée de Rome	6
<b>Photo I.8 :</b> Panthéon de Rome	6
<b>Photo I.9 :</b> Pouzzolane	14
<b>Photo I.10:</b> Diatomite	14
<b>Photo I.11:</b> Perlite	15
<b>Photo I.12:</b> Pierre ponce	16
<b>Photo I.13:</b> Vermiculite	16
<b>Photo I.14:</b> Cendre volante	17
<b>Photo I.15:</b> agile expansée	18
<b>Photo I.16:</b> Mâchefer	18
<b>Photo I.17:</b> Schiste expansé	19
<b>Photo I.18:</b> Laitiers	20
<b>Photo I.19:</b> Billes de polystyrène	21
<b>Photo I.20:</b> Copeaux de bois	21
<b>Photo I.21:</b> Granulats Liège expansé	23
<b>Photo I.22:</b> Isolation avec liège expansé et naturel	23
<b>Photo I.23:</b> Décorticage manuel ou mécanique	24
<b>Photo I.24:</b> Coque de noix de palme	25
<b>Photo I.25:</b> Granulats de caoutchouc	26
<b>Photo I.26:</b> Poudrette de caoutchouc	26

### Partie II : Bétons a granulats légers

<b>Photo II.1 :</b> Béton de granulats légers	27
<b>Photo II.2 :</b> Béton de perlite	28
<b>Photo II.3 :</b> Béton de polystyrène expansé	28
<b>Photo II.4 :</b> Béton d'argile expansée	28
<b>Photo II.5 :</b> Mécanismes d'interaction pâte/granulat léger	29
<b>Photo II.6 :</b> Porosité du béton	31

## Chapitre II : Granulats très légers et bétons a granulats très légers

### Partie I: Granulats très légers

<b>Photo I.1:</b> Vermiculite	41
<b>Photo I.2:</b> Argile expansée	41

<b>Photo I.3</b> : balle de riz	<b>42</b>
<b>Photo I.4</b> : coque de noix de palme	<b>42</b>
<b>Photo I.5</b> : pouzzolane	<b>43</b>
<b>Photo I.6</b> : La ponce	<b>43</b>
<b>Photo I.7</b> : Argile expansée	<b>44</b>
<b>Photo I.8</b> : Perlite expansée	<b>44</b>
<b>Photo I.9</b> : Vermiculite expansée	<b>45</b>
<b>Photo I.10</b> : Schiste expansée	<b>45</b>
<b>Photo I.11</b> : Les billes de polystyrène expansée	<b>46</b>
<b>Photo I.12</b> : Le laitier expansée	<b>46</b>
<b>Photo I.13</b> : Perlite expansée (artificielle)	<b>47</b>
<b>Photo I.14</b> : Poudre de verre expansée	<b>47</b>
<b>Partie II : Bétons de Granulats très légers</b>	
<b>Photo II.1</b> : Béton de bois	<b>49</b>
<b>Photo II.2</b> : Béton de polystyrène	<b>49</b>
<b>Chapitre III : béton de liège</b>	
<b>Photo III.1</b> : Vue au microscope d'un granulat de liège 3/8. 40X	<b>58</b>
<b>Photo III.2</b> : Structure alvéole du liège	<b>58</b>
<b>Photo III.3</b> : Répartition des granulats dans différentes matrices	<b>60</b>
<b>Photo III.4</b> : Liaison granulat- matrice X40	<b>60</b>

## **LISTE DES FIGURES**

### **Chapitre I : Granulats légers et bétons a granulats légers**

#### **Partie II : Bétons a granulats légers**

- Figure II.1 :** Relation entre la résistance en compression à 28 jours et la densité du béton frais d'un Mélange avec des granulats légers. **33**
- Figure II.2 :** Résultats de modules élastiques de bétons légers à 28 jours d'après plusieurs auteurs **34**

### **Chapitre II : Granulats très légers et bétons a granulats très légers**

#### **Partie II: Bétons de Granulats très légers**

- Figure II.1:** Masses volumiques sèches de bétons légers et très légers avec différents types de granulats légers (ACI 213 R-79 1981) **51**

### **Chapitre III : béton de liège**

- Figure III.1 :** Courbe granulométrique du sable et des granulats de liège **58**
- Figure III.2 :** Densité des BCLL selon le dosage en liège **61**
- Figure III.3 :** variation des conductivités thermique des BCLL en fonction du dosage **62**
- Figure III.4 :** variation de la résistance à la compression **63**
- Figure III.5 :** variation de la résistance des BCLL en fonction du dosage **63**

## **LISTE DES ANNEXES**

- ANNEXE I :** Glossaire Relatif Au Béton Leger Et Ses Constituants. **69**
- ANNEXE II :** Liste Des Quelques Fournisseurs Des Granulats Légers En Algérie. **73**

# LISTE DES TABLEAUX

## Chapitre I : Granulats légers et bétons a granulats légers

### Partie I: Granulats légers

Tableau I.1 : Composition chimique de quelques granulats légers	13
Tableau I.2 : Composition minéralogique (%) du « clinker » selon Bogue	22
Tableau I.3 : Caractéristiques mécaniques du mortier normal.	22
Tableau I.4 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane.	22
Tableau I.5 : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane	23
Tableau I.6 : Caractéristiques physiques des coques de noix de palme (CNP)	25

### Partie II : Bétons a granulats légers

Tableau II.1 : Porosité ouverte des granulats et proportion capillaire de diamètre $>2 \mu\text{m}$	32
Tableau II.2 : Caractéristiques des bétons de granulats légers	34

## Chapitre II : Granulats très légers et bétons à granulats très légers

### Partie I : Granulats très légers

Tableau I.1 : regroupements de quelques granulats très légers par leurs masses volumiques	48
---	----

## Chapitre III : béton de liège

Tableau III.1 : Caractéristiques physiques des granulats de liège	58
Tableau III.2 : Composition pondérale en matériaux des bétons élaborés	59
Tableau III.2 : Valeurs des densités des BCLL	61
Tableau III.3 : Conductivités thermiques des BCLL	62

## Introduction générale

Les bétons légers sont, par définition, des bétons dont la masse volumique sèche à l'état durci  $M_v$  est comprise entre 800 et 2000 kg/m<sup>3</sup> (norme NF EN 206+A2/CN : 202). Ils ont une faible masse volumique, une faible conductivité thermique et une bonne isolation acoustique par rapport aux bétons ordinaires. Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique et acoustique dans les bâtiments.

Ils ont été employés dans le génie civil dès le début du 20ème 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 sont normalement réalisés de trois manières différentes :

- en employant les granulats 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.

Les bétons qui nous intéressent dans cette étude sont ceux constitués de granulats légers ( $M_v$  comprise entre 800 et 2000 kg/m<sup>3</sup>) et ceux constitués de granulats très légers ( $M_v$  inférieure à 800 kg/m<sup>3</sup>). Si le premier type est relativement bien connu et normalisé pour certains granulats, ce n'est pas le cas pour le second.

L'objectif est donc de réaliser un état de l'art dont lequel tous les types de bétons avec granulats légers et très légers seront recensés, présentés et discutés.

Ce thème a été donc choisi dans le but de valoriser les bétons à granulats légers (BGL) et très légers (BGTL), possédant de bonnes isolations thermiques, très utiles pour la

construction dans les villes chaudes du sud algérien et dans certaines villes chaudes du nord tels que Guelma et Chlef.

Dans ce travail, divisé en trois parties, nous nous sommes fixés comme objectifs de réaliser les points suivants:

- Recensement et description des principaux granulats légers ( $M_v$  sèche comprise entre 800 et 2000  $\text{kg/m}^3$ ): ceux normalisés, commercialisés et déjà utilisés en pratique comme c'est le cas des granulats de pouzzolane naturelle, et ceux en cours d'études, non encore standardisés comme c'est le cas des granulats de roseaux ...
- Recensement et description des principaux granulats très légers ( $M_v$  sèche  $< 800 \text{ kg/m}^3$ ) qui sont généralement d'origine plutôt végétale et organique que minérale (bois, coque de noix de palme, polystyrène expansé ...) et qui permettent de réaliser des bétons de masse volumique très faibles. Leur intérêt pour les bétons d'isolation et pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants est certain.
- Descriptif des principales caractéristiques des bétons légers :  $M_v$ ,  $R_c$  et conductivité thermique et les méthodes de formulation.
- Descriptif des principales caractéristiques des bétons très légers que nous avons nous mêmes dénommé béton très légers avec granulats très légers. En effet cette dénomination n'existe pas encore d'une façon officielle dans la normalisation du béton, contrairement à celle du béton léger.
- Etat comparatif entre les caractéristiques des BGL et BGTL afin de faire ressortir l'apport de la légèreté des granulats très légers.
- Mise au point d'un glossaire en 3 langues (Français, Anglais et Arabe) pour contribuer à enrichir la bibliographie du thème, notamment en langue anglaise dont l'usage a un avenir prometteur dans les universités algériennes.
- Recensement des principaux fournisseurs de granulats légers et très légers en Algérie ainsi que des BGL et BGTL afin de les mettre à la disposition du lecteur de ce mémoire.

## **Chapitre I**

# **Granulats légers et bétons à granulats légers**

# Partie I : Granulats légers

## I.1 Introduction

Les granulats sont des matériaux inertes qui entrent dans la composition des bétons, des mortiers, de couches de fondation de base et de roulement des chaussées, des assises et des ballasts de voies ferrées. Utilisés en construction, ils composent l'ensemble des grains qui ont des diamètres compris entre 0 et 80 mm. Selon leurs dimensions nous distinguons cinq classes granulaires (définies par la norme NFP 18 101) :

- ❖ Fines (fillers) :  $\leq 0.08$  mm
- ❖ Sable :  $d < 1$  mm et  $0.08 < D < 6.3$  mm
- ❖ Gravillons :  $d \geq 1$  mm et  $D < 31.5$  mm
- ❖ Cailloux :  $d \geq 20$  mm et  $D < 80$  mm
- ❖ Graves :  $6.3$  mm  $< D < 80$  mm

Selon leur provenance, les granulats sont soit naturels, artificiels ou recyclés.

Les premiers sont issus de roches meubles (alluvions fluviales ou marines) ou massives (roches éruptives, calcaires, métamorphiques) et n'ont subi aucun traitement mis à part celui mécanique. D'où ils peuvent être obtenus par concassage, criblage, broyage et lavage.

Les seconds, de transformation thermique de roche, de minerais, de sous-produits industriels (laitiers, scories, etc.).

Et enfin les derniers, de traitement de matériaux inorganiques précédemment utilisés dans la construction (béton de démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers ou encore des structures de chaussées).



**Photo I.1** : Différents types de granulats



**Photo I.2** : Granulats roulés



**Photo I.3** : Granulats concassés



**Photo I.4** : Granulats artificiels



**Photo I.5** : Granulats recyclés

Les granulats représentent à peu près 70% du volume total d'un béton [1]. Leurs caractéristiques ont alors une influence significative sur celles des bétons : soit ils influent directement sur une propriété particulière du béton, soit sur le rapport E/C nécessaire pour obtenir la maniabilité voulue. Et donc, leur granulométrie, forme, texture, densité, absorption, résistance mécanique, résistance à l'abrasion, réactivité, propriété thermique et leur résistance au gel sont autant de caractéristiques qui influent directement sur la formulation du béton [1].

Dans le domaine de la construction, les granulats sont classés en trois catégories [2] :

- Les granulats légers : masse volumique réelle inférieure ou égale à  $2000 \text{ Kg/m}^3$
- Les granulats courants : masse volumique réelle comprise entre 2000 et  $3000 \text{ Kg/m}^3$
- Les granulats lourds : masse volumique réelle supérieure ou égale à  $3000 \text{ Kg/m}^3$ .

Dans le cadre de notre étude, il s'agit de béton à granulats légers, d'où nous allons nous limiter à ce type de granulats.



**Photo I.6** : Granulats légers

L'utilisation des granulats légers date de l'époque romaine qui se situe entre 27 avant Jésus Christ et 476 après Jésus Christ. Plusieurs édifices pour ne citer que le Panthéon et le Colisée de Rome sont réalisés en partie en béton léger. Par exemple, le dôme du panthéon d'une portée d'environ 43 mètres a été réalisé avec des matériaux de densités variables dont un contenant de la pierre ponce [2].

Historiquement, l'ingénieur HAYDE Stephen est le premier à fabriquer des granulats légers par l'application d'un traitement thermique sur un matériau expansible. Il déposa un brevet en 1918 pour la technique d'expansion de l'argile, de l'ardoise et du schiste à partir d'un four rotatif. C'est le début de la production et de la commercialisation des granulats légers artificiels. Les granulats légers artificiels sont désormais utilisés aussi bien dans la construction civile que dans la construction navale. En France, l'intérêt pour les granulats légers artificiels s'est développé au début des années 1970 avec l'implantation de la première usine en 1964 à Watten dans le nord. Selon Chen et al. 2012, les granulats légers sont aujourd'hui présents dans différents domaines tels que le bâtiment (béton préfabriqué et béton prêt à l'emploi), les travaux publics (remblai), l'horticulture (grainage de jardin), du traitement des eaux (filtre ou lit bactérien). Certains sont peu résistants voire friables tandis que d'autres sont résistants et durs [2].



**Photo I.7** : colisée de Rome



**Photo I.8** : Panthéon de Rome

## **I.2 Différents types de granulats légers**

Les granulats légers sont les moins utilisés des granulats et ce, partout dans les différents pays du monde. Ils se présentent sous la forme d'une structure poreuse (structure alvéolée) d'où leur légèreté (masse volumique réelle inférieure à  $2000 \text{ Kg/m}^3$ ). Ils permettent une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique mais aussi l'allègement de certains éléments de construction. Ce gain en poids conduit à une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges et conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre [3].

Les granulats légers sont issus de matières premières qui sont soit naturelles, soit artificielles, tenant compte des traitements qu'elles ont subis. C'est ainsi en considérant principalement des caractéristiques des produits finis, on distingue quatre types de granulats légers :

- Granulats légers naturels : ponce ou pouzzolane, matériaux volcaniques naturels de structures très poreuses ;
- Granulats légers ayant subi un traitement thermique : granulat d'argile, de schiste, d'ardoise, de perlite expansée ou de vermiculites exfoliées ;
- Les granulats légers de matériaux artificiels : le mâchefer, sous-produit de la combustion de charbon ou des ordures ménagères. Ce matériau est en très nette régression et on l'utilise que pour la fabrication de parpaings ;
- Les granulats légers de matériaux artificiels ayant subi des traitements spéciaux : granulats de nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau que l'on peut élargir, Les cendres volantes que l'on peut frier, le verre que l'on peut également élargir.

En somme nous pouvons les regrouper en deux grandes familles à savoir les granulats légers naturels et les granulats légers artificiels.

### **I.2.1 Les granulats légers naturels**

Il s'agit là, de granulats naturels par définition, mais légers ; c'est-à-dire présentant une structure alvéolée.

Les granulats légers naturels sont issus en général de roches d'origine volcanique ou sédimentaire subissant diverses transformations mécaniques.

Au terme de ces transformations (concassage et criblage) des gros blocs de roche (issus du dynamitage de la roche), on obtient des grains de différentes tailles.

### **I.2.2 Les granulats légers artificiels**

Ce sont des granulats légers d'origine minérale subissant des traitements thermiques pour donner la structure alvéolée (critère de légèreté). On parlera ainsi d'expansion.

#### ➤ **Théorie de l'expansion**

C'est une méthode utilisée pour la fabrication de ces granulats. Elle est faite sous haute température (entre 1100 à 1500°C) [2].

L'expansion consiste à augmenter le volume d'un matériau préalablement défini expansible.

Elle repose sur le phénomène d'alvéolage qui a lieu si les conditions suivantes sont réunies:

- Déformabilité du matériau (caractère pyroplastique)
- Dégagement gazeux à la température de grésage qui déforme le matériau

Le traitement thermique peut se faire sous différents procédés qui diffèrent soit en fonction :

- De la matière première utilisée
- Du mode de préparation
- Du système de cuisson

Nous notons ainsi le procédé par

- Four rotatif
- Four rotatif mais accompagné par un séchage et refroidissement à bandes
- L'intermédiaire d'une grille de cuisson

Ces procédés reposent sur les mêmes principes à savoir :

- La formation des grains avant la cuisson
- L'élimination de l'eau de façonnage d'une manière suffisamment lente pour éviter l'éclatement des granulats pendant la cuisson.
- L'échauffement rapide en fin de cuisson afin que la surface des grains puisse devenir étanche.

La phase essentielle de l'expansion dépend de la synchronisation parfaite entre la phase du grésage prononcé et les dégagements de gaz.

Des gaz provoquant l'expansion, nous notons la présence de CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> mais aussi de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, et H<sub>2</sub>O [4].

Toutefois, les composés dont les rôles sont les mieux connus et les plus importants sont le carbone, le soufre et l'oxyde ferrique. Les deux premiers ont une action de combustible et le troisième apporte l'oxygène nécessaire à la combustion [4].

## **I.3 Caractéristiques des granulats**

### **I.3.1 Caractéristiques géométriques**

Concernant la forme de ses grains, il peut y avoir certains qui sont régulières et d'autres irrégulières avec des formes sphériques.

Du point de vue granulométrique, ceux régulières donnent généralement les meilleurs résultats. En effet leur variation modifie l'uniformité du béton.

La forme et la texture d'un granulats 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 a granulométrie très discontinue peuvent être difficiles à pomper. Par contre, l'adhérence pâte/grulats 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 [1].

### **I.3.2 Caractéristiques physiques**

#### **I.3.2.1 Porosité**

Les granulats légers étant définis comme des matériaux qui se présentent sous une structure poreuse, se caractérisent ainsi par une très forte porosité.

En effet, cette dernière est l'ensemble des vides ou pores d'un matériau solide qui sont remplis par des fluides.

La porosité d'un granulats léger varie de 25 à 75% du volume apparent [5].

Elle est proportionnelle à la taille des grains : plus la taille des grains augmente, plus ils sont poreux et la densité apparente diminue.

La porosité est aussi à l'origine du phénomène de transfert d'eau de la pâte vers les granulats légers et vice versa.

La relation suivante permet de déterminer la porosité d'un granulat léger :

$$n = \frac{v}{V}$$

Avec  $v$  : volume des pores.

$V$  : volume total du corps des granulats.

### **I.3.2.2 Absorption d'eau**

C'est une caractéristique très importante des granulats légers puisqu'elle influe directement sur la formulation du béton.

L'absorption est déterminée numériquement par un coefficient (coefficient d'absorption) qui permet de déterminer la capacité d'absorption d'un granulat.

Le degré d'absorption d'un granulat varie généralement de 0,2 à 2% [1].

Les méthodes d'estimation du coefficient d'absorption se font en présence d'eau. Nous notons trois de ces méthodes dont celle :

- Du pycnomètre ;
- Basée sur la saturation sous vide ;
- Basée sur le déplacement gravitationnel de l'eau libre.

Tout comme la porosité qui est proportionnelle à la taille, les propriétés de l'absorption sont déterminées par celle-ci aussi, ainsi que par la distribution des pores.

L'absorption d'eau de ces granulats pose problème dans la formulation du béton car ils absorbent une quantité importante de l'eau de gâchage. C'est pour cela, pour calculer la quantité nette d'eau de gâchage, on doit tenir compte de l'absorption du granulat.

Les propriétés du béton telle que la maniabilité varient d'une gâchée à l'autre et encore plus dans le cas des granulats légers.

Par ailleurs, certains moyens tels que le pré mouillage ou l'utilisation d'un traitement de surface visant à réduire l'absorption d'eau des granulats s'avèrent très efficaces pour diminuer la perte de maniabilité des bétons légers [3].

### **I.3.2.3 Masse volumique apparente des granulats légers**

Les granulats légers sont caractérisés par deux masses volumiques apparentes à savoir :

- ❖ La masse volumique en vrac qui est le rapport de la masse volumique de granulats légers secs (granulats qui remplissent aléatoirement et sans compactage un contenant spécifié) sur le volume du contenant ;
- ❖ La masse volumique réelle qui est le rapport de la masse d'un échantillon de granulats légers secs sur le volume qu'il occupe dans l'eau.

### **I.3.2.3.1 Masse volumique en vrac**

Elle peut être déterminée par la procédure NF EN 1097-3 [2].

Selon le type de béton léger, le choix du granulat léger dépendrait de la masse volumique en

$$n = \frac{v}{V}$$

vrac de celui-ci.

Pour un béton de structure, de préférence on utilise un granulat léger de masse volumique en vrac élevée, et, pour le béton isolant celui avec une masse volumique en vrac plus faible.μ

### **I.3.2.3.2 Masse volumique réelle**

Cette masse est déterminée selon la norme NF EN 1097-6 [2].

Tout comme la masse volumique en vrac qui intervient dans le choix du granulat léger, la masse volumique réelle intervient dans la détermination des proportions des constituants granulaires entrant dans la composition du béton.

La masse volumique en vrac et la masse volumique réelle sont liées par la relation suivante [2]:

$$MV_{réelle} = 7/4 MV_{vrac}$$

Il est à noter que cette relation permet en bonne approximation, d'estimer la masse volumique réelle des granulats légers utilisés dans les bétons légers de structure dont le coefficient d'absorption d'eau n'excède pas 15 % [2].

## **I.3.3 Caractéristiques mécaniques**

Afin d'étudier le comportement mécanique du béton, il est plus judicieux de commencer par celui des grains qui sont plutôt difficile à définir.

Les formes géométriques irrégulières des granulats légers posent problème à la détermination de leurs résistances. D'autres paramètres aussi y influent comme la porosité, la densité, etc. ainsi que les essais tels que la compression, la traction, micro-Deval, Los Angeles, etc. Cependant il existe des essais qui leurs sont spécifiques et qui aident à la compréhension des différents paramètres de leurs résistances.

### **I.3.3.1 Résistance à l'écrasement des granulats légers**

On note trois types d'essais. Il s'agit de l'essai d'écrasement au pot, l'essai de compression isostatique et de l'essai de résistance au fil.

#### **I.3.3.1.1 Essai d'écrasement au pot**

Il s'agit de l'essai le plus courant mis au point par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris (LCPC) et repris par la norme européenne EN 13055-1 pour mesurer la résistance à l'écrasement en vrac [2].

#### **I.3.3.1.2 Essai à la presse hydrostatique**

Il a été mis au point par le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) [4]. L'essai nous donne la pression de rupture du grain (granulat léger isolé) par écrasement triaxial rupture du grain.

#### **I.3.3.1.3 Essai de résistance au fil**

C'est un essai rapide et facile à mettre en œuvre, de plus réalisable sur chantier. Il a été mis au point par le Laboratoire de l'Ecole des Mines de Paris (ARMINES). Il consiste à mesurer la résistance à la traction par fendage d'un granulat léger isolé [4].

### **I.3.3.2 Module d'élasticité des granulats légers**

Le module élastique équivalent des granulats légers usuels varie entre 2 et 17 GPa tandis que pour les granulats alluvionnaires, elle est plus importante (de 30 à 100 GPa) [2].

## **I.4 Composition chimique des granulats légers**

Les granulats légers sont issus de matières premières et donc leur composition chimique dépend de ces dernières. Dans leur nature chimique, on note la présence de silice, d'alumine, de chaux, d'oxydes métalliques et d'alcalins.

Le tableau suivant donne la composition chimique de quelques granulats légers :

Producteurs	Type de granulats	Proportions de Composés chimiques (%)												
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	FeO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	S
Argex	Argile expansée	55-65	15-19	12-16	1-3	1-2	0,15-0,25	-	-	-	1,5-3,5	0,3-0,7	0,8-1	0,7-1,3
Liapor	Argile expansée	55	24	14	5	-	-	-	-	-	2	2	-	-
Granulex-GEM	Ardoise expansée	63	21	8,5	0,5	1	-	-	-	-	3,6	1,5	-	-
Liaver	Verre expansé	72,5	1,5	0,3	8,8	2,1	-	0,1	-	0,044	0,7	13,7	0,06	-
Euro Ponce	Pierre ponce	62,5	17,5	2,6	2,5	0,4	-	-	-	-	9,5	2,2	0,5	-

**Tableau I.1** : Composition chimique de quelques granulats légers [2]

## **I.5 Etudes de quelques formes commerciales**

### **I.5.1 Pouzzolane**

Ce nom est donné à l'origine à des cendres volcaniques claires et friables, disponibles à Pouzzoles à 25 km de Vésuve (Italie), et dont le mélange avec la chaux présente des propriétés hydrauliques (pouzzolanité) connues depuis l'antiquité.

La pouzzolane est un granulats léger naturel minéral d'origine volcanique (cristallisation de magma volcanique refroidi assez lentement) qui se présente sous forme de roche constitué par des scories volcaniques (type strombolien). La roche est lavée, concassée et criblée. Elle est silico-alumineuse (par exemple : SiO<sub>2</sub>=50%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=20%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=10%) [1]. La pouzzolane est généralement de couleur rouge brun ou noir ou exceptionnellement grise [4].

En matière première il peut y avoir une différence de couleur des pouzzolanes d'une même carrière du fait de l'état d'oxydation du fer du matériau. En effet les réactions d'oxydation à chaud sont plus ou moins avancées selon la position des scories dans le cône (édifié par le volcan), et ainsi on distingue les faciès « cœur-de-cône » de teinte dominante rouge et « bas-de-cône » de teinte plus sombre.

Du point de vue chimique, elles correspondent à des magmas basiques basaltiques. La présence de sulfures en grande quantité peut être la cause de graves dégâts dans les ouvrages utilisant la pouzzolane d'où ces zones doivent être repérées et éliminées.

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. [5].



**Photo I.9:** Pozzolane

### **I.5.2 Diatomite**

La diatomite constitue l'ensemble de roche (légère) sédimentaire siliceuse formée de résidus fossiles, de frustules, de spicule d'éponge plus ou moins grasseuse ou argileuse, de squelettes de diatomées.

Le traitement de la matière première est constitué principalement du broyage, du séchage, de la sélection granulométrique, de la calcination (avec ajout d'un agent fanant) et de l'activation.

En tant que granulats les diatomites sont généralement inutilisables, car, elles ont une très forte absorption d'eau.



**Photo I.10:** Diatomite

### **I.5.3 Perlite**

C'est un granulats ultra léger d'origine volcanique avec une masse volumique comprise entre 30 et 180 kg/m<sup>3</sup> [4].

La perlite est obtenue 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 4 mm de diamètre. La perlite peut être expansée (peut augmenter son volume de 20 fois) puis concassée et donne ainsi des perlites siliconées. L'opération se fait par chauffage de verre volcanique acide à des températures allant de 900 à 1100°C 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>[1].

La perlite est riche en silice (70%), mais, elle est aussi constituée d'alumine (15%) [1].

Sa densité est de l'ordre de 2.23 à 2.41 et elle est de couleur sombre (gris à noir) [4].

Les mélanges de béton contenant seulement de la perlite ont des masses volumiques comprises entre 330 et 560 kg/m<sup>3</sup> et avec des résistances à la compression qui varient de 0,7 à 3,1 MPa.

En y ajoutant du sable, on peut obtenir des masses volumiques qui peuvent aller au-delà de 1000 kg/m<sup>3</sup> et accroître ainsi les résistances à la compression de 6,2 à 17,3 MPa [1].

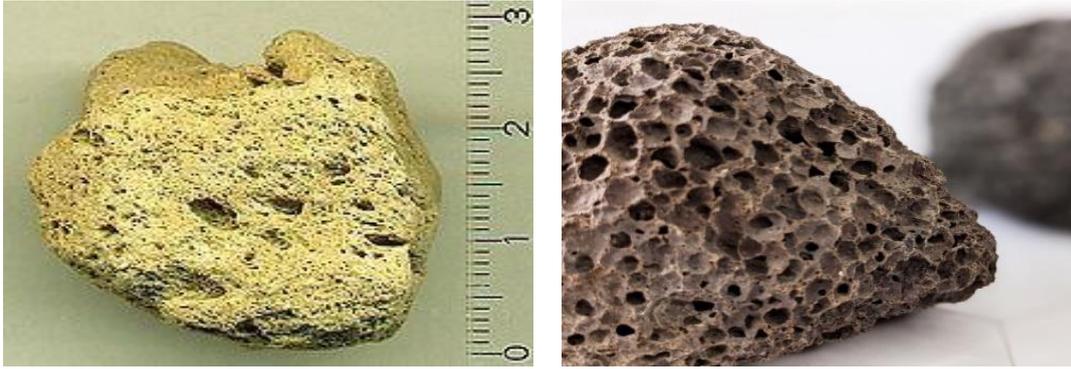


**Photo I.11:** Perlite

### **I.5.4 Pierre ponce**

La ponce est un matériau naturel d'origine volcanique qui se présente sous forme d'accumulation de fragments de toutes dimensions de roche volcanique acide. Elle est obtenue par refroidissement rapide de roche en fusion. Ses éléments sont arrondis (grains avec diamètre maximale de 10 à 20 mm). La ponce est constituée de silice, d'alumine et d'alcalin. Elle est de couleur grisâtre, d'une grande porosité et d'une faible densité (peut flotter sur l'eau) [1].

La ponce est utilisée dans les bétons de structure et d'isolation. Cependant sa faible masse volumique conduit à une faible résistance à la compression du béton.



**Photo I.12:** Pierre ponce

### **I.5.5 Vermiculite**

Les vermiculites sont des granulats très légers ( $50$  à  $125 \text{ kg/m}^3$ ) [4]. Obtenus par cuisson à l'air chaud pendant 2 min [1] à une température  $900$  et  $1100^\circ\text{C}$  [4] environ de certains minéraux (après être concassés puis séchés) puis refroidissement brusque de paillettes de mica. Ce qui donne ainsi l'exfoliation (les molécules d'eau séparant les lamelles se transforment en vapeur d'eau et provoquent l'expansion. Ainsi ils peuvent augmenter leur volume de 30 fois [1].

La vermiculite existe aussi à l'état naturel dans les régions tempérées sous forme de minéral argileux .

Elle augmente de volume en se déshydratant sous l'effet de la chaleur. Elle est employée comme isolant thermique .

Les bétons contenant les granulats de vermiculite ont une faible résistance à la compression allant de  $0,5$  à  $1,5 \text{ MPa}$  avec des masses volumiques de  $350$  à  $600 \text{ kg/m}^3$  [1].



**Photo I.13:** Vermiculite

### **I.5.6 Cendre volante frittée**

Les cendres volantes se présentent sous forme de poudre fine gris noirâtre constituée de particules vitreuses sous formes sphériques. Elles peuvent être utilisées pour la fabrication de granulats légers de bonne performance.

Ces cendres sont obtenues par combustion de charbon pulvérisé à environ 1500°C, utilisé dans les centrales thermiques. Elles sont récupérées au moyen de séparateur pneumatique et électrostatique. Les cendres volantes sont composées de 50% de silice et 32% d'alumine [1].

Les cendres volantes, humidifiées avec de l'eau puis malaxées, peuvent par la suite être bouletées. Ces boulettes sont ensuite envoyées dans le four pour le frittage (four à grille horizontale) à des températures allant de 1200 à 1300°C. Ce frittage permet de souder les

Particules de cendre et crée de petits espaces d'air entre elles. Ainsi, nous obtenons les granulats appelés cendres volantes frittées avec une masse volumique apparente d'environ 800 kg/m<sup>3</sup>. En composition chimique, on note 48% de SiO<sub>2</sub>, 32% d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et 8% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1].

Les bétons contenant les cendres volantes frittées ont une bonne résistance à la compression et une masse volumique acceptable.



**Photo I.14:** Cendre volante

### **I.5.7 Argile expansée**

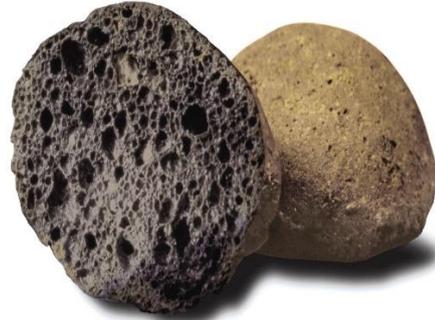
La première fabrication d'argile expansée est due à Stephen HAYDE qui déposa un brevet le 12 février 1918 [4]. Il est probablement le matériau le plus fabriqué au monde.

La cause de l'expansion des granulats et la réduction des oxydes de fer par les matières organiques. En effet, les argiles utilisées dans les industries contiennent à la fois des matières organiques et du fer en proportion non négligeable. En l'absence de l'un de ces composants, il n'y a pratiquement pas d'expansion.

Cependant, toutes les argiles ne gonflent pas. Il y en a seulement celles qui contiennent de la pyrite, de l'hématite ou de la dolomie.

L'argile traitée (1150-1200°C) gonfle à la suite de dégagement de gaz et parallèlement une peau extérieure se forme par vitrification de la surface du matériau. Au refroidissement on a un granulats léger dur, soit des particules de forme arrondie avec peau brune rougeâtre enveloppant

une texture alvéolaire noirâtre. 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> [1].



**Photo I.15:** argile expansée

Les bétons confectionnés à partir d'argile expansée ont une bonne résistance à la compression de l'ordre de 30 à 35 MPa avec des masses volumiques se situant autour de 1650 kg/m<sup>3</sup> et 1200 kg/m<sup>3</sup> pour les bétons légers de structure et les bétons légers isolants respectivement [1].

### **I.5.8 Mâchefer**

Le mâchefer est un matériau de couleur foncé issu de résidu d'incinération (réduction en cendres) de charbon utilisé dans les foyers domestiques ou industriels. Il présente un aspect fritté et scoriacé et est dur.

Sa formation est due aux composants naturels du bois (calcium ,sodium ,fer, soufre et chlore). Les cendres, en fondant , se liquéfient, ce qui crée des blocs au refroidissement .

On utilise différentes classes granulométriques obtenues par un concassage des éléments les plus gros suivis d'un criblage. Il faut s'assurer que les mâchefers fournis sont homogènes, stables et ne donneront pas lieu avec le ciment à des phénomènes d'expansion ou à des efflorescences [1].



**Photo I.16 :** Mâchefer

### **I.5.9 Schiste expansé**

La composition chimique des schistes est à peu près la même que celle des argiles mis à part que les premiers sont riches en carbone et que leurs températures d'expansion sont plus élevées.

Les schistes expansés sont issus de l'expansion de différents types de schiste, soit des schistes carbonifères et houillers, des schistes bitumineux, des schistes classiques ou même des ardoises.

La fabrication des granulats légers à partir de schistes se fait comme suit [1] :

- D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules de schiste à un diamètre maximal de 800  $\mu\text{m}$ .
- 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.

Plus l'expansion est importante, plus la température est élevée. Par exemple, la masse volumique en vrac est d'environ 1000  $\text{kg/m}^3$  à 1300°C comparativement à 380  $\text{kg/m}^3$  pour une température de 1450°C [1].

Les bétons à base de schiste expansé ont les meilleures résistances à la compression d'où ils sont les plus utilisés dans les bétons de structures.



**Photo I.17:** Schiste expansé

### **I.5.10 Laitiers bouletés expansés**

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte. Il est composé de silice, d'alumine et de chaux. Plusieurs procédés permettent d'en obtenir des granulats légers. L'expansion le plus courant est celui qui consiste à verser le liquide dans une fosse en béton dont le fond comporte de nombreuses arrivées d'eau (canalisation constituée de piquage pour une bonne

distribution d'eau sur toute la surface). Et alors, la vaporisation d'eau provoque l'expansion. La roche que l'on obtient est ensuite concassée puis criblée [4]. Ainsi nous avons un laitier expansé, granulats alvéolaires et de couleur gris plus ou moins foncé avec une masse volumique allant de 600 à 900 kg/m<sup>3</sup>[1].

Afin d'obtenir un laitier bouleté expansé, on combine l'expansion avec la division de la masse liquide par dispersion mécanique brutale au moyen d'un tambour rotatif. Les boulettes ont des dimensions comprises entre 1 et 20 mm et sont de structure vitreuse [1].

Le laitier bouleté expansé est doté d'une faible absorption d'eau contrairement au laitier expansé en plus d'être stable au feu mais est un mauvais conducteur de chaleur. Cependant il ne nécessite pratiquement

pas de consommation d'énergie pour sa fabrication. Il est un granulats intéressants et donc peut être utilisé dans différents types de béton : béton légers, isolant, isolant porteurs, structures.



**Photo I.18:** Laitiers

### **I.5.11 Billes de polystyrène**

Le polystyrène est plus utilisé pour l'isolation thermique de bâtiment et l'emballage des produits industriels ou alimentaires. Les billes de polystyrènes sont issues de matière première renfermant un pyrogène. Ce dernier sous l'action de la chaleur passe à l'état gazeux et provoque ainsi une expansion. Ce matériau alvéolaire rigide est d'une masse volumique très faible (10 à 40 kg/m<sup>3</sup>) [1] et donc ses bétons (béton léger et isolant thermique) ont des masses volumiques aussi faibles (300 à 800 kg/m<sup>3</sup>) [5].

Les performances mécaniques des bétons sont faibles (résistance à la compression de l'ordre de 2,0 à 4,0 MPa en fonction du pourcentage de sable utilisé) [1].



**Photo I.19** : Billes de polystyrène

A côté de ces granulats légers étudiés, on note aussi d'autres types comme les granulats végétaux tels que les copeaux de bois et les granulats de liège mais aussi il y a les matériaux légers recyclés tel que les plastiques et les caoutchoucs.

### **I.5.12 Copeaux de bois**

Les copeaux de bois désignent l'ensemble des résidus produits par le sciage de bois. Les copeaux sont produits au cours d'opérations d'usinage effectuées sur la matière première (bois). Les copeaux résultants d'une manufacture peuvent être ainsi récupérés et valorisés pour le domaine de la construction[6].



**Photo I.20** : Copeaux de bois

### **I.5.13 Pouzzolane de Beni Saf**

C'est une pouzzolane d'origine volcanique extraite du gisement de Bou Hamidi situé à 2,5 km de Béni-Saf (nord-ouest algérien) représenté par une montagne de forme conique appelée El Kalcoul dont la côte absolue est de 236 m. Toute la pouzzolane utilisée comme substitution au ciment est convenablement préparée, c'est-à-dire sélectionnée, homogénéisée, séchée, concassée et réduite en poudre à l'aide d'un micro-broyeur.

Les essais réalisés sur la pouzzolane de Béni-Saf, finement broyée (80  $\mu\text{m}$ ) ont permis de mettre à jour les caractéristiques physiques et chimiques présentées dans les tableaux 3 et 4. Caractérisation de la phase vitreuse L'analyse chimique a montré que notre pouzzolane contient plus de 74,0 % de silice et environ 1,50 % de chaux (tableau 4). La pouzzolane naturelle de Béni-Saf possède donc une structure vitreuse, de plus la différence entre la silice et la chaux est d'environ 72,5 %, qui est nettement supérieure à 34 % (Dron et Brivot 1977), ce qui veut dire que la teneur en verre est appréciable. L'analyse sédimentométrique de la pouzzolane est illustrée par la figure 1 [25].

**Tableau I.2 :** Composition minéralogique (%) du « clinker » selon Bogue.

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
38,09	34,62	9,95	12,65

**Tableau I.3 :** Caractéristiques mécaniques du mortier normal.

Age (jours)	Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
2	5,12	19,58
7	8,70	31,91
28	10,73	52,15

**Tableau I.4 :** Caractéristiques physiques de la pouzzolane.

Caractéristiques physiques	Valeurs
Masse volumique apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0,98
Masse volumique absolue ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,75
Surface spécifique Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	58,70
Porosité (%)	57,10
Humidité (%)	2,50
Perte au feu (%)	5,60

**Tableau I.5** : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane.

Composants	Teneurs (%)
SiO <sub>2</sub>	74,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,83
CaO	1,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,92
MgO	0,34
SO	Nul
Cl	Nul
P.F.	7,21
Total	100,29
Carbonates	2,73
CO <sub>2</sub>	1,20
H <sub>2</sub> O	6,01
M.O.	Nul

**Nota:** P.F., pertes au feu; M.O., matières organiques.

### **I.5.14 les granulats de liège expansé**

Le liège expansé est constitué de morceaux d'écorces qui ont gonflés à haute température. Le liège expansé en vrac sert principalement à constituer une chape allégée et isolante, à combler du vide, entre cloisons ou au sol, pour isoler murs, combles et fondations. Il permet aussi de réaliser des bétons allégés qui seront à la fois thermiques et phoniques.

Granulométrie de 3 à 5mm, grains noirs gonflés d'air pour de meilleures performances thermiques.

Le **liège en vrac expansé** est 100% naturel, écologique, composé de résidu d'écorce de liège chauffé à haute température et concassé. Il ne contient ou ne dégage pas de produits nocifs pour la santé, il est sain pour l'environnement (photos I.21 et I.22 ).



**Photo I.21** : Granulats Liège expansé



**Photo I.22** : Isolation avec liège expansé et naturel

### **I.5.15 la balle de riz**

La balle de riz est la partie externe recouvrant le grain de riz. Il est constitué de deux moitiés qui se replient autour du riz. Puisque cette écorce n'est pas comestible, elle doit être enlevée du grain. Cette phase peut soit être réalisée mécaniquement, soit manuellement. Habituellement, quand les moyens le permettent, une décortiqueuse est utilisée pour cette tâche. (Bui D.D., 2001)



**Photo I.23** : - Décorticage manuel ou mécanique

Fréquemment, la balle de riz est considérée comme un déchet dans l'agriculture, représentant un problème de traitement pour tous les cultivateurs de riz et qui est souvent simplement résolu par sa calcination. En raison de son problème de traitement ainsi que de son faible coût, plusieurs applications ont été inventées afin de revaloriser ce déchet. Par exemple, la balle de riz est utilisée comme fertilisant en agriculture, comme additif dans le ciment ou la chaux comme matériau pouzzolanique ou encore comme combustible de qualité inférieure. (Sabuni E., 1995) [24].

### **I.5.16 coque de noix de palme**

Les coques de noix de palme (CNP) étudiées, sont les enveloppes des graines de palmistes. Elles proviennent d'un site de production industrielle d'huile de palme (de l'entreprise SIFCA) basé à Abidjan en Côte d'Ivoire. Elles sont obtenues après extraction des fibres et concassage du noyau. Au laboratoire, les CNP sont lavées à l'eau pour éliminer les résidus de terre ou de graisse puis séchées à température ambiante (25 – 30°C) pendant 48 heures. Elles ont un aspect de forme irrégulière avec une limite granulométrique supérieure de 8mm et une inférieure de 1mm. Les caractéristiques physiques des CNP sont regroupées dans le tableau I.6 [11].

**Tableau I.6** : Caractéristiques physiques des coques de noix de palme (CNP) [11].

Caractéristiques	CNP
Granularité	2 – 8 mm
Densité apparente	560 kg/m <sup>3</sup>
Densité spécifique	1340 kg/m <sup>3</sup>
Teneur en humidité	4,35%
Absorption d'eau (% à 24h)	22,25%

**Photo I.24** : coque de noix de palme

### **I.5.17 granulat de Caoutchouc**

Ils sont issus du broyage mécanique de pneus usagés. Leurs masses volumiques apparentes sont de l'ordre de 0.40 g/cm<sup>3</sup> (Photo I.25).

Ils sont généralement incorporés dans les bétons et mortiers en substitution volumique des sables et des gravillons afin de fabriquer des matériaux composites susceptibles d'apporter une valeur ajoutée en termes d'amélioration de la résistance aux chocs.

Ils permettent l'augmentation de la ductilité, la réduction du poids et la diminution du phénomène de retrait.

En outre, toutes les recherches ont montré que l'utilisation de granulats de caoutchouc dans le béton a un impact négatif sur les propriétés mécaniques du « béton de caoutchouc ».

Il existe aussi de la poudrette de caoutchouc utilisée dans les mortiers et bétons légers. Elle se présente sous forme de poudre de diamètre variant entre 10 µm et 1 mm (Photo I.26) et est utilisée dans la fabrication de revêtements de sols industriels et sportifs, d'écrans anti-bruit, ...



**Photo I.25:** Granulats de caoutchouc



**Photo I.26:** Poudrette de caoutchouc

## Partie II : Bétons à granulats légers

### II.1 Introduction

Le béton de granulat léger 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 leur utilisation. 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 millénaire. Les Grecs et les Romains ont employé la ponce dans la construction des bâtiments [1].

Les bétons de granulats légers sont fabriqués comme les bétons courants, mais avec des granulats légers. Il existe en effet de nombreuses variétés 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 [1].



**Photo II.1** : béton de granulats légers

### II.2 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 obtenus par concassage). 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].

## **II.3 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, de perlite expansée, de polystyrène expansé ou de vermiculite exfoliée.

Le béton de perlite est utilisé comme enduit isolant, chape de planche, pente de terrasse...etc. Il présente une excellente résistance aux agents chimiques et un bon comportement au feu.

Le béton de polystyrène est utilisé pour les murs extérieurs et les hourdis de planchers.

Le béton d'argile expansé est l'un des matériaux de construction les plus prometteurs. L'argile expansée apporte ses qualités exceptionnelles d'isolant thermique et acoustique, d'allègement des structures et de solutions pratiques de mise en œuvre pour tous les travaux, de construction neuve comme de rénovation, ce qui en fait un matériau à forte valeur ajoutée; une réponse aux défis d'aujourd'hui: construire mieux et respectueusement pour l'environnement[7].



**Photo II. 2** : béton de perlite



**Photo II.3** : béton de polystyrène expansé



**Photo II. 4** : béton d'argile expansée

## **II.4 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.

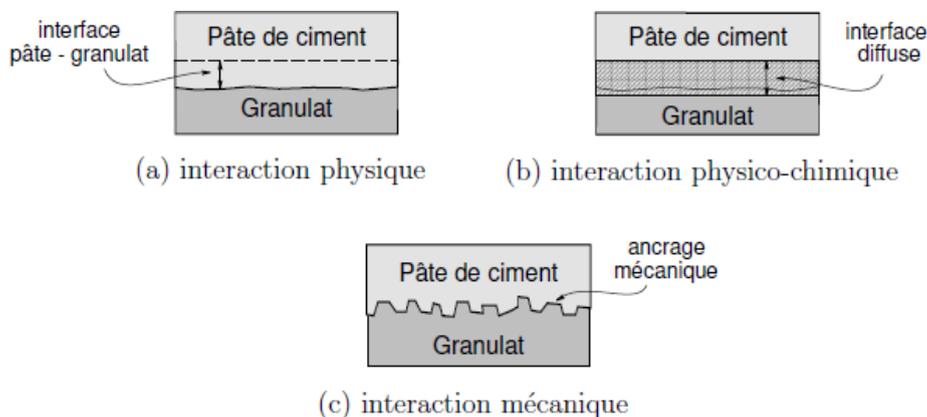
## II.5 Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux

Ce sont des bétons confectionnés à partir des granulats légers issus de très nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR que l'on expande sur les lieux de production, les cendres volantes que l'on peut fritter ou le verre que l'on peut également expande.

## II.6 Propriétés physiques des bétons à base de granulats légers

### II.6.1 Interaction des granulats légers avec la matrice cimentaire

Plusieurs auteurs ont montré que l'interface autour des granulats légers est plus dense que celle autour des granulats de masse volumique normale du fait de leur plus grande absorption. L'absorption d'eau favorise donc une bonne adhérence pâte/granulat. Selon Zhang and Gjorv, l'interface pâte/granulats légers est le siège de mécanismes physiques, chimiques et mécaniques qui expliquent cette affinité. La figure suivante décrit les trois ordres d'interaction identifiés par les auteurs [2].



**Photo II.5 :** Mécanismes d'interaction pâte/granulat léger [2]

- L'interaction physique est liée à l'absorption d'eau par les granulats légers poreux dans la matrice cimentaire. À l'échelle microstructurale, ce phénomène physique va se traduire par une réduction du rapport eau/ciment dans la sphère d'influence de la succion par rapport au cœur de la pâte. Les résultats de Elsharief et al. indiquent que cette réduction du rapport eau/ciment explique la faible porosité de l'auréole de transition autour des granulats légers ;

- L'interaction chimique met en avant la pouzzolanité des granulats légers traités thermiquement. Selon Arnould et Virlogeux le traitement thermique utilisé pour l'expansion De certains granulats légers (les granulats légers artificiels notamment), peut leur conférer une réactivité pouzzolanique proportionnelle à la quantité de chaleur appliquée ;
- L'interaction mécanique est une conséquence des deux premières. La rugosité de la croûte des granulats légers va favoriser la pénétration de la pâte de ciment dans les interstices à la surface et améliorer de fait l'adhérence pâte/granat [2].

## **II.6.2 Maniabilité et mûrissement des bétons à granulats légers**

Les granulats légers sont connus par leur forte absorption d'eau qui constitue un impact sur la maniabilité, la résistance et le mûrissement des bétons. Cependant ces derniers dépendent aussi de l'état des granulats utilisés saturés en surface ou bien secs.

Pour les granulats saturés séchés en surface, ils n'affectent pratiquement pas sur la maniabilité. Alors l'eau absorbée n'est pas à prendre en compte dans le rapport eau/ciment du béton. Par ailleurs, lorsque l'hydratation du ciment fait chuter l'humidité relative dans les pores capillaires de la pâte de ciment durci, l'eau présente dans les granulats migre vers ces capillaires, rendant possible une hydratation supplémentaire. Ce qui fait que les bétons de granulats légers sont moins sensibles à un mûrissement humide incorrect qu'un béton ordinaire [5].

Par contre dans le cas de granulats utilisés secs, l'absorption d'eau des granulats diminue la maniabilité. De plus, si le béton est vibré avant que l'absorption par les granulats légers secs ne soit terminée, des vides dus à la dessiccation se développent et, à moins que le béton ne soit revibré, sa résistance sera moins élevée [5].

## **II.6.3 La porosité**

Le béton est constitué de plusieurs éléments solides (granulat, liant) et de plusieurs familles de vides dont la taille varie de quelques dizaines d'Angstrom (A) à quelques millimètres selon l'origine de ces porosités [5].

Les granulats possèdent une porosité intrinsèque appelée  $\emptyset g$ , due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de la dizaine de  $\mu m$ ), la porosité des granulats sera qualifiée de porosité microscopique [5].

La matrice de liant contient également des vides d'air qui apparaissent au moment de la prise des hydrates et du séchage du matériau. On parle d'air intra-liant qui permet de définir la porosité intrinsèque du liant  $\emptyset_1$ , la taille caractéristique des pores présents entre les hydrates de Ca (OH) 2 ou de C-S-H, varie entre 0.01  $\mu m$  et 5  $\mu m$  et la taille des pores générés par un

entraîneur d'air varie entre  $5 \mu\text{m}$  et  $1 \text{mm}$ . L'air intra-liant sera également considéré comme de l'air microscopique [5].

$$\phi_l = \frac{v_{\text{vides}}}{v_{\text{liant}}} \quad [5]$$

Avec :  $V_{\text{vides}}$  : Volume des vides contenus dans la matrice de liant ( $\text{m}^3$ )

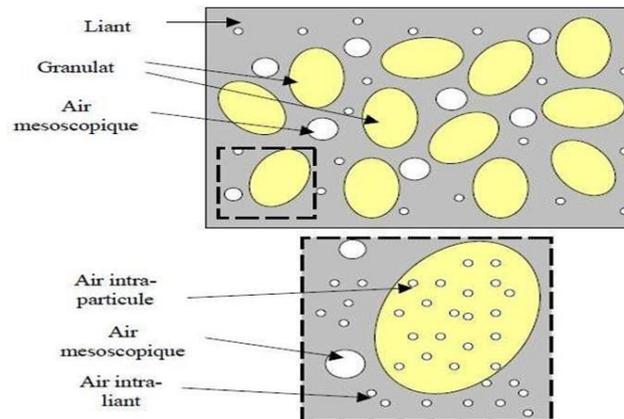
$V_{\text{liant}}$  : Volume total occupé par la pâte de liant ( $\text{m}^3$ )

Enfin, l'arrangement plus ou moins compact des différents constituants entre eux (empilement de granulats et du liant) crée des vides supplémentaires, à l'origine de la porosité mésoscopique du matériau [5].

$$\phi_{\text{meso}} = \frac{v_{\text{vides}}}{v_t} \quad [5]$$

Avec :  $V_{\text{vides}}$  : Volume des vides contenus dans le matériau autres que l'air intra – liant et intra – particule ( $\text{m}^3$ )

$V_t$  : Volume total occupé par le matériau ( $\text{m}^3$ )



**Photo II.6** : Porosité du béton

## II.6.4 Absorption d'eau

L'absorption est un phénomène physique par lequel un liquide migre de l'extérieur vers l'intérieur d'un milieu poreux grâce à un phénomène de remontées capillaires. L'absorption entraîne un gain de masse du matériau. Cependant, l'absorption n'est possible que si les capillaires du réseau poreux communiquent pour permettre le transfert de l'eau : on parle alors de porosité ouverte ou connectée. Lorsque le matériau contient des pores emprisonnés comme dans le cas du béton cellulaire, on parle de pores occlus. Ces pores ne participent pas au phénomène d'absorption. Une étude expérimentale menée par VAQUIER a mis en évidence le rôle de la microstructure dans l'absorption en comparant le type et la distribution par taille des

pores de quatre granulats légers et en analysant les conséquences sur l'absorption, voir tableau suivant[5].

	Porosité ouverte (%)	% pores diamètre >2 $\mu\text{m}$
Ponce	55,0	68,0
Argile expansée	53,9	11,7
Schiste expansé	37,0	34,7
Cendre frittée	37,0	17,6

**Tableau II.1** Porosité ouverte des granulats et proportion capillaire de diamètre >2  $\mu\text{m}$

Il constate que la plus grande partie de l'eau est absorbée en quelques minutes et que la quantité d'eau absorbée n'est pas corrélée à la porosité ouverte mais à la porosité ouverte de diamètre supérieur à 2 microns. Ceci est confirmé par la comparaison entre le volume de liquide maximal absorbé par les granulats et le volume total des capillaires de diamètre supérieur à 2 microns qui sont quasiment identiques [5].

### **II.6.5 La masse volumique de bétons de granulats légers**

Avec une masse volumique après séchage inférieure à 2 000  $\text{kg/m}^3$ , le béton à granulats légers permet un gain de poids selon l'ouvrage. Cependant il est moins résistant que les bétons «classiques». Il est utilisé en remplissage pour des éléments porteurs et isolants, en réhabilitation...

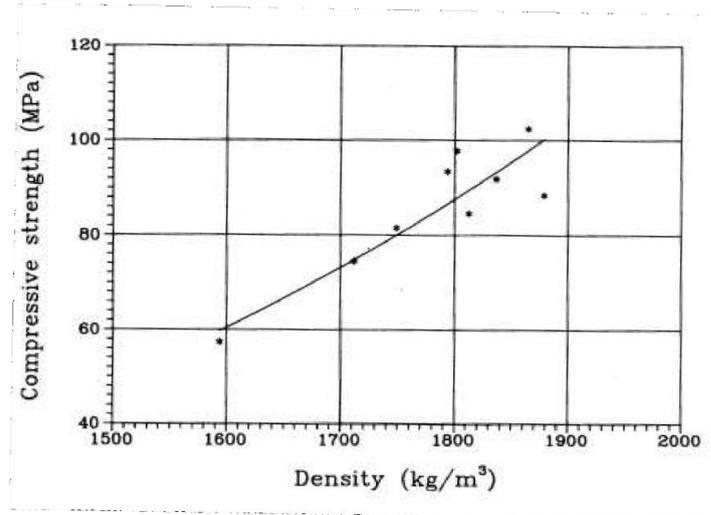
D'après ARNOULD et VIRLOGEUX la prise de poids d'un béton léger immergé ne dépasse pas 40  $\text{kg/m}^3$  et est de 30  $\text{kg/m}^3$  pour un béton traditionnel. Les auteurs expliquent essentiellement ce gain de poids par le remplissage des vides du mortier, et non par la migration d'eau vers les granulats légers, les pores de surface étant au moins en grande partie bouchés par le mortier, au moment du malaxage et en début de prise, du fait des échanges d'eau entre le mortier et les granulats légers [5].

## **II.7 Propriétés mécaniques des bétons de granulats légers**

### **II.7.1 Résistance à la compression**

Avec des granulats légers et une formulation de béton appropriée, il est possible d'obtenir des résistances à la compression comparables à celles obtenues avec du béton traditionnel.

L'évolution des connaissances et des technologies du béton ont permis au fil des ans d'améliorer les propriétés des bétons, dont celles des bétons légers. Par exemple, l'utilisation d'ajouts minéraux (fumée de silice, cendres volantes, laitiers) et d'adjuvants (agents entraîneurs d'air (AEA) superplastifiants (SP), agents réducteurs d'eau (WR) et accélérateurs de prise) ont donné la possibilité notamment de diminuer le rapport E/L tout en conservant une bonne maniabilité. Des résistances en compression de 100 MPa ont même été obtenues et sont présentées (voir figure suivante) [19].



**Figure II.1** : Relation entre la résistance en compression à 28 jours et la densité du béton frais d'un Mélange avec des granulats légers.

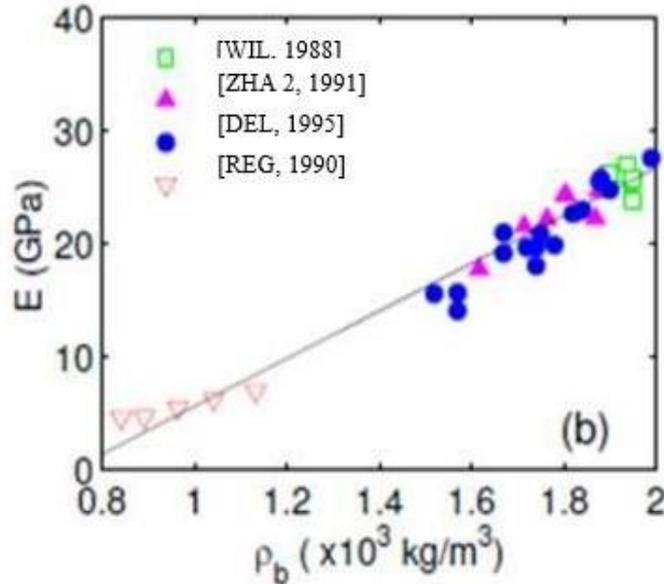
## II.7.2 Résistance à la traction

Tout comme les bétons «classiques», les bétons à granulats légers présentent une faible résistance à la traction, puisque la propagation des fissures peut s'effectuer au travers des granulats.

Des résistances à la traction par fendage de 3,3 à 4,2 MPa pour des bétons d'une masse volumique de 1940 kg/m<sup>3</sup>, ou de 3,5 à 5,6 MPa pour des bétons, dont la masse volumique variait de 1620 à 1885 kg/m<sup>3</sup>, ont par exemple été rapportées [19].

## II.7.3 Module élastique

Pour un rapport E/L équivalent, le module élastique d'un béton à granulats légers est inférieur à celui d'un béton normal. La cause principale réside dans le module élastique des granulats légers (10 à 20 GPa) qui est très inférieur à celui des granulats de masse volumique usuelle (granite, 10 à 70 GPa, calcaire, 10 à 55 GPa). La figure suivante présente quelques résultats de précédentes études sur des bétons légers. On constate notamment que le module élastique semble proportionnel à la masse volumique [19].



**Figure II.2:** Résultats de modules élastiques de bétons légers à 28 jours d'après plusieurs auteurs [19].

## **II.8 Domaines d'utilisation des bétons de granulats légers**

Les bétons de granulats légers sont utilisés dans le domaine du bâtiment et des ouvrages d'art. Ils sont utilisés notamment pour alléger les éléments tels que les poutres, les poteaux, les planchers, les tabliers de ponts etc. Les bétons de granulats légers sont également connus pour améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments ou l'absorption acoustique des écrans acoustiques protégeant les riverains des nuisances sonores. Ils sont utilisés dans les structures préfabriquées ou réalisées sur chantier. Les bétons légers pour les produits de structure présentent des masses volumiques réelles sèches comprises entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup> et des résistances à la compression comprises entre 25 et 80 Mpa [3].

<i>Types de bétons spéciaux</i>	<i>Propriétés, caractéristiques particulières</i>	<i>Utilisation, domaines d'application privilégiés</i>
<b>Bétons de granulats légers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- masse volumique réduite (entre 1 000 et 1 800 kg/m<sup>3</sup>)</li> <li>- bonne résistance mécanique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- allègement des produits et des ouvrages</li> <li>- isolation thermique et phonique</li> </ul>

**Tableau II.2 :** Caractéristiques des bétons de granulats légers [7]

## **II.9 quelques types de bétons de granulats légers**

### **II.9.1 Bétons utilisés actuellement**

#### **II.9.1.1 béton de pouzzolane**

Le béton de pouzzolane est un matériau de construction léger et isolant, composé d'un mélange de chaux et de pouzzolane, une roche volcanique naturelle. Voici les principales caractéristiques de ce béton :

- Facilité de mise en œuvre : la pouzzolane a une granulométrie de 0/15 mm, ce qui facilite la préparation du mélange [9] .
- Légèreté : le béton de pouzzolane a une faible masse volumique, généralement inférieure à 1800 kg/m<sup>3</sup> [10] .
- Régulation hygroscopique : la pouzzolane étant un matériau minéral sans COV, le béton qu'elle compose permet une bonne régulation de l'humidité [9] .
- Isolation thermique et acoustique : grâce à la structure alvéolaire de la pouzzolane, le béton offre de bonnes performances d'isolation [10] .
- Durabilité : le mortier de chaux et de pouzzolane a été utilisé dans la construction romaine pour sa solidité et sa résistance à l'eau .

Ce béton est principalement utilisé pour la réalisation de dallages non porteurs, de remblais allégés et de revêtements de sols extérieurs comme les pistes d'hippodrome. Sa mise en œuvre se fait de manière traditionnelle, en une seule couche d'au moins 15 cm d'épaisseur.

#### **II.9.1.2 Béton de diatomite**

Le béton de diatomite est un matériau de construction léger et performant qui utilise la diatomite comme composant principal. Voici les principales caractéristiques de ce type de béton:

- Composition : Le béton de diatomite est composé d'un mélange de granulats (sable, gravier, etc.) et d'un liant hydraulique ou hydrocarboné, avec l'ajout de diatomite pour le rendre léger .
- Légèreté : La diatomite possède une masse volumique très faible, entre 200 et 300 kg/m<sup>3</sup>, ce qui permet de fabriquer un béton beaucoup plus léger qu'un béton traditionnel, avec une masse volumique inférieure à 2 000 kg/m<sup>3</sup> [12] .

- Résistance : L'ajout de diatomite permet d'améliorer significativement la résistance du béton, atteignant des valeurs de 40 à 50 MPa à 28 jours, pour une même qualité de ciment.
- Fonctionnement : La diatomite agit comme un filler, remplissant les vides entre les grains de ciment et de sable, ce qui améliore la compacité du mélange .
- Traitement : Avant d'être incorporée, la diatomite peut subir un traitement thermique de calcination à 400-500°C pour optimiser ses performances.
- Utilisations : Le béton de diatomite est utilisé pour des applications nécessitant une légèreté et une résistance élevées, comme les constructions à haute hauteur ou les structures de soutien.

En résumé, le béton de diatomite combine légèreté, résistance mécanique et isolation thermique, grâce aux propriétés uniques de cette roche siliceuse naturelle. Son utilisation permet de réduire la quantité de ciment nécessaire tout en améliorant la qualité du béton.

### **II.9.1.3 Béton de perlite**

Le béton de perlite est un béton léger composé de perlite expansée, un agrégat minéral naturel, et d'adjuvants. Voici les principales caractéristiques de ce matériau :

- Extrême légèreté : sa densité est de seulement 500 à 600 kg/m<sup>3</sup>, soit 2 à 3 fois plus léger qu'un béton traditionnel. Pour 4 cm d'épaisseur, il ne pèse que 28 kg/m<sup>2</sup>[13] .
- Bonnes propriétés isolantes thermiques et acoustiques grâce à l'air emprisonné dans les grains de perlite[12] .
- Incombustible, écologique, stable dans le temps et imputrescible.
- Prêt à l'emploi, il suffit d'ajouter de l'eau au mélange de perlite et de ciment. Excellente ouvrabilité et lissage facile.
- Idéal pour la rénovation des planchers anciens et le ravaillage, avec une épaisseur réduite de 4 cm seulement. Permet le collage direct du carrelage sans enduit de lissage [12] .
- Peut-être pompé par pompe à piston traditionnelle ou pompe à chape. Accessible au bout de 24h, durcissement rapide en 4h [14].

En résumé, le béton de perlite allie légèreté, isolation, facilité de mise en œuvre et rapidité de séchage, en faisant un matériau de choix pour la rénovation des planchers.

### **II.9.1.4 Béton de pierre ponce**

Le béton de pierre ponce est un matériau de construction léger et isolant, composé de pierre ponce et de ciment. Voici ses principales caractéristiques :

- Extrême légèreté : sa densité est de seulement 500 à 600 kg/m<sup>3</sup>, soit 2 à 3 fois plus léger qu'un béton traditionnel [15].
- Bonnes propriétés isolantes thermiques et acoustiques grâce à l'air emprisonné dans les grains de pierre ponce [16].
- Incombustible, écologique, stable dans le temps et imputrescible
- Idéal pour la construction de bâtiments, en alternative aux parpaings et briques de terre cuite [15]
- Peut être utilisé pour la fabrication de blocs de construction certifiés NF, comme le Fabtherm 2 de Fabemi.

En résumé, le béton de pierre ponce allie légèreté, isolation, résistance au feu et écologie, en faisant un matériau de choix pour la construction de bâtiments durables

### **II.9.1.5 Béton de vermiculite**

Voici les principales caractéristiques du béton de vermiculite :

- Extrême légèreté : sa densité est de seulement 350 à 640 kg/m<sup>3</sup>, soit 2 à 3 fois plus léger qu'un béton traditionnel [17].
- Excellentes propriétés isolantes thermiques et acoustiques grâce à l'air emprisonné dans les grains de vermiculite [18].
- Incombustible, écologique, stable dans le temps et imputrescible [18].
- Idéal pour l'isolation des planchers, en alternative aux chapes traditionnelles. Peut être utilisé pour la remise à niveau d'anciens planchers.
- Facile et rapide à mettre en œuvre par simple épandage. Peut-être mélangé à du ciment pour obtenir un béton léger.
- Dosage recommandé : 14-15 sacs de 100L de vermiculite, 250-300 kg de ciment et 400-450L d'eau pour 1 m<sup>3</sup> de béton.

En résumé, le béton de vermiculite allie légèreté, isolation, facilité de mise en œuvre et résistance au feu, en faisant un matériau de choix pour l'isolation des planchers

### **II.9.1.6 Béton d'argile expansée**

Voici les principales caractéristiques du béton d'argile expansée :

- Extrême légèreté : sa densité est de seulement 500 à 800 kg/m<sup>3</sup>, soit 2 à 3 fois plus léger qu'un béton traditionnel [19].
- Excellentes propriétés isolantes thermiques et acoustiques grâce à la structure alvéolaire de l'argile expansée [21].

- Incombustible, écologique, stable dans le temps et imputrescible.
- Idéal pour la construction de murs porteurs, de planchers d'étage, de cloisons, etc. Permet de réaliser des éléments préfabriqués de grandes dimensions [20].
- Assemblage par un ciment-colle très fin, réduisant les risques de ponts thermiques.
- Recommandé pour tous types de bâtiments : habitation, industriel, commercial, agricole, etc.
- Principaux fabricants en France : Terreal, Laterlite, Klein.

En résumé, le béton d'argile expansée allie légèreté, isolation, résistance et facilité de mise en œuvre, en faisant un matériau de choix pour la construction de bâtiments durables.

## **II.9.2 Bétons a l'état d'étude**

### **II.9.2.1 Béton de copeaux de bois**

Le béton de copeaux de bois, également connu sous le nom de béton de bois, est un matériau de construction écologique qui utilise des copeaux de bois comme agrégat dans le mélange de béton. Il est souvent utilisé comme alternative aux matériaux de construction traditionnels, car il est plus léger, plus durable et plus respectueux de l'environnement.

Ce type de béton peut être fabriqué en mélangeant des copeaux de bois avec du ciment, de l'eau et éventuellement d'autres additifs pour renforcer ses propriétés. Une fois mélangé et coulé dans des moules, il durcit pour former une structure solide et résistante.

Selon les informations fournies dans les résultats de recherche, la masse volumique ou densité du béton de copeaux de bois se situe généralement entre 600 et 900 kg/m<sup>3</sup>, soit environ 3 fois moins que le béton de ciment standard qui a une densité d'environ 2400 kg/m<sup>3</sup> [22].

### **II.9.2.2 Béton de coque de noix de palme**

Le béton de coque de noix de palme est un matériau de construction alternatif qui utilise les coques de noix de palme comme agrégat dans le mélange de béton. Les coques de noix de palme sont des déchets agricoles disponibles dans les régions où les noix de palme sont cultivées et récoltées.

les coques de noix de palmistes sont des granulats légers, moyennement compatibles avec le ciment et permettent d'avoir des bétons légers de masse volumique variant entre 1400 et 1900 kg/m<sup>3</sup> [23].

### **II.9.2.3 Béton de balle de riz**

Le béton de balle de riz est un matériau de construction durable et écologique qui utilise les cendres de balles de riz comme un ingrédient principal.

Les bétons drainants géopolymères fabriqués avec des cendres de balles de riz ont des propriétés mécaniques et de drainage intéressantes. Ils peuvent être utilisés pour des applications telles que les chaussées et les lots de parking, où ils peuvent réduire les ilots et la quantité d'eau stagnante pendant la saison pluvieuse.

la masse volumique du béton de balle de riz dépend de la proportion de balle de riz dans le mélange et peut varier entre 135 kg/m<sup>3</sup> et 800 kg/m<sup>3</sup> [24].

### **II.9.2.4 Béton de roseaux**

Le "béton de roseaux" est une technique de construction alternative qui utilise des roseaux (ou des cannes de bambou) comme matériau de renforcement dans le béton. Les roseaux sont souvent utilisés dans les régions où ils sont abondants et peuvent remplacer les barres d'acier traditionnellement utilisées pour renforcer le béton.

. Il peut être utilisé pour la construction durable et l'éco-habitat, ainsi que pour la rénovation de bâtiments construits avec des roseaux, là où les dalles de béton surchargeraient les structures.

Le roseau géant est un bon matériau isolant, similaire aux panneaux isolants fabriqués à partir d'agro-résidus et meilleur que le bois.

### **II.9.2.5 Béton de pouzzolane de Beni Saf**

Les cimenteries de Zahana et de Béni-Saf (nord-ouest algérien) utilisent déjà dans la fabrication de leur ciment des ajouts de pouzzolane provenant de la région de Béni-Saf. La norme algérienne NA 442 : 2000 stipule pour le ciment CPJ-CEM II/A un pourcentage d'ajouts variant de 6 à 20 % et un pourcentage variant de 21 à 35 % pour le ciment CPJ-CEM

L'Algérie possède une quantité appréciable de matériaux pouzzolaniques d'origine volcanique qui s'étend le long de 160 km entre la frontière Algéro-Marocaine et le Sahel d'Oran. Les premières études volcaniques sur la région ont été publiées par Velain (1874), Lacroix (1893), Gentil (1903), Sa-dran (1958), Guardia (1975), Bellon et Guardia (1980), Megartsi (1985) (Bendoukha 1987). L'objet de cette étude est d'utiliser cette même pouzzolane comme substitution d'une partie de ciment en vue de faire des essais pour déterminer les différentes caractéristiques (physiques et mécaniques) du béton ainsi obtenu [25].

## **Chapitre II**

# **Granulats très légers et bétons à granulats très légers**

# Partie I : Granulats très légers

## I.1 Introduction

Les granulats très légers sont des matériaux essentiels dans la construction de bétons légers et isolants ( de masse volumique supposée inférieure ou égale à  $800 \text{ kg/m}^3$  ). Ils se distinguent par leur faible densité et leur capacité à offrir une bonne isolation thermique et acoustique. Ces granulats peuvent être d'origine naturelle ou artificielle, et sont utilisés pour formuler des bétons très légers qui présentent des caractéristiques uniques. Les granulats légers usuels incluent des matériaux tels que la ponce, la pouzzolane, l'argile ou le schiste expansés, ainsi que le laitier expansé. Avec une masse volumique variant entre  $400$  et  $800 \text{ kg/m}^3$ , ces granulats permettent de produire des bétons très légers avec une faible masse volumique et une bonne isolation thermique. Les bétons légers, fabriqués à partir de granulats très légers, peuvent être utilisés de différentes manières, notamment pour la réhabilitation d'ouvrages en raison de leur légèreté et de leurs propriétés isolantes. Ces bétons peuvent contenir de l'air dans la pâte (béton cellulaire) ou dans les granulats (béton caverneux), offrant ainsi des solutions adaptées à divers besoins de construction. Les granulats légers sont également employés dans la construction de remblais allégés pour réduire les charges et les poussées verticales ou horizontales. En résumé, les granulats très légers sont des composants clés dans la fabrication de bétons légers et isolants, offrant des avantages tels que la légèreté, l'isolation thermique et acoustique, et une polyvalence d'utilisation dans divers projets de construction.



**Photo I.1**: vermiculite



**Photo I.2** : argile expansée



**Photo I.3** : balle de riz



**Photo I.4** : coque de noix de palme

## **I.2 Différents type de granulats très légers**

Dans cette section, nous nous contenterons d'un descriptif du caractère très léger de ces granulats ( $M_v < 800 \text{ kg/m}^3$ ) car la description générale a déjà été réalisée au chapitre I (section I.2). Ceci afin de les différencier nettement des granulats légers et pouvoir par la suite déduire les conséquences techniques de leurs plus grandes légèretés.

## **I.3 Les granulats très légers naturels**

Il s'agit là, de granulats naturels par définition, mais très légers ; c'est-à-dire présentant une structure alvéolée.

Les granulats très légers naturels sont issus en général de roches d'origine volcanique ou sédimentaire subissant diverses transformations mécaniques.

Au terme de ces transformations (concassage et criblage) des gros blocs de roche (issus du dynamitage de la roche), on obtient des grains de différentes tailles.

### **I.3.1 la pouzzolane**

roche d'origine volcanique a structure alvéolaire de couleur brun-noir à rouge brique, Sa densité est un peu plus élevée que celle de la ponce, de l'ordre de 700 à 900  $\text{kg/m}^3$ , Les bétons confectionnés sont peu plus denses et plus résistants que les bétons de ponce. [5].



**Photo I.5:** pouzzolane

### **I.3.2 la ponce**

Lave volcanique de couleur gris clair rendue très légers par les nombreuses bulles, La ponce est utilisée dans les bétons de structure et d'isolation. Cependant sa faible masse volumique ( $MV = 910 \text{ kg/m}^3$ ) conduit à une faible résistance à la compression du béton [1].



**Photo I.6:** La ponce

### **I.3.3 Argile expansée**

L'argile expansée est produite en chauffant de l'argile naturelle à haute température, ce qui provoque son expansion. Elle est utilisée dans les mélanges de béton léger et comme isolant thermique et de masse volumique entre  $400$  à  $800 \text{ kg/m}^3$ .



**Photo I.7:** Argile expansée

### **I.3.4 Perlite expansée**

La perlite est un minéral volcanique expansé par la chaleur, utilisé comme granulat léger dans diverses applications de construction.

La perlite est riche en silice (70%), mais, elle est aussi constituée d'alumine (15%) [1]. Les mélanges de béton contenant seulement de la perlite ont des masses volumiques comprises entre 330 et 560 kg/m<sup>3</sup> et avec des résistances à la compression qui varient de 0,7 à 3,1 MPa.

En y ajoutant du sable, on peut obtenir des masses volumiques qui peuvent aller au-delà de 1000 kg/m<sup>3</sup> et accroître ainsi les résistances à la compression de 6,2 à 17,3 MPa [1].



**Photo I.8:** Perlite expansée

### **I.3.4 Vermiculite expansée**

La vermiculite est un minéral argileux expansé par la chaleur, utilisé comme granulats légers dans les mélanges de béton et d'enduit, ainsi que dans l'horticulture. Et de masse volumique entre 60 à 120 kg/m<sup>3</sup>.

Les bétons contenant les granulats de vermiculite ont une faible résistance à la compression allant de 0,5 à 1,5 MPa avec des masses volumiques de 350 à 600 kg/m<sup>3</sup> [1].



**Photo I.9:** Vermiculite expansée

### **I.3.4 Schiste expansé**

Le schiste expansé est un matériau léger fabriqué à partir de schiste naturel par traitement thermique de masse volumique entre 400 à 800 kg/m<sup>3</sup>, souvent utilisé comme granulats dans les bétons légers, Les bétons à base de schiste expansé ont les meilleures résistances à la compression d'où ils sont les plus utilisés dans les bétons de structures [1].



**Photo I.10:** Schiste expansée

## **I.4 Les granulats très légers artificiels**

Ce sont des granulats très légers d'origine minérale subissant des traitements thermiques pour donner la structure alvéolée (critère de légèreté). On parlera ainsi d'expansion.

### **I.4.1 Les billes de polystyrène expansée**

Qui permettent d'obtenir des bétons jusqu'à 10 fois moins denses que le béton traditionnel avec une masse volumique entre 30 et 40 kg/m<sup>3</sup>.



**Photo I.11** : Les billes de polystyrène expansée

### **I.4.2 Le laitier expansée**

Un sous-produit de la sidérurgie qui présente une masse volumique faible



**Photo I.12** Le laitier expansée

### **I.4.3 Perlite expansée (artificielle)**

En plus de la perlite naturelle, il existe également une perlite expansée artificielle produite à partir de matières premières similaires à la perlite naturelle. Elle est utilisée dans les applications de construction nécessitant un granulat léger sa masse volumique est comprise entre 90 à 100 kg/m<sup>3</sup>.



**Photo I.13** : Perlite expansée (artificielle)

### **I.4.4 Poudre de verre expansée**

La poudre de verre expansée est un matériau léger produit par l'expansion thermique de la poudre de verre. Elle est utilisée comme granulat léger dans les bétons légers et comme matériau de remplissage dans diverses applications.



**Photo I.14** : Poudre de verre expansée

## **I.5 Masses volumiques des granulats très légers**

La masse volumique des granulats très légers fait référence à la densité de matériaux granulaires utilisés dans la construction, caractérisés par leur faible poids spécifique. Ces granulats sont souvent fabriqués à partir de matériaux comme la perlite, la vermiculite, les billes

de polystyrène expansé ou d'autres matériaux similaires. Leur masse volumique est généralement inférieure à celle des granulats traditionnels comme le sable ou le gravier.

Cette caractéristique les rend précieux dans diverses applications de construction où la réduction de poids est cruciale, comme dans les bétons légers ou les isolants thermiques.

**Tableau I.1** : regroupements de quelques granulats très légers par leurs masses volumiques

Les granulats très légers	La masse volumique
Diatomite	200 à 300 kg/m <sup>3</sup>
Perlite	90 à 100 kg/m <sup>3</sup>
Vermiculite	60 à 120 kg/m <sup>3</sup>
Argile expansé	400 à 800 kg/m <sup>3</sup>
Schiste expansé	400 à 800 kg/m <sup>3</sup>
Copeaux de bois	100 kg/m <sup>3</sup>
Balle de riz	120 kg/m <sup>3</sup> en vrac non tassé 150 kg/m <sup>3</sup> en vrac tassé
Coque de noix de palme	560 kg/m <sup>3</sup>
Bille de polystyrène	30 et 40 kg/m <sup>3</sup>

## Partie II : Bétons à granulats très légers

### II.1 Définition

Le béton très léger est un type de béton qui se caractérise par une masse volumique inférieure à  $800 \text{ kg/m}^3$ . Il est également appelé béton allégé et est moins lourd que le béton ordinaire. Ce matériau composite est conçu pour être plus léger que le béton classique, ce qui le rend plus facile à manœuvrer et plus adapté à certaines applications spécifiques.



**Photo II.1** : Béton de bois



**Photo II.2** : Béton de polystyrène

### II.2 Composition

Le béton très léger est fabriqué en remplaçant les composants lourds du béton ordinaire par des éléments plus légers. Les granulats traditionnels sont remplacés par des billes de polystyrène, de la roche expansée, de la fibre de bois ou d'autres matériaux légers. Les professionnels ajoutent également des adjuvants pour créer des vides d'air à l'intérieur du béton, ce qui contribue à réduire son poids.

### II.3 Quelques Caractéristiques

Les bétons très légers présentent plusieurs caractéristiques distinctives :

#### II.3.1 Faible densité

La principale caractéristique des bétons très légers est leur faible densité, qui peut être jusqu'à cinq fois inférieure à celle des bétons conventionnels. Cela les rend particulièrement adaptés aux applications où le poids est un facteur critique.

### **II.3.1 Isolation thermique**

En raison de l'utilisation de matériaux légers et souvent isolants comme des agrégats expansés, de la perlite ou de la vermiculite, les bétons très légers offrent généralement de bonnes propriétés d'isolation thermique. Cela les rend appropriés pour des applications où le contrôle de la température est important.

### **II.3.2 Isolation acoustique**

En plus de l'isolation thermique, les bétons très légers peuvent également offrir des propriétés d'isolation acoustique, ce qui en fait un choix attrayant pour les applications où la réduction du bruit est nécessaire.

### **II.3.3 Résistance mécanique**

Bien que les bétons très légers aient une densité réduite, ils sont formulés pour maintenir une résistance mécanique adéquate pour les applications spécifiques. Cependant, leur résistance mécanique peut être inférieure à celle des bétons conventionnels, et des compromis peuvent être nécessaires en termes de conception et d'épaisseur.

### **II.3.4 Facilité de mise en œuvre**

En raison de leur poids réduit, les bétons très légers peuvent être plus faciles à manipuler et à transporter sur le chantier, ce qui peut réduire les coûts et le temps de construction.

### **II.3.5 Durabilité**

Les bétons très légers sont généralement formulés pour être durables et résistants aux conditions environnementales, bien que cela dépende également des matériaux spécifiques utilisés dans leur composition.

En résumé, les bétons très légers offrent une combinaison de faible poids, isolation thermique et acoustique, résistance mécanique adéquate et facilité de mise en œuvre, les rendant adaptés à diverses applications de construction où ces propriétés sont nécessaires.

## II.4 Quelques différences entre les bétons légers et très légers

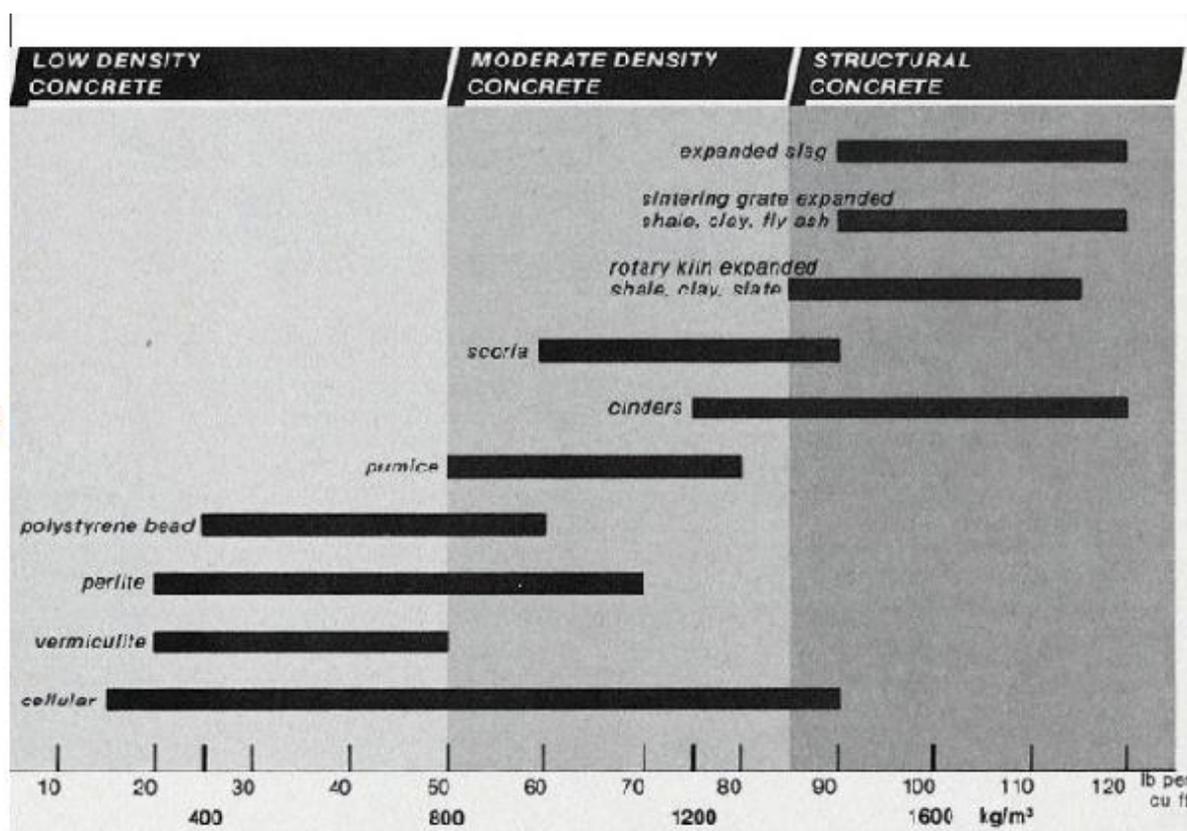
Le béton léger et le béton très léger sont deux types de béton qui se distinguent principalement par leur densité et leurs propriétés. Voici une comparaison entre les deux :

### II.1 Densité (masse volumique sèche )

Le béton léger a une densité généralement comprise entre 1600 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Le béton très léger a une densité inférieure à 800 kg/m<sup>3</sup>.

Nous présentons dans la figure II.2 suivante quelques exemples de bétons différents par leurs densités selon la norme américaine ACI ( American concrete institute )



**Figure II.1** : Masses volumiques sèches de bétons légers et très légers avec différents types de granulats légers (ACI 213 R-79 1981)

On constate que les bétons de billes de polystyrène, de perlite et de vermiculites peuvent être des bétons légers ( moderate density concrete ) ou très légers ( low density concrete ) avec une masse volumique sèche  $\leq 800 \text{ kg/m}^3$  . ce ci est probablement du aux taux granulats légers mis en œuvre.

## **II.2 Composition**

- Le béton léger utilise généralement des granulats légers, tels que des agrégats expansés ou des agrégats légers naturels, pour réduire la densité du mélange.
- Le béton très léger utilise des granulats très légers, comme des billes de polystyrène expansé, des billes de verre, des agrégats poreux, etc., pour obtenir une densité encore plus faible.

## **II.3 Résistance mécanique**

- Le béton léger a une résistance mécanique modérée, souvent utilisé dans des applications où une résistance relativement faible est acceptable mais où la légèreté est primordiale, comme dans les dalles de toit ou les éléments préfabriqués.
- Le béton très léger a une résistance mécanique plus faible en raison de sa densité extrêmement basse. Il est généralement utilisé dans des applications non structurales telles que l'isolation thermique, l'insonorisation et le remplissage léger.

## **II.4 Isolation**

- En raison de sa densité plus faible, le béton très léger offre une meilleure isolation thermique et acoustique par rapport au béton léger.

En résumé, le choix entre le béton léger et le béton très léger dépend des exigences spécifiques de chaque projet, en termes de résistance, de poids, d'isolation et d'autres caractéristiques techniques.

## **II.5 Applications**

- Le béton léger est souvent utilisé dans la construction de bâtiments, de ponts, de routes, d'éléments préfabriqués et d'autres structures où le poids est un facteur important mais où une certaine résistance est nécessaire.

- Le béton très léger est principalement utilisé pour l'isolation thermique et acoustique, le remplissage dans les structures légères, les éléments flottants dans la construction maritime, etc.
- Rénovation des planchers, dalles et murs.
- Remplissage des cloisons (murs).
- Combles.
- Toitures de terrasses.
- Chapes isolantes.

Pour les besoins de vulgarisation, nous avons mis au point une série imagée d'applications des bétons légers et très légers.

## Série imagée d'applications de bétons de granulats légers et très légers (Pour vulgarisation)



Blocs de béton de différents granulats légers et très légers



Chape en béton léger de polystyrène



Bloc de parpaing creux 25x50 en béton de granulats légers



Mur extérieur en bloc plein de béton de granulats légers



Dalle en béton de granulats de schiste expansé



Blocs en béton de granulats très légers de polystyrène



Béton de bois



Panneau de mur en béton de vermiculite  
(utilisé en rénovation)



Béton végétal de granulats de roseaux  
(utilisé en isolation et en rénovation)



Granulats de roseaux commercialisés en sacs prêts à l'emploi



Bloc alvéolaire de béton en pierre ponce et pouzzolane  
(Destiné à la réalisation de murs extérieurs de maisons individuelles)



Béton d'argile expansée  
(Pour revêtement de sols)

## **Chapitre III**

# **Etude de cas : Béton de liège**

## III.1 Introduction

Le travail présenté dans ce qui suit est un travail d'ordre expérimental réalisé sur un béton de liège intitulé « L'effet de la taille des granulats de liège sur les caractéristiques physico- mécaniques et thermiques d'un béton léger à base de sable calcaire » [26].

L'objectif était de déterminer le rôle de la taille des granulats légers de liège sur les principales caractéristiques d'un béton de sable calcaire. Les granulats de liège utilisés sont de classes granulaires 0/3, 3/8 et 8/15 mm.

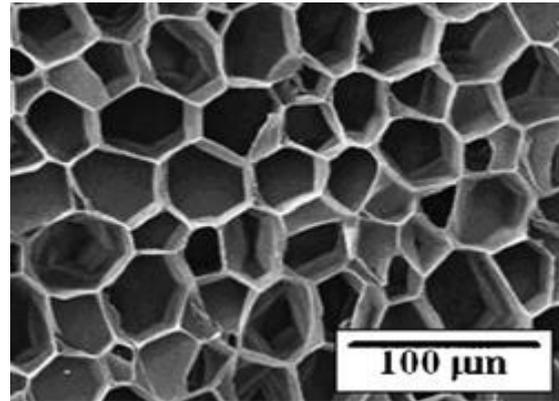
Ce travail entre dans le cadre de la valorisation des déchets et sous-produits industriels. Le liège tout particulièrement, trouve de nombreux domaines d'application en raison de son ensemble connu de propriétés, c'est un matériau très léger, élastique et souple, imperméable aux gaz et liquides, durable, bon isolant électrique, très bon isolant thermique, réduit le bruit et les vibrations.

Il s'agit de l'incorporation des granulats de liège dans une matrice cimentaire, en vue de l'utilisation du composite élaboré dans les éléments isolants porteurs et isolants. Le composite élaboré est un mortier à base de sable calcaire allégé par des granulats de liège. Dans un autre volet Il s'agit de voir l'influence de la taille des granulats de liège sur les propriétés à l'état durci tels que l'allègement, les résistances mécaniques en compression et en flexion, ainsi que les caractéristiques thermiques.

## III.2 Composants

Les ingrédients mis en œuvre pour l'élaboration de ce béton léger sont :

- **Un ciment** composé CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442 de la cimenterie Lafarge Algérie, de masse volumique apparente égale à  $1400 \text{ kg/m}^3$  et de masse volumique absolue égale à  $3100 \text{ kg/m}^3$ .
- **Un sable** de granularité 0/3 issu des déchets de concassage des gisements d'une roche calcaire possédant une masse volumique apparente égale à  $1530 \text{ kg/m}^3$  et de masse volumique absolue égale à  $2670 \text{ kg/m}^3$ .
- **Granulats de liège** expansés issus des déchets de l'industrie des panneaux de liège. Une vue au microscope d'un granulat de liège montre un état rugueux avec des ouvertures (Photo III .1). Cet état peut favoriser une bonne adhérence entre le grain de liège et la matrice. Une vue au microscope électronique montre que la structure cellulaire du liège est en forme de nid d'abeille (Photo III .2). Leurs caractéristiques physiques telles que définies par les prescriptions de la norme NF EN13055-1 sont notées ci-après :



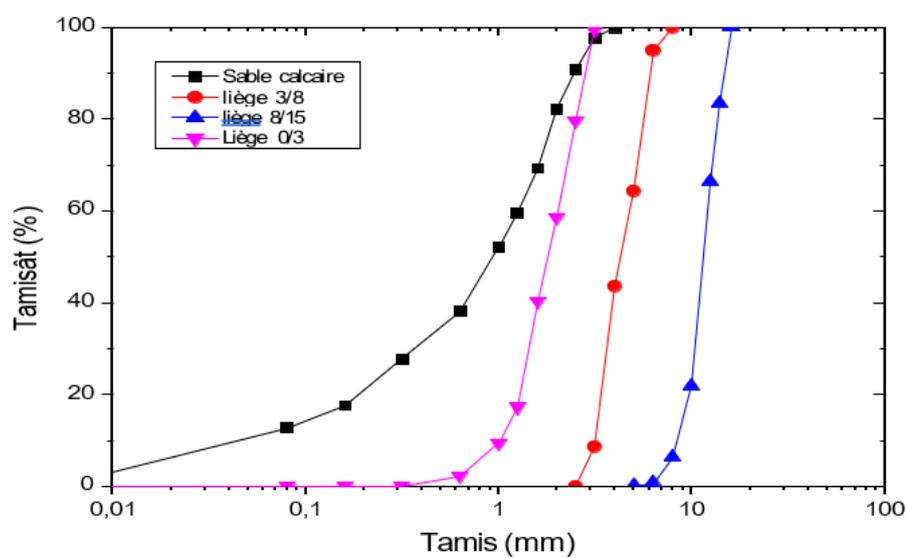
**Photo III.1** : Vue au microscope d'un granulats de liège 3/8. 40X

**Photo III.2** : Structure alvéole du liège

**Tableau III.1** Caractéristiques physiques des granulats de liège

Taille des granulats (mm)	Masse volumique sèche (kg/m <sup>3</sup> )	Masse volumique réelle (kg/m <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (kg/m <sup>3</sup> )	Porosité (%)
0/3	104.87	178.98	363.94	41
3/8	74.90	133.03	288.81	46
8/15	71.21	131.28	277.06	44

Les courbes granulométriques des granulats avec le sable (figure III.1) montrent une uniformité et une continuité dans l'intervalle 0/15.



**Figure III.1:** Courbe granulométrique du sable et des granulats de liège

## III.2 Formulation des bétons élaborés

Afin de voir l'influence du dosage en granulats ainsi que l'effet de taille des granulats sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques du béton élaboré, des séries d'échantillons pour les trois classes granulaires ont été réalisées, en commençant par un béton témoin correspondant à un dosage nul en granulats, puis, cinq séries d'échantillons correspondants respectivement aux dosages volumiques (Granulats /Matrice, G/M) de 20%, 30%, 40%, 50%, 60%.. Il faut noter que la méthode de substitution des granulats utilisés dans les séries consiste est une substitution volumique.

Le dosage en ciment utilisé est tel que  $C/S=1/3$ . Le dosage en eau a été déterminé à partir des essais d'optimisation sur le mortier témoin et  $E/C= 0.6$  a été adopté.

Afin de palier à la chute de maniabilité causé par un fort dosage en granulat, un super plastifiant SP40 est utilisé avec un dosage croissant de 0.5% pour le dosage le plus faible en granulats à 3% pour le dosage maximum. Les granulats sont pré-mouillés 48 heures dans l'eau afin d'éviter l'absorption d'une partie de l'eau de gâchage par les granulats de liège, puis ils sont égouttés sur tamis ou tissu absorbant pendant 4mn.

Les compositions en matériaux pour les différents mélanges sont présentées dans le tableau III.2.

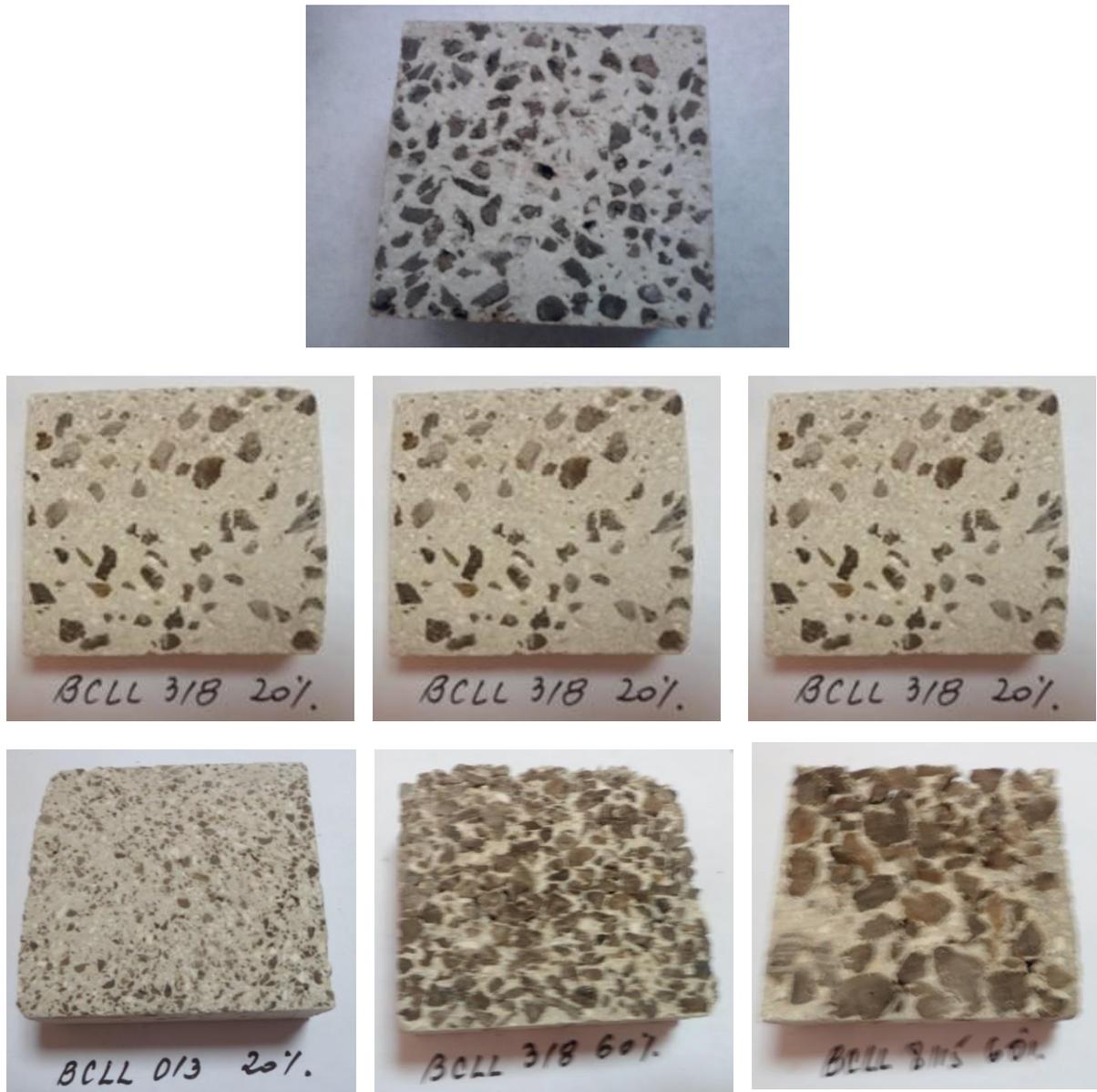
**Tableau III.2.** Composition pondérale en matériaux des bétons élaborés

Séries	G/M (%)	Granulats (kg )	Sable ( kg )	Ciment (kg )	Eau (litres)	Superplastifiant (kg)
<b>BCLL0</b>	0	0	1380	460	276	0
<b>BCLL20</b>	20	29,30	1098,4	366,12	219,67	1,83
<b>BCLL30</b>	30	43,95	961,07	320,35	192,21	3,20
<b>BCLL40</b>	40	58,60	823,77	274,60	164,75	4,12
<b>BCLL50</b>	50	73,25	686,48	228,82	137,29	4,58
<b>BCLL60</b>	60	87,90	549,18	183,06	109,83	4,58

**BCLL** : Béton Calcaire Léger de Liège

### Observations relatives à la répartition des granulats de liège dans la matrice cimentaire selon la taille et celles relatives à la liaison matrice-granulats

L'observation des coupes de certains échantillons avant écrasement a montré une bonne répartition des granulats dans les matrices (**Photo III .3**). Afin de bien voir la liaison matrice- granulats de liège des coupes d'échantillons ont été visionnées à l'aide d'un microscope Zeiss 80X avec un agrandissement 40X (**Photo III .4**). On peut voir que la liaison granulats-matrice est assez bonne, mais avec des zones de décollement des granulats de liège de la matrice.



**Photo III.3** : Répartition des granulats dans différentes matrices



**Photo III.4** : Liaison granulat- matrice X40

### III.3 Résultats et discussion

#### ▪ Densité des bétons élaborés

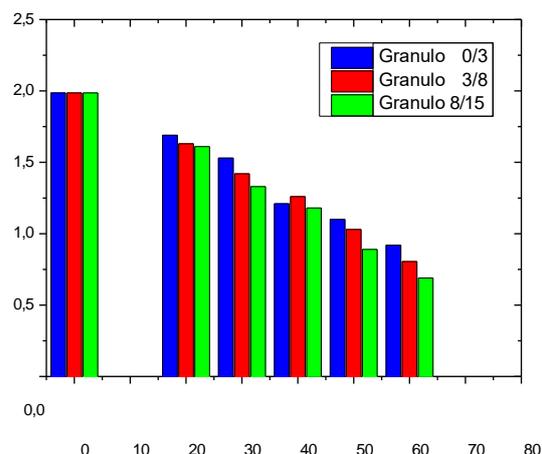
La variation de densité sèche des composites, en fonction de la teneur en granulats de liège et selon la classe granulaire sont donnée dans le tableau III.2 et représentés sur la figure III.2.

**Tableau III.3 :** Valeurs des densités des BCLL

Dosage	Classe 0/3	Classe 3/8	Classe 8/15
<b>0</b>	1,986	1,986	1,986
<b>20</b>	1,69	1,63	1,61
<b>30</b>	1,53	1,42	1,33
<b>40</b>	1,21	1,26	1,18
<b>50</b>	1,10	1,03	0,89
<b>60</b>	0,92	0,805	0,69

Elles montrent que la densité diminue en fonction du dosage. La densité atteint sa valeur minimale de **0.690** pour le dosage maximale de 60% avec une réduction de **65%** de la densité du BCLL0. Les BCLL8/15 présentent des faibles densités relativement à celles des BCLL0/3 et des BCLL3/8.

Cela est dû probablement à leur faible compacité liée à leur mauvaise maniabilité et à la grande porosité des granulats 8/15 par rapport à celle des 3/8 et 0/3. Plus la granulométrie des grains est grande et moins la densité est faible. Cette variation est observée pratiquement pour tous les bétons de granulats légers.



**Figure III.2 :** Densité des BCLL selon le dosage en liège

#### ▪ Conductivité thermique des bétons élaborés

Les valeurs des conductivités thermiques selon le dosage et la classe granulaire sont représentées sur le tableau III.3. Si on présente les variations des conductivités thermiques selon la granulométrie (figure III.3), on voit que les BCLL8/15 ont les valeurs des conductivités thermiques les plus faibles avec une valeur minimale de **0.1306 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>** avec un taux de réduction de **88%**, ensuite les BCLL 3/8 avec des conductivités plus grandes et les BCLL 0/3 ont les plus grandes conductivités thermiques.

Tableau III.4 : Conductivités thermiques des BCLL

Conductivité thermique (W/m.K)			
Dosage	Classe 0/3	Classe 3/8	Classe 8/15
0	1,1103	1,1103	1,1103
20	0,7313	0,6894	0,582
30	0,5649	0,5168	0,4519
40	0,4532	0,3912	0,316
50	0,3427	0,2348	0,2089
60	0,2638	0,1537	0,1306

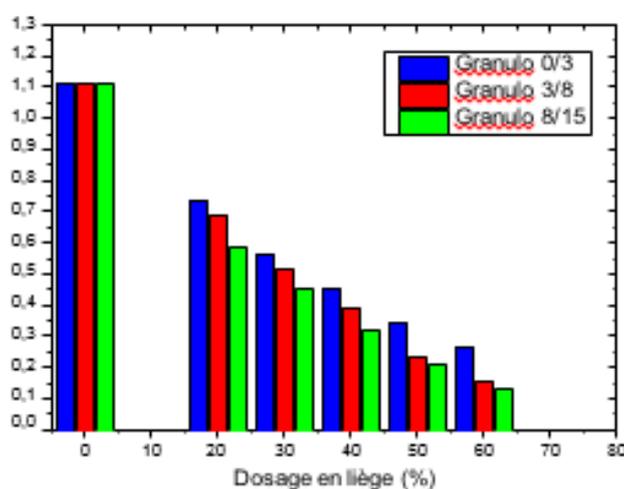
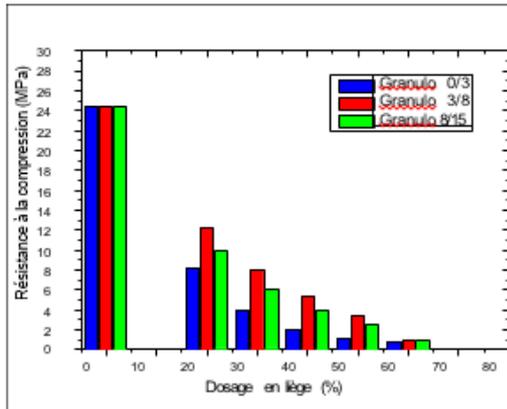


Figure III.3: Variation des conductivités thermiques des BCLL en fonction du dosage

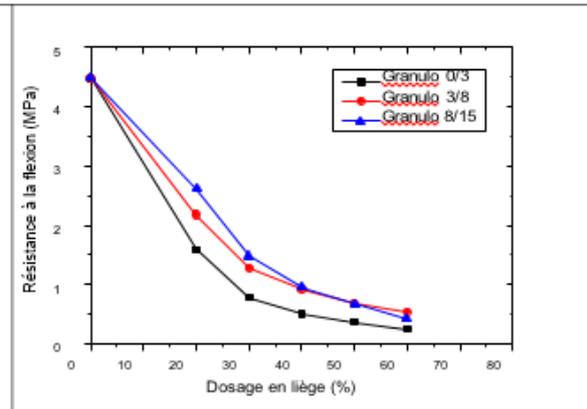
Plus les granulats sont de grande taille plus la conductivité thermique est faible. Cela s'explique par le fait d'une part que les plus gros granulats présentent des porosités plus grandes et d'autre part de la faible compacité des bétons élaborés avec des gros granulats.

### ▪ Résistance à la compression et à la flexion

Les valeurs des résistances à la compression des BCLL élaborés en fonction du dosage en granulats de liège et selon la granulométrie sont représentées dans la figure III.3. On voit bien que la résistance décroît en fonction du dosage et l'effet de taille est bien visible. La granulométrie 3/8 présente les meilleures résistances que celles des 0/3 ou 8/15. D'après la littérature, la résistance à la compression des bétons de granulats légers est inversement proportionnelle à la taille des granulats. Pour notre cas la résistance des BCLL3/8 est supérieure à celle des BCLL8/15 mais cette constatation n'est pas vérifiée pour les BCLL 0/3, ceci est due probablement à la quantité de particules fines dans les granulats 0/3.



**Figure III.4:** variation de la résistance à la compression



**Figure III.5:** variation de la résistance des BCLL en fonction du dosage

Les variations des résistances à la flexion des BCLL en fonction du dosage en granulats de liège et selon la granulométrie sont représentées sur la figure III.4. Identiquement à la résistance à la compression, la résistance à la flexion des BCLL diminue en fonction du dosage en granulats. Elle chute d'une valeur de 4.48 MPa pour le béton témoin à une valeur de 1.59 MPa pour les BCLL 0/3 avec un taux de réduction de 65% pour atteindre une valeur minimum de 0.14 MPa avec un taux de réduction de 97%.

La figure montre que les BCLL8/15 ont les meilleures résistances à la flexion par rapport aux BCLL3/8 et les BCLL0/3, mais à partir des dosages de 40% en liège on remarque que les BCLL3/8 ont un gain de résistance. Ceci est probablement dû à la compacité des BCLL8/15 pour les grands dosages.

## ▪ Conclusion

Le travail présenté concerne l'élaboration d'un nouveau composite cimentaire, à base de granulats de liège. L'examen du comportement physico-mécanique a montré un potentiel d'allègement du composite allant jusqu'à 65%. Malgré une baisse significative de la résistance à la compression, les valeurs restent compatibles avec l'utilisation du composite dans le domaine des bétons légers isolants de classe III (Classification européenne).

On signale aussi des qualités thermiques très performantes avec des conductivités thermique très faibles correspondantes à des taux d'amélioration du pouvoir isolant allant jusqu'à 88%. L'étude de l'effet de taille des granulats de liège a montré que la densité des BCLL décroît avec l'augmentation de la taille des granulats et que la conductivité thermique varie au sens inverse de la taille des granulats.

Les valeurs des résistances à la compression montrent que les BCLL3/8 sont les plus élevées avec un taux de réduction de 50% par rapport au béton témoin, puis les BCLL8/15 correspondant à 59% de réduction et enfin les BCLL0/3 ont les résistances les plus faibles avec un taux de réduction de 66%. Pour la résistance à la flexion les résultats montrent qu'elle diminue lorsque la granulométrie diminue.

**Remarque relative aux références bibliographiques utilisées dans ce travail**

*Elles sont au nombre de 15 plus deux normes européennes. La liste détaillée est disponible au niveau de la référence mère [26].*

**III.4 Commentaires sur cette étude de cas**

Les auteurs de ce travail ont élaboré des bétons légers avec des granulats de liège de classes 0/3, 3/8 et 8/15 mm et des taux de substitution de 0-20-30-40-50 et 60%. Ils ont ainsi obtenu 4 types de béton calcaire : Un béton témoin BCLL0 et 3 bétons légers BCLL 0/3 - BCLL 3/8 et BCLL8/15 dans lesquels ils ont incorporé les taux indiqués de granulats de liège. Ils ont ensuite déterminé expérimentalement leurs principales caractéristiques qui sont :

- La masse volumique pour examiner leurs allègements par rapport à un béton témoin ;
- Le gain en conductivité thermique ;
- La perte en résistances mécaniques de compression et de flexion.

Les principaux résultats pratiques obtenus de cette étude peuvent se résumer ainsi :

- ✓ La bonne répartition des granulats de liège dans la matrice cimentaire comme le montre la photo III.1 avec les différentes classes granulaires.
- ✓ La bonne liaison granulat de liège-matrice cimentaire vue au microscope (photo III.2).
- ✓ L'allègement des bétons élaborés pouvant aller jusqu'à 65% (cas du BCLL8/15) par rapport à la masse volumique du béton témoin.
- ✓ Les excellentes performances thermiques avec des coefficients de conductivités réduits jusqu'à 88%.
- ✓ Les résistances mécaniques ont par contre chuté avec l'incorporation des granulats de liège et ont perdu jusqu'à 66% par rapport au béton témoin sans liège.

**Avec cette étude il a été confirmé que les granulats légers peuvent être valorisés et peuvent trouver en Algérie notamment dans les régions chaudes du sud et dans certaines régions du nord comme c'est le cas de Guelma, des applications utiles pour contrer la chaleur dans les habitations qui ne nécessitent pas de grosses résistances mécaniques.**

**CONCLUSION GENERALE ET  
PERSPECTIVES D'AVENIR**

## Conclusion générale

Les objectifs principaux de notre travail, d'ordre bibliographique, étaient de recenser les différents granulats légers ( $M_v$  entre 800 et 2000  $\text{kg/m}^3$ ) et très légers ( $M_v \leq 800 \text{ kg/m}^3$ ) ainsi que les usages qu'on en fait dans le domaine de fabrication des bétons.

Il s'agissait également de faire le point sur les différents bétons de granulats légers BGL ( $M_v$  entre 800 et 2000  $\text{kg/m}^3$ ) et très légers BGTL ( $M_v \leq 800 \text{ kg/m}^3$ ), leurs formulations, leurs mises en œuvre, leurs propriétés et leurs domaines d'utilisation respectifs. Il s'agissait enfin de faire une séparation entre les BGL officiellement normalisés en terme de densité relative 800 - 2000  $\text{kg/m}^3$  et les BGTL qui ne sont pas normalisés.

Les résultats de cette étude nous permettent de faire les conclusions principales suivantes :

- Les granulats légers et très légers existent sous différents types :
  - Granulats légers naturels : ponce ou pouzzolane, matériaux volcaniques naturels de structures très poreuses ;
  - Granulats légers ayant subi un traitement thermique : granulats d'argile, de schiste, d'ardoise, de perlite expansée ou de vermiculites exfoliées ;
  - Les granulats légers de matériaux artificiels : le mâchefer, sous-produit de la combustion de charbon ou des ordures ménagères. Ce matériau est en très nette régression et on l'utilise que pour la fabrication de parpaings ;
  - Les granulats légers de matériaux artificiels ayant subi des traitements spéciaux : granulats de nombreux déchets industriels comme le laitier de haut fourneau que l'on peut élargir, Les cendres volantes que l'on peut fritter, le verre que l'on peut également élargir.
- Grâce à leur caractère de légèreté, ces bétons à sont plus faciles à manipuler et à déplacer, et sont aussi plus économiques par rapport aux bétons ordinaires.
- Les BGL et BGTL trouvent de nombreuses applications dans la construction d'ouvrages de génie civil. Les plus usuelles sont les blocs creux et pleins légers (et très légers), les chapes, les murs extérieurs isolants. Une série d'illustrations imagées sont présentées en fin du chapitre 2 de ce mémoire.

- Les bétons légers peuvent être utilisés dans les structures selon leurs masses volumiques apparentes comme suit :
  - Des bétons de remplissage, leur masse volumique apparente est comprise entre 300 et 1000 kg/m<sup>3</sup>, leurs résistances en compression sont souvent faibles et leurs caractéristiques thermiques sont bonnes ;
  - Des bétons porteurs isolants, leur masse volumique apparente est comprise entre 1000 et 1400 kg/m<sup>3</sup>, leurs résistances mécaniques sont nettement meilleures que celles des précédents et leurs caractéristiques thermiques sont acceptables. On les utilise généralement pour des éléments préfabriqués ;
  - Des bétons de structure, leur masse volumique est comprise entre 1400 et 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ils sont destinés à la constitution des structures grâce à leurs résistances mécaniques qui peuvent être du même ordre que celles des bétons ordinaires. Leur pouvoir isolant est relativement faible. Il peut être utilisé aussi pour la rénovation de plancher en bois ou en béton et le ragréage de sols et remblai.
- La lecture de la littérature du thème fait ressortir que l'interface autour des granulats légers est plus dense que celle autour des granulats de masse volumique normale du fait de leur plus grande absorption. L'absorption d'eau favorise une bonne adhérence pâte/granat. Dans l'étude de cas réalisé en chapitre 3 de ce mémoire, les auteurs ont pu constater cette bonne adhérence sur un béton de granulats de liège par microscopie.
- Avec des granulats très légers. Il est possible de fabriquer des BGL et des BGTL, ceci dépend du taux de granulats mis en œuvre. La normalisation américaine ACI a réalisé une norme sur certains granulats. Elle est reportée dans un diagramme du chapitre 2 de ce mémoire.
- Un glossaire en 3 langues comprenant près de 200 termes techniques relatifs à ce sujet a été mis au point et annexé au présent travail dans le but d'enrichir la terminologie en langue anglaise dont l'usage est prometteur dans les universités algériennes.
- Les BGL et les BGTL trouvent des applications encourageantes en matière de confort thermique. En effet leur coefficient de conductivité thermique ( $\lambda$ ) vaut en moyenne 0.10 W/m°K contre 1.75 W/m°K pour les bétons traditionnels.

## Perspectives d'avenir

Pour les perspectives d'avenir, une étude sur les bétons avec granulats légers locaux de toutes natures doit être envisagée afin d'élargir la gamme, de même qu'une campagne de vulgarisation sur ces composites doit être menée avec les pouvoirs publics afin d'encourager les gens pour leurs utilisations, surtout dans les régions chaudes de notre pays, Guelma y faisant partie. Nous pensons au béton de granulats de bois étant donné que 32 % de la région de Guelma est de nature forestière. Six (06) variétés d'arbres existent dans les proportions suivantes :

- Chêne liège : 18 485,05 ha.
- Eucalyptus: 3 530,00 ha.
- Chêne zeen ou chêne andalous : 2 201,00 ha.
- Pin d'Alep : 5 715,50 ha.
- Pin pignon ou pin parabole : 1 638,00 ha.
- Cyprès : 1 019,00 ha.

# Références

- [1] Mémoire de Génie Civil Biskra : « Formulation et caractérisation des bétons légers », 2010, réalisé par HERIHIRI Ouided.
- [2] Rapport d'études et recherches : Méthodologie de formulation des bétons auto plaçants légers, Septembre 2015, réalisé par Latifou BELLO.
- [3] Thèse de Doctorat Génie Civil Tizi-Ouzou : Caractérisation et modélisation des paramètres physico-hydro-mécaniques d'un béton léger à base granulats composites, 2014, réalisée par Mme. MOHELLEBI Samira née BOUAZIZ.
- [4] Livre : «Granulats et béton légers», 1986, Ecrit par M.Arnauld et M.Virlogeux, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.
- [5] Mémoire de Génie Civil Ain-Temouchent : Etude de l'influence des granulats pouzzolaniques sur les caractéristiques mécaniques des bétons légers, 2017-2018, réalisé par BENZINA Ahlem et HACHEM Nafissa.
- [6] KHELIFI Walid et BELOUETAR Redjem: «Influence de la nature des copeaux de bois sur les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons à base de copeaux de bois» . XX<sup>e</sup> rencontre universitaire. Chambéry (France) du 06 au 08 juin 2012.
- [7] Mémoire de Génie Civil Boumerdes : Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats obtenus par recyclage des boues de barrage, réalisé par AGOUMIMELCHA Ahmed et OUANNOUGHY Billal.
- [8] Mémoire de Génie Civil Quebec : Propriétés mécaniques et Durabilité d'un béton léger Applications en régions froides, 2013, Thomas Calais.
- [9] Site:«saint-astier», beton de pouzzolane , Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024, <<<https://www.saint-astier.com/app/uploads/2022/07/ASTIER-FS-BETON-POUZZOLANIQUE-07-2022.pdf>>>
- [10] Site: «WIKIPEDIA »,Pouzzolane, Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024, <<<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pouzzolane>>>
- [11] Yasmine Traore. Propriétés mécaniques d'un béton de granulats légers à base de coques de noix de palme traitées. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France.

- [12] Site: <<efisol.com >>, béton de perlite, Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024, <<  
www.efisol.com>>
- [13] Site:<<partuculiers.Soprema.fr>>, Béton de perlite, , Consulté En Ligne Le 04  
JUIN 2024, <<<https://partuculiers.soprema.fr/fr/product/isolation/planchers-et-combles/perlibeton>>>
- [14] Site:<< cifreobona >>, béton de diatomite , Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<<[https://www.cifreobona.fr/userfiles/file/PDF/4/144/266/10546/perlibeton\\_p.pdf](https://www.cifreobona.fr/userfiles/file/PDF/4/144/266/10546/perlibeton_p.pdf)>>
- [15] Site: << bati-zepros >>, béton de pierre ponce , Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<<<https://bati.zepros.fr/actus-metiers/bloc-pierre-ponce-solution-geo-sourcee-alternative-beton>>>
- [16] Site: <<biostart.eu>>, béton de pierre ponce, Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<https://www.biostart.eu/beton-pierre-ponce.html>
- [17] Site:<<braconnier.be>>, béton de vermiculite , Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<https://www.braconnier.be/Produits/Interieur/Isolation/Vermiculite2.php>
- [18] Site:<<braconnier.be>>, béton de vermiculite , Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<<<https://intheloop.fr/comment-faire-une-dalle-en-vermiculite/>>>
- [19] Site: <<techniques-inginieur.fr>>, béton de vermiculite , Consulté En Ligne Le 04 JUIN  
2024,<<<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-techniques-du-batiment-l-enveloppe-du-batiment-tiae2/archive-1/les-betons-speciaux-tba1022/les-betons-d-argile-expandees110054706.html>>>
- [20] article: Groupe Coopératif Matériaux, Envirobat-Méditerranée bloc béton d'argile  
expansée, V2 – décembre 2011  
[https://www.enviroboite.net/IMG/pdf/1112\\_bloc\\_beton\\_argile\\_bdm\\_v2.pdf](https://www.enviroboite.net/IMG/pdf/1112_bloc_beton_argile_bdm_v2.pdf)
- [21] Site:<<laterlite.fr>>, béton d'argile expansée, Consulté En Ligne Le 04 JUIN 2024,  
<<<https://www.laterlite.fr/qui-sommes-nous/granulats-legers-argile-expandee/utilisation/>>>
- [22] Site:<<slideshare.net>>, béton de copeaux de bois, Consulté En Ligne Le 04 JUIN  
2024, <<<https://fr.slideshare.net/kawthermouffak/beton-de-bois>>>

- [23] Yasmine TRAORE, Adamah MESSAN, François TSOBNANG, Jean GERARD, Colloque 01 Eco-matériaux, Influence du traitement des coques de noix de palme sur les propriétés physico-mécaniques des bétons légers, 24-28 novembre 2014, P: 04.
- [24] article: balle de riz, Utilisée pour réaliser des bétons isolants Liant chaux-ciment-plâtre, Pierre Dalot, 31 juillet 2015. P : 07.
- [25] Belaribi, N.-B., Semcha, M. et Laoufi, L. (2003). Influence de la pouzzolane de Beni-saf sur les caractéristiques mécaniques des bétons. Revue canadienne de génie civil , 30 (3), 580-584. <https://doi.org/10.1139/103-029>.
- [26] Conférence Séminaire International De Génie Civil Sur Les Matériaux Cimentaires, Ziregue Ahmed, ferhat ahmida, dhelly rose rare, michele Queneudec, <<SIGC2016>> At Oran , Algeria, Novembre 2018

# ANNEXE I

## GLOSSAIRE RELATIF AU BETON LEGER ET SES CONSTITUANTS

### GLOSSARY RELATING TO LIGHTWEIGHT CONCRETE AND ITS CONSTITUENTS

#### قائمة المصطلحات المتعلقة بالخرسانة الخفيفة ومكوناتها

<b>A</b>		
Argile expansée	Expanded clay	الطين الموسّع (المنفوخ)
Anguleux	Angular	شكل زاوي
Absorption d'eau	Water absorption	إمتصاص الماء
Argile	Clay	الطين
Ardoise	Slate	الأردواز
Acoustique	Acoustic	الصوت
Adjuvant	Admixture	مادة مساعدة
Air occlus	Entrapped air	الهواء العالق
Apparent	Apparent	الظاهري
Addition	Addition	الإضافة
Allègement	Lightening	التخفيف
Antigel	Frost-antifreeze	مانع للتجمد
<b>B</b>		
Béton léger	Lightweight concrete	الخرسانة الخفيفة
Béton ultra-léger	Ultra lightweight concretes	الخرسانة الخفيفة جدا
Béton cellulaire	Cellular concrete	الخرسانة الخلوية
Béton caverneux	Cavernous concrete	الخرسانة الكهفية
Béton à granulats légers	Lightweight aggregate concretes	خرسانة الحصى الخفيفة
Boue de barrage	Dam mud	واحل السد
Blocs de béton léger	Lightweight concrete blocks	كتل (حجر) من الخرسانة الخفيفة
Béton frais	Fresh concrete	الخرسانة الطرية
Béton durci	Hardened concrete	الخرسانة الصلبة
Billes de polystyrène	Polystyrene beads (balls, spheres)	خرز من البوليستيرين
Béton allégé	Lightened concrete	خرسانة مخففة
Basalte	Basalt	البازلت
<b>C</b>		
Caractérisation des bétons légers	Characterization of lightweight concretes	تحديد خواص الخرسانة الخفيفة
Caractéristiques thermiques des bétons légers	Thermal characteristics of lightweight concretes	تحديد الخواص الحرارية للخرسانة الخفيفة
Coque de noix de palmier	Palm nut shells	قشرة جوز النخيل
Carbone	Carbon	الفحم (الكربون)
Caractéristiques physiques	Physical characteristics (features)	الخصائص الفيزيائية
Caractéristiques géométriques	Geometrical characteristics	الخصائص الهندسية
Caractéristiques mécaniques	Mechanical characteristics	الخصائص الميكانيكية
Cendre volante	Fly ash	الرماد المتطاير
Concassage	Crushing	تكسير
Criblage	Screening	غربلة
Composants-Constituants	Components	مكونات
Conductivité thermique	Thermal conductivity	التوصيل الحراري
Calcaire	Limestone	الحجر الجيري
<b>D</b>		
Dégagement de gaz	Gas release	تصريف الغاز
Diatomite	Diatomite	دياتومييت
Densité	Density	كثافة
Déchets industriels	Industrial wastes	نفايات صناعية
Déchet	Waste	نفايات
Durabilité	Durability	ديمومة

**E**

Eco-matériaux	Eco-material	مواد بيئية
Eco-béton	Eco-concrete	خرسانة بيئية
Expansion	Expansion	توسّع
Ecologique	Eco-friendly	مواد صديقة للبيئة
Eau de gâchage	Mixing water	ماء المزيج أو الخليط
Environnement	Environment	البيئة
Enrobé	Coating	تغليف -أسفلت-
Eprouvette	Specimen	عينة
Elasticité	Elasticity	مرونة
Elastomère	Elastomer – Rubber –	المطاط الصناعي -إلاستومر-
Etanchéité	Seal	كتامة
Enduit	Coating	تغليف

**F**

Formulation des bétons légers	Lightweight concrete formulation	تشكيل الخرسانة الخفيفة
Fabrication	Manufacture	صناعة - إنتاج
Frittage	Sintering	تلبيد
Fibre	Fiber	ألياف
Fines	Fines	جسيمات رقيقة
Fumée de silice	Silica fume	رماد السيليكا
Faible poids	Low weight	وزن منخفض
Fluage	Creep	تشوّه متغيّر تحت قوة ثابتة
Force de rupture	Breaking force	قوة الكسر
Fragilité des bétons légers	Lightweight concrete brittleness	هشاشة الخرسانة

**G**

Granulats légers	Lightweight aggregates	حصى خفيف
Granulats légers recyclés	Recycled lightweight aggregates	إعادة تدوير الحصى الخفيف
Granulats de bois	Wood aggregates	حصى من خشب
Granulats de liège	Cork aggregates (granules)	حصى من فلين
Granulats de roseaux	Reeds aggregates	حصى من قصب
Gravillons	Gravel	حصى
Granulats de caoutchouc	Rubber granulates (aggregates)	حصى (حبيبات) من مطاط
Granulats de pouzzolane	Pozzolan aggregates	حصى من البزولان
Granulats de diatomite	Diatomite aggregates	حصى من الدياتوميت
Granulats de perlite	Perlite aggregates	حصى من البيرليت
Grès	Sandstone	حجر رملي

**H**

Hydrofuge	Water-repellent	مقاوم (مطارد) للماء
Hydrate	Hydrate	هيدرات
Hourdi	Slab	بلاط
Homogénéité	Homogeneity	تجانس
Humidité	Moisture	رطوبة
Hydratation	Hydration	تميه
Hydrophobe	Hydrophobic	لا تمتص الماء
Hybride	Hybrid	مختلط
Hygrométrie	Hygrometry	الرطوبة النسبية
Hydrique	Hydral	مائي

**I**

Isolation thermique	Thermal insulation	عزل حراري
Isolation phonique	Sound insulation	عزل صوتي
Impact environnemental	Environmental impact	أثر بيئي
Ignifuge	Flam retardant (Fireproof)	مضاد للحريق
Innovant (matériau)	Innovative	مادة مبتكرة
Indice	Index	مؤشر
Insertion	Insertion	إدماج
Incorporation des granulats légers	Incorporation	إدراج - دمج -
Indicateur	Indicator	مؤشر
Immersion	Immersion	إغراق

<b>J</b>		
Joint		رابط
Jeune âge (Résistance)		سن مبكر (مقاومة)
<b>K</b>		
Kaolin	Kaolin	الطين الأبيض
Kaolinite	Kaolinite	الكولين
<b>L</b>		
Laitier expansé	Expanded slag	خبث موسّع
Laitier de hauts fourneaux	Blast furnace slag	خبث الأفران العالية
Légèreté	Lightening	خفة
Liège	Cork	فلين
Liant hydraulique	Hydraulic binder	رابط مائي
Livraison du béton léger	Lightweight concrete delivery	تسليم الخرسانة الخفيفة
Limite d'élasticité	Yield strength	حد الخضوع
Liaison	Binding	علاقة
Latex	Latex	مطاط - لاتكس -
Laitance	Milt	الهلأم
<b>M</b>		
Masse volumique sèche	Dry density	كتلة حجمية جافة
Mise en œuvre	Implementation	تنفيذ
Matériaux volcaniques	Volcanic materials	مواد بركانية
Mâchefer	Clinker	كلنكر
Minéral	Mineral (Inorganic)	معديني
Malaxage	Mix	خلط
Masse volumique apparente	Bulk density	كتلة حجمية ظاهرية
Masse volumique en vrac	Loose bulk density	كتلة حجمية سائبة
Masse volumique réelle	True density	كتلة حجمية حقيقية
Masse volumique absolue	Absolute density	كتلة حجمية مطلقة
Matière première	Raw material	مادة أولية
Mortier	Mortar	ملاط
Maniabilité	Workability	قابلية التشغيل
<b>N</b>		
Norme	Norm	معيّار
Nanomatériau	Nano-material	مواد متناهية الصغر
Nominal	Rated	إسمي
<b>O</b>		
Oxyde ferrique	Ferric oxide	أكسيد الحديد
Ouvrabilité	Workability	قابلية التشغيل
Organique (matériau)	Organic	عضوي
Ouvrages	Constructions	منشآت
Oxydation	Oxidation	أكسدة
<b>P</b>		
Polystyrène expansée	Expanded polystyrene	بولستيران موسّع
Perlite	Perlite	البيرلايت
Propriétés des bétons légers	Lightweight concrete properties	خواص الخرسانة الخفيفة
Pouzzolane	Pozzolan	البوزولان
Porosité	Porosity	مسامية
Pierre ponce	Pumice stone	حجر الخفان (الخفاف)
Performance	Performance	أداء
Plasticité	Plasticity	لدونة
Pate de ciment	Cement paste	عجينة إسمنتية
Plastifiant	Plasticizer	ملدن
Prise et durcissement	Setting and hardening	أخذ وتصلب
Préfabrication	Prefabrication	مسبق الصنع
<b>Q</b>		
Qualité du béton léger	Lightweight concrete quality	نوعية الخرسانة الخفيفة
Qualification du béton léger	Lightweight concrete qualification	تأهيل الخرسانة الخفيفة

## R

Résistance au feu	Fire resistance	المقاومة ضد النار
Recyclage des déchets	Recycling waste	إعادة تأهيل النفايات
Rugueux	Rough	خشن -كث-
Roseaux	Reeds	القصب
Roche	Rock	صخر
Rapport eau/ciment	Water/cement ratio	نسبة ماء/إسمنت
Rhéologie	Rheology	ريولوجيا
Recyclable	Recycled	قابل لإعادة التأهيل
Rénovation	Renovation	ترميم
Remplissage	Filling	ملاً
Retrait de séchage	Drying shrinkage	تقلص بسبب تجفيف
Résine	Resin	راتنج

## S

Structure poreuse	Porous structure	هيكل مسامي
Structure alvéolaire	Alveolar	هيكل مقبسي
Schiste	Schist	صخرة ذات هيكل ورقي أو شبيست
Sable	Sand	رمل
Sciure de bois	Sawdust	نشارة الخشب
Schiste expansé	Expanded schist	شبيست موسع
Soufre	Sulfur	كبريت
Silice	Silica	سيلিকা
Superplastifiant	Superplasticizer	ملدّن مقوى
Structure légère	Light structure	هيكل خفيف
Stabilisation	Stabilization	استقرار
Séchage	Drying	تجفيف
Substitution	Substitution	استبدال

## T

Teneur en eau	Water content	المحتوى المائي
Teneur en humidité	Moisture content	محتوى الرطوبة
Traitement des granulats légers	Treated lightweight aggregates	تكرير الحصى الفيف
Texture	Texture	نسيج
Traction	Tensile	شد
Taux de substitution	Substitution rate	نسبة الاستبدال

## U

Utilisation des bétons légers	Use of lightweight concretes	استعمال الخرسانة الخفيفة
Ultrafines	Ultrafines	بالغة الصغر
Usure	Wear	استعمال
Ultime	Ultimate	الأخير -النهائي-
Ultrason	Ultrasound	فوق الصوتي
Uniforme	Uniform	متناسق -موحد-
Unité	Unit	وحدة
Usage	Use	استغلال

## V

Vermiculite	Vermiculite	فرميكوليت
Valorisation	Valorization	تثمين
Vibration	Vibration	اهتزاز
Viscosité	Viscosity	لزوجة
Variations dimensionnelles	Dimensional variations	تغيرات بعدية
Vide interstitiel	Interstitial void	فراغ بين حبيبات
Volume absolu	Absolute volume	حجم مطلق
Végétal (matériau d'origine ...)	Plant	مادة من نوع نباتي
Verre	Glass	زجاج

## ANNEXE II

### LISTE DES QUELQUES FOURNISSEURS DES GRANULATS LEGERS EN ALGERIE

**Date**

08/08/2023 13:07:39

**Référence**

Pouzzolane roche volcanique

**Description**

La pouzzolane est une roche d'origine volcanique à structure alvéolaire. C'est un granulat, de rougeâtre à brun, qui provient de plusieurs carrières en exploitation notamment dans le Massif central. Mise en oeuvre La pouzzolane est couramment utilisée avec de la chaux pour réaliser des dalles isolantes ou dans des bétons légers. Exemple d'utilisation: sols sur terre-plein. Composition principale Pouzzolane Caractéristiques de l'isolant Conductivité thermique (A): 0.1 à 0,2 W/(m.K) Épaisseur d'isolant pour R= 5: 50 à 100 cm Déphasage (pour épaisseur donnant un R = 5): 30 à 50 h Caractéristiques techniques Chaleur spécifique (c): 1000 J/(kg.K) Masse volumique apparente (p): 650 à 1000 kg/m<sup>2</sup>.

**Contact & Coordonnés**

Blida - Guerrouaou  
dinagardenblida@gmail.com

**Date**

06/05/2024 21:10:51

**Description**

Disponible granulats et poudrette de caoutchouc. متوفر بودرات كويتشون

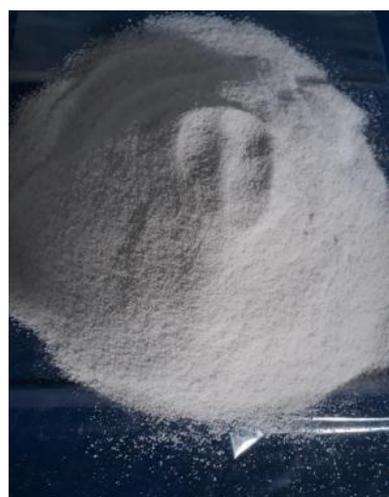
**Contact & Coordonnés**

EURL GOMME FLEX

Alger - Alger Centre

**WHATSAPP**

0552183012



PERLITE EXPANSSE

Khemis el khechna, 35 il y a 6 mois  
tel:0540370768

**Date**

29/01/2024 06:58:25

**Description**

La perlite se fabrique à partir d'une roche volcanique. Elle est légère, incombustible, isolant et hydrophile; utilisée en jardinage pour drainer et aérer le sol, alléger les substrats et faciliter l'enracinement principalement utilisée en mélange avec les substrats de base, à hauteur de 20 à 50 %. Disponible en sacs de 10 litres ou plus

**Contact & Coordonnés**

pepedar

Sétif - Ain Lahdjar

0775961666

lahcenhaddar@gmail.com



Ciment Béton Classe A Cendres volantes 4 oz,  
Béton Minéral Poudre, laitier Poudre, S9 ...  
DZD 10543

French Edition Biswaroop Ghosh Voir  
l'original

Granulés de cendres volantes (French  
Edition) Paperback – 31 octobre 2022



Ain bessem, 10 il y a 29 jours

Tél: 0656860642



**Liège Plaques** فلين فرنان

1 DA

**Date**

08/06/2024 10:03:13

**Description**

Bonne qualité

**Contact & Coordonnés**

Akerabill

Sétif - El Eulma



Bille En Polystyrène

100 DA

Draria, 16 il y a environ 7 heures

200 DA

200DA

Livraison disponible

**PERLITE CONSTRUCT**  
Construction / Renovation / Isolation

**TAOUAB** FABRICATION PLAQUE DE PLÂTRE ET DÉMÈS DE PLÂTRE

**TAOUAB PT 16**  
Mélange à projeter pour murs et plafonds

Domaine d'application:

- Bétons légers
- Mortier léger
- Isolation murs et chapes

Un matériau isolant de qualité grâce:

- Sa légèreté.
- Ses propriétés thermiques.
- Incinérable.
- Écologique.
- Imputrescible.
- Durable dans le temps.

PERLITE EXPANSÉE

Préparation facile  
Facilité d'application  
Rendement important  
Surface lisse et blanche

L'applique à l'aide de machine à projection.

**Date**

08/06/2024 09:46:31

**Contact & Coordonnés**

Alger - Dar El Beida

0558765278

hamizetanche@gmail.com

Kouba, 16 il y a 2 mois



**Date**

18/12/2018 22:49:57

**Description**

Copeaux de bois, Sacs de 50kg sec très bonne qualité

**Contact & Coordonnés**

Ighitdahmane

Béjaïa - Toudj