

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie civil et Hydraulique

Référence :...../ 2020



جامعة محمد خيضر - بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية والري

المرجع: / 2020

Mémoire de Master

2^{ème} année

Option : matériaux de génie civil

THEME

Etude des caractéristiques physiques et
mécaniques et thermiques des différents
types des bétons légers

Etudiant:

•ababsa imen

Encadreur:

• Mr.ABDELAZIZ Salim

Années universitaire : 2019/2020

Remerciement

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr. ABDELAZIZ SALIM**, Je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, ses meilleurs conseils et sa rigueur durant mon préparation de ce mémoire.

Je remercie par la même occasion le nombres des jurys de m'avoir fait honneur en acceptant de juger mon travail.

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont aidés et soutenue pour finir ce travail

ababsa imen

Dédicace

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et

Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié

Pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi

Mon cher père abdelrazek

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma
vie et mon bonheur ; maman que j'adore fatma*

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous :

Mes frères : bilel, salah,

Ma sœur : meriem,djihen

Mes chères amies : khawla, zahra, aida , ,

A Tous ma famille

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit
possible,*

Je vous dis merci.

ababsa imen

Résumé

Ce mémoire est consacré à l'étude des performances mécaniques et thermiques des bétons légers. L'utilisation des granulats légers inférieure à 1200 kg/m³ dans le béton donne une faible masse volumique qui contribue à l'isolation thermique.

Dans cette étude, nous avons formulé des trois types de béton léger et bétons légers à base des granulats légers (polystyrène, liège), béton caverneux 2 pourcentage de sable et béton cellulaire pour contribuer à l'isolation thermique et la réduction de la consommation des granulats traditionnels..

Les résultats de l'étude ont montré que l'allègement des bétons par incorporation des granulats légers est accompagné par une réduction de résistance mécanique, ceci est dû la fragilité des granulats légers et leurs pouvoirs d'absorption plus élevé que le gravier.

La diminution de la quantité de sable dans le béton ça change leur résistance mécanique.

ملخص

هذه المذكرة هي تكريس لدراسة الأداء الميكانيكي و الحراري للخرسانة خفيفة الوزن, استعمال الركام الخفيف الأقل من 1200 كغ/م³ في الخرسانة يعطي كتلة حجميه ضعيفة حيث تساهم في العزل الحراري.

في هذه الدراسة قمنا بعمل الخرسانة الخفيفة التي أساسها الركام الخفيف البولسترين و الفلين والخرسانة الكهفية مع كميتان من الرمل والخرسانة الهوائية, من اجل المساهمة في العزل الحراري و التقليل من استهلاك الركام التقليدي

أظهرت نتائج الدراسة أن تفتيح الخرسانة عن طريق دمج المجاميع الضوئية يرافقه انخفاض في القوة الميكانيكية ويرجع ذلك إلى هشاشة مجاميع الضوء وقدرات امتصاصها اعلي من الحصى.

النقص في كمية الرمل في الخرسانة يغير من القوة الميكانيكية.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
RESUME.....	II
TABLE DES MATIERES.....	III
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES PHOTOS.....	XIV
INTRODUCTION GENERALE.....	XVI
CHAPITRE 1 : BETONS LEGERS ET GRANULATS LEGERS.	
INTRODUCTION.....	1
1-1-LE BETON LEGERS.....	1
1-2- TYPES ET CLASSIFICATION DES BETONS LEGERS	4
1-2-1- Le béton cellulaire	4
1-2-1-1 la composition.....	
I-2-1-2-Fabrication.....	3
I-2-1-3-Propriétés.....	3
I-2-1-4-Utilisation.....	4
I-2-1-5- Avantages et inconvénients	4
I-2-1-5-1- Avantages.....	4
I-2-1-5-2-Inconvénients.....	5
1-2-2- Le béton caverneux	5
I-2-2- 1-Composition.....	5
I-2-2- 2: Fabrication.....	5
I-2-2-3- Propriétés.....	6
I-2-2-4-Utilisation.....	6
I-2-2-5- Avantages et les inconvénients.....	7
I-2-2-5-1-Avantages.....	7
I-2-2-5-2- Inconvénients.....	7
1-2-3- Les bétons de granulats légers	7

I-2-3-1-Composition.....	8
I-2-3-2- Caractéristiques et propriété.....	8
I-2-3-3-Utilisations.....	9
1-3- GRANULATS LEGERS	10
1-3-1- Granulat naturels	11
1-3-2- Granulats artificiels	11
1-4- LA FORMULATION	10
1-4-1- Nature de l'ouvrage	11
1-4-1-1- Le béton léger structure	11
1-4-1-2- Le béton léger architectural	12
1-4-2- Le dosage	12
1-4-2-1- Les Principes de dosage	12
1-4-2-2- Les méthodes de dosage	12
1-5- PROPRIETES DES BETONS LEGERS.....	13
1-5-1- La masse volumique	13
1-5-2- La durabilité	13
1-5-3- La rhéologie à l'état frais	13
1-5-4- Les propriétés mécaniques.....	13
1-5-4-1-Résistance en compression.....	13
1-5-4-2-Résistance à la traction	14
1-5-5-Les propriétés thermiques	15
1-6- DOMAINE D'UTILISATION	15
1-6-1- Des bétons d'isolation pure, non porteurs	15
1-6-2- Des bétons porteurs et isolants.....	15
1-6-3- Des bétons légers de structure	15
1-7- LES AVANTAGES DES BETONS LEGERS	16
1-7-1- Avantages techniques	16
1-7-2-Avantages de Mises En Œuvre	16
1-7-3- Avantages Economiques	16
CONCLUSION.....	17

CHAPITRE 2 : MATERIAUX ETUDIES ET METHODES EXPERIMENTALES

INTRODUCTION.....	18
--------------------------	-----------

II-1- les matériaux étudiés.....	18
II-1-1- Ciment	18
II-1-1-1- Ciment utilisé "CIMENT PORTLAND COMPOSE CPJ-CEM-II / A 42.5 "18	
. II-1-1-2- Caractéristiques Physico-mécaniques	18
II-1-2-Sable	19
II-1-2-1-Masse volumique.....	19
II-1-2-2-Analyse granulométrique.....	19
II-1-2-3- Equivalent de Sable.....	20
II-1-2-4- Absorption d'eau.....	21
II-1-3-Granulats	21
II-1-3-1-Granulat naturel	22
II-1-3-1-1- la masse volumique de gravier 7/15 ain touta.....	23
II-1-3-1-2- Analyse granulométrique.....	23
II-1-3-1-3 Essais de Los Angeles.....	24
II-1-3-2-1-Liège	25
II-1-3-2-2polystyrène.....	25
II-1-3-2-3-la Masse volumique des granulats légers.....	26
II-1-3-4- Absorption d'eau.....	27
II-2 Descriptions des essais au laboratoire	27
II-2-1 Formulations des bétons légers	27
II-2-1-1 Méthode de Scramtaïv.....	28
II-2-1-3 Le calcul des quantités de béton.....	29
II-3-PREPARATION DES EPROUVETTES	30
II-3-1-Mélange de béton.....	30
II-3-2-Remplissage et vibration.....	30
II-3-3-Type d'éprouvette.....	30
II-3-PROGRAMME DES ESSAIS.....	31

II-3-1- Essais à l'état frais.....	31
II-3-1-1-Ouvrabilité	31
II-3-2- Essais à l'état durci.....	32
II-3-2-1- la masse volumique apparente par pesée hydrostatique.....	32
II-3-2-2 la porosité.....	33
II-3-2-3-Résistance à la compression.....	33
II-3-2-4-Mesures de la résistance à la flexion.....	34
Conclusion.....	35

CHAPITRE 3 : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

INTRODUCTION.....	36
III-1-CONSISTANCE DES BETONS FRAIS.....	36
III-1-1-Affaissement des bétons de polystyrène, liège ,caverneux , cillulaire	36
III-2-PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES BÉTONS DURCIS.....	37
III-2-1- Absorption d'eau pendant la phase de la cure	37
III-2-2-Masse volumique (pesé hydraustatique).....	39
III-2-3 la porosité NF EN.....	40
III-2-RESISTANCE A LA COMPRESSION.....	41
III-3-RESISTANCE A LA FLEXION	42
Conclusion général.....	43

La Liste des figures

- **Figure I-1 : Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après [SHINK.M ,2003].....2**
- **Figure I-2: Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton. [JOHN.L, 1993].....8**
- **Figure I-3 : Relation entre la résistance en compression à 28j et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers [THOMAS. C, 2013].....14**
- **Figure II-1 : Le sable 0/5 de Ain baage.....19**
- **Figure II.2 :l'analyse granulométrique de sable 0/5 de ain baage...20**
- **Figure II-3: Courbe granulométrique du sable 0/5.....20**
- **Figure II.4 essais de l'équivalente de sable.....21**
- **Figure II-5 : granulat naturel (gravier) 7/15 ain touta.....22**
- **Figure II-6 :l'analyse granulométrique de gravier 7/15 de ain_touta.....23**
- **figure II-7 : la courbe logarithmique de gravier.....23**
- **Figure II-8 : L'essai de Los-Angeles.....24**
- **Figure II-9- Structure et composition du liège[Cantat, R., Piazzettar.2005].....24**
- **Figure II-10-la structure chimique de polystyrène.....25**
- **Figure II-11 : la masse volumique apparente de granulats légers...26**
- **Figure II-12 : moule pour éprouvette.....32**
- **Figure II-13 : moule pour éprouvette cubique (10*10*10 cm prismatique (10-10-40).....32**
- **Figure II-14 : moule pour éprouvette (27-13-4).....33**
- **Figure II-15 : Essai d'affaissement « Slump-test ».....33**
- **Figure II-16 : Essai de la pesée hydrostatique.....35**
- **Figure II-17 : Machine de l'essai de la compression.....36**
- **Figure II-18 éprouvette cubique (10*10*10cm).....36**
- **Figure II-19 : Machine de l'essai de flexion.....37**
- **Figure II-20 : L'éprouvette après la rupture du béton.....37**
- **Figure III-1 : Valeur d'affaissement pour tous les différents mélanges de béton.....39**
- **Figure III.02 : L'absorption d'eau du type de béton.....40**
- **Figure III-03 : masse volumique des bétons en Kg/m3.....41**

- **Figure III-4 : la résistance à la compression à 7 jours44**
- **Figure III-5 : la résistance à la flexion à 7jours45**

La liste des tableaux

- **Tableau 1-1 : Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87 [SHINK.M ,2003].....9**
- **Tableau 1-2 : Classification des bétons légers en fonction de la densité] NEVILLE A., 2000].....9**
- **Tableau 1-3: Classification des bétons légers en Fonction de la Densité [G. DREUX & J. FESTA ,1998].....10]**
- **Tableau II-1: composition chimique et minéralogique du ciment utilisé [FICHE TECHNIQUE].....18**
- **Tableau II-2: la masse volumique de ciment de ain touta.....19**
- **Tableau II-3: la masse volumique de sable 0/5 de ain baage.....20**
- **Tableau II-4: résultats d'équivalent de sable.....22**
- **Tableau II-5: Absorption d'eau de sable.....22**
- **Tableau II-6: la masse volumique de gravier 7/15 ain touta.....23**
- **Tableau II-7: la masse volumique de granulats légers.....26**
- **TableauII-8: Résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés.....27**
- **Tableau II-9: Résultats d'absorption d'eau en fonction de temps...27**
- **Tableau II -10 : Méthode de calcul des quantités de matériau (méthode de Scramtaïv).....28**
- **Tableau II-11 : valeurs de α en fonction: $\frac{E}{C}$29**
- **Tableau II-12: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (liège).....31**
- **Tableau II-13: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (le polystyrène).....31**

- **Tableau II-14: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (béton caverneux)32**
- **Tableau III-1 : Valeur d'affaissement pour tous les différents mélanges de béton38**
- **Tableau III-02 : l'absorption d'eau par l'éprouvette.....40**
- **Tableau III-03 : la masse volumique des bétons en Kg/m³.....43**
- **Tableau III-04 : la porosité des bétons en %.....44**
- **Tableau III-5: Résistances à la compression des bétons.....45**
- **Tableau III-6: Résistances à la flexion des bétons.....46**

Introduction générale

Les bétons légers connus dans le monde depuis près d'un siècle, connaissent un regain d'intérêt, qui semble tout à fait mérité en raison de leurs propriétés physiques et thermiques très intéressantes.

La masse volumique du béton ordinaire varie de 2200 à 2500 Kg/m³ tandis que celle du béton léger varie entre 300 et 2000 Kg/m³. L'utilisation d'un béton de masse volumique faible contribue à la réduction du poids des éléments construits avec ce béton et par la suite des dimensions des éléments porteurs, aboutissant à la réduction des efforts transmis au sol par les fondations, et par conséquent les dimensions de cette dernière; ce qui permet la construction sur des sols de faible capacité portante.

Les bétons légers ont une faible conductivité thermique. Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique dans les bâtiments.

Les bétons légers sont obtenue par incorporation d'aire ; trois types des bétons légers sont classé distingués selon la façon dont l'air est introduit dans le béton ; lorsque l'air est incorporé dans la pâte de ciment le béton est qualifié dans (le béton cellulaire) ; lorsqu'il vient remplacer les granulats fines entre les gros granulats le béton est qualifié dans (le béton caverneux) est enfin lorsque les granulats sont eux-mêmes allèges le béton est qualifié dans (le béton de granulats léger) .

C'est les trois catégories que nous allons nous intéressé dans ce travail.

L'utilisation des granulats légers contribue à diminuer les volumes de granulats en fin de vie des ouvrages grâce à l'optimisation des structures porteuses résultant de l'allègement des structures.

- L'objectif de ce travail est:
- analyser l'influence des propriétés des les trois types de béton légers (cellulaire (poudre d'aluminium), caverneux (sans sable et avec 20% de sable) et de granulats légers (polystyrène, liège)) sur le comportement mécanique et physique et thermique des bétons légers en suivant une approche expérimentale.
- Formulation des différents types des bétons légers.
- Comparaison entre les types de béton léger .
- L'Analyse du le comportement mécanique et thermique des bétons légers.
- Dans ce contexte, ce mémoire s'articule autour de deux parties :

- La première partie (**chapitre I**) est consacrée à une synthèse bibliographique sur les bétons légers et ses 3 types
- La deuxième partie (**chapitre II.III**) est une partie expérimentale consacrée au travail effectué
- **Chapitre II** les matériaux utilisés et les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués.
- **Chapitre III** contient les résultats de l'étude : caractérisation physique et mécanique et des différents bétons, ainsi que l'analyse et la discussion de ces résultats.

Une conclusion générale dressant un bilan des résultats obtenus et quelques perspectives compléteront ce manuscrit.



CHAPITRE I:
Partie bibliographique
(le béton léger).



INTRODUCTION :

La masse volumique des bétons fabriqués avec des granulats rigides, d'ordinaire comprise entre 2200 et 2600 kg/m^3 , est peu influencée par le type et la proportion volumique des granulats utilisés. En effet, la densité des granulats rigides varie peu et est du même ordre de grandeur que celle des mortiers. Par conséquent, le poids propre des éléments fabriqués avec un tel matériau est élevé et représente une grande partie de la charge morte sur les structures. Les bétons de granulats légers, d'une masse volumique de 1500 à 1900 kg/m^3 , ont une résistance comparable aux bétons de granulats rigides tout en étant de 25 à 35 % plus légers. Ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies. En effet, la réduction de la charge morte sur les structures permet entre autres d'utiliser des portées plus longues ou de diminuer les sections des éléments porteurs, de réduire la quantité d'acier d'armature et même les dimensions des fondations. Utilisés en préfabrication, les bétons légers permettent aussi de diminuer les coûts de transport et d'installation [1].

I-1-LE BETON LEGERS :

Les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique apparente est inférieure à 1800 kg/m^3 (Cormon, 1973). Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique apparente faible comprise entre 400 et 1800 kg/m^3 , comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2500 kg/m^3 [Cormon, 1973].

Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux développés par des ingénieurs. Ses caractéristiques spécifiques, suggèrent de nouvelles applications architecturales. Ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet, la masse volumique d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 kg/m^3 , [2].

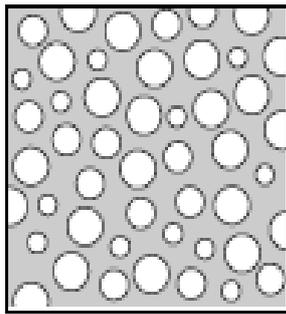
D'après ce que nous avons vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 kg/m^3 .

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m^3 , [2].

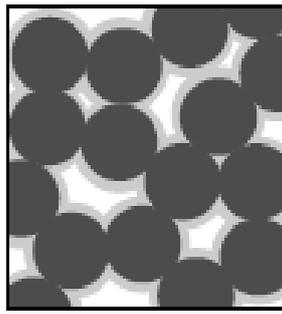
Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles applications, ce qui le distingue du béton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

I-2- TYPES ET CLASSIFICATION DES BETONS LEGERS :

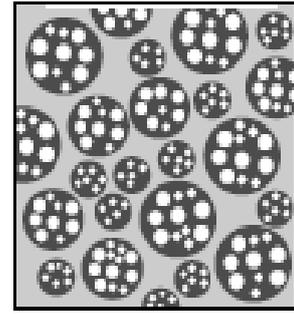
On diminue la masse volumique du béton en remplaçant une certaine quantité de matériau solide par de l'air. Les trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton sont : dans la matrice (béton cellulaire), entre les gros granulats (béton caverneux ou sans fines, c.-a-d. sans sable) et dans les granulats (béton de granulats légers). Figure 1.1 illustre ces trois types de béton [1].



Béton cellulaire



Béton caverneux



Béton de granulats légers

Figure 1-1 : Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après [SHINK. M , 2003].

I-2-1- Le béton cellulaire :

Le béton cellulaire est issu de longues recherches, entamées il ya plus de 150 ans. A cette époque, Zernike étudie des mortiers à base de chaux vive et de sable portés à haute température [4].

Les résistances et le module d'élasticité augmentent en fonction de l'augmentation de la masse volumique du béton .En conséquence, il est possible d'obtenir une masse volumique souhaitée pour une résistance spécifique. Il est à noter que la résistance en flexion peut être améliorée par l'ajout d'armature ou de microfibras, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge. [2].

Le béton léger « cellulaire » ou « aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau malléable, léger, durable et relativement résistant. Ce sont toutes des propriétés que les auteurs Agustín et al. (1990) démontrent comme étant des propriétés à rechercher pour l'habitation à faible coût. Le béton cellulaire non traité à l'autoclave, nécessite peu d'outillage spécialisé et peut être assemblé sans trop de machinerie. [1].

Les bétons cellulaires ont généralement une masse volumique et une résistance à la compression extrêmement faibles. L'utilisation la plus courante des bétons cellulaires se limite au béton de remplissage dans des murs, plafonds, planchers ou comme matériaux de remblai [2].

I-2-1-1-Composition :

Les matières premières principales pour la fabrication du béton cellulaire sont le sable, la chaux, le ciment et l'eau. Toutes ces matières premières sont présentes en abondance dans la nature. En moyenne, la proportion de matières premières utilisées lors de la fabrication est la suivante :

- Environ **65 %** de sable de quartz siliceux
- Environ **20 %** de ciment.
- Environ **15 %** de chaux.
- **0,05 %** d'agent d'expansion.
- Environ **1 %** de gypse.
- Eau. [5]

Les pourcentages varient légèrement, mais de façon précise, en fonction de la masse volumique souhaitée. Au final, le béton cellulaire est constitué d'environ 80 % d'air et 20 % de matière.

I-2-1-2-Fabrication :

Les produits en béton cellulaire sont exclusivement fabriqués en usine. Les unités de production sont automatisées. Tout est contrôlé en permanence, depuis l'entrée des matières premières jusqu'à la sortie des éléments sur des palettes prêtes à être expédiées. Ce procédé garantit la qualité et la constance du produit.

Les produits en béton cellulaire sont classés en deux catégories principales :

- Les blocs, destinés à la maçonnerie (construction d'habitations, petits collectifs, par exemple).
- Les éléments armés tels que dalles de plancher, toitures, bardages, etc., destinés essentiellement à la construction de bâtiments industriels. [5]

I-2-1-3-Propriétés :

- **Un matériau non polluant** : la fabrication du béton cellulaire ne libère aucun produit Polluant, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans la terre. De plus, grâce à un recyclage à chaque phase de la fabrication, il n'y a pas de gaspillage de ressources (matières premières, eau, énergie).
- **Un matériau moderne** : la fabrication du béton cellulaire est industrialisée et permet la production d'un matériau de construction fini aux dimensions précises, aisé à mettre en œuvre.
- **Un matériau léger, solide et isolant** : le béton cellulaire est rempli d'une multitude de bulles d'air emprisonnées dans des cellules qui lui confèrent légèreté, pouvoir

d'isolation thermique et acoustique, ainsi qu'une solidité permettant la réalisation de construction d'une grande diversité.

- **Un matériau isotrope** : les propriétés physiques et mécaniques du matériau sont conservées quelles que soient l'orientation ou les découpes faites sur le produit. Ainsi l'homogénéité de la structure est parfaite.
- **Conductivité thermique** : la conductivité thermique augmente avec l'augmentation du contenu d'humidité. La quantité des pores et sa distribution sont aussi des facteurs qui influent sur l'isolation thermique du béton cellulaire. [5]

I-2-1-4-Utilisation :

Pour les blocs non armés : murs porteurs, cloisons non porteuses, murs de refend, cloisons Coupe-feu et tous les petits travaux d'aménagement ou de réhabilitation.

Pour les éléments armés : le bardage, le bardage coupe-feu, les toitures, les planchers, les murs en maison individuelle. [5]

I-2-1-5-Avantages et inconvénients :

I-2-1-5-1- Avantages :

- Le béton cellulaire est avant tout un matériau de construction léger. Cela est pratique autant pendant le processus de fabrication que pour le transport et la mise en œuvre. En effet, le béton cellulaire procure une manipulation facile.
- Le béton cellulaire est aussi un isolant de première qualité. Cette propriété, il la doit sa structure qui emprisonne l'air. Par ailleurs, les microcellules d'air sont réparties de façon très homogène, de ce fait le béton cellulaire présente un doublage isolant. Pour info, le coefficient de conductivité thermique du béton cellulaire est très intéressant pour rendre moindre l'impact des variations de température entre l'extérieur et l'intérieur.
- Le béton cellulaire est également facile à découper grâce à sa légèreté, une simple scie manuelle suffit. Il est aussi facile à mettre en œuvre, en plus, on peut réutiliser les chutes. Par ailleurs, son utilisation ne requiert que peu d'eau. Il suffit seulement d'un joint mince pour l'appareillage des blocs.
- Le mode de fabrication du béton cellulaire est aussi écologique du fait qu'aucune substance liquide ou solide n'est rejetée lors du processus. Il n'y a aucun risque donc de polluer ni les eaux ni les sols. En parlant encore de mode de fabrication, il faut savoir qu'il ne requiert que peu d'énergie et en plus, il est possible d'en recycler une partie.
- La pose du béton cellulaire est aussi facile et rapide. Ainsi il est possible de travailler 3 m² par heure pour un mur de 20 cm d'épaisseur en procédant à un assemblage à base de mortier-colle.
- Le béton cellulaire n'attire pas les rongeurs et les insectes.
- Le béton cellulaire est par ailleurs un matériau de construction incombustible.

I-2-1-5-2-Inconvénients :

- Le béton cellulaire est plus exposé aux fissures. Ce qui le désavantage par rapport aux parpaings et aux briques qui peuvent être également utilisés pour construire des murs extérieurs d'une maison.
- Le béton cellulaire est aussi très friable. De ce fait, il nécessite l'emploi de cheville de fixation ainsi que de scellement renforcé. En plus, les systèmes de fixation doivent être uniquement des produits spécial béton cellulaire.
- Le béton cellulaire serait aussi, d'après quelques études, un facteur de risque de quelques cas de cancers ainsi que de maladie d'Alzheimer. En effet, il est tout à fait possible qu'on inhale les poussières du béton cellulaire dégagées par ce matériau de construction.
- Le béton cellulaire présente également une isolation phonique insuffisante et il est parfois imperméable à la vapeur d'eau. Les constructions en béton cellulaire sont souvent exposées aux remontées capillaires. [5]

I-2-2- Le béton caverneux

Le béton caverneux ou béton drainant est un béton de ciment à structure ouverte permettant l'infiltration de l'eau de pluie. Le nom de ce béton provient des vides qu'il contient et qui ressemblent à des cavernes. Ces vides ont une ouverture allant de 10 à 30 mm [6]

I-2-2- 1Composition :

Le béton caverneux est composé de ciment, de granulats grossiers et de l'eau avec peu ou pas de granulats fins. L'addition d'une petite quantité de sable peut augmenter la résistance mécanique du béton. La pâte est en sous dosage par rapport au volume de vide du squelette granulaire, mais suffisante pour assurer l'adhésion des granulats entre eux [7]

I-2-2- 2: Fabrication :

Gâcher en bétonnière, ou « malaxeur-transporteur » de chape pneumatique :

- Mettre un ou plusieurs sacs entiers dans la bétonnière (sans dépasser 60 de sa capacité) ;
- Ajouter graduellement, bétonnière en marche env. 3 litres d'eau pour chaque sac ;
- Gâcher pendant env. 3 minutes jusqu'à obtenir un mélange homogène avec les grains gris brillant, bien recouverts de coulis de ciment.

L'emploi de « malaxeur-transporteur » demande de majorer la quantité d'eau en fonction de la distance de pompage. [8]

I-2-2-3- Propriétés :

- **À séchage rapide** : Il se mélange à une quantité d'eau minimale et sèche rapidement, même pour des épaisseurs importantes, grâce à sa structure ouverte et à sa formule à base d'argile expansée hydrophobe Laterlite Plus.
- **La densité** : entre 500 et 600 Kg/m³
- **La porosité** : entre 15 et 25 % du volume
- **une forte perméabilité** : sa perméabilité à l'eau sous une charge de 10 cm d'eau est supérieure à 5 litres par mètre carré par seconde
- **L'affaissement** au cône d'Abrams nul.
- **Super léger** : Il pèse 600 kg/m³ environ en oeuvre, 3 fois moins que les chapes traditionnelles ou fluides et 4 fois moins qu'un béton structural. Il réduit les charges permanentes et est particulièrement indiqué pour la rénovation de planchers, de voûtes ou de toitures existantes ou en zone sismique afin d'éviter des surcharges.
- ***Isolant** : 10 fois plus isolant que les solutions traditionnelles ($\lambda = 0,134$ W/mK), il intègre ou remplace l'isolation de toitures terrasses ou en pente, de planchers et de voûtes et réduit les ponts thermiques. Il améliore l'isolation phonique grâce à sa structure poreuse.
- **Conductivité thermique** : **0,134 W/mK**
- **Résistant stable et durable** : Il est résistant à la compression (2,5 MPa), stable, indéformable et maintient ses propriétés intactes dans le temps. C'est le support idéal pour les couches de finition supérieures.
- **Incombustible et résistant au feu** : 100 minéral, il est incombustible (Euroclasse A1), résistant au feu et sûr, même en cas d'incendie.
- **Drainant** : Il est extrêmement perméable à l'eau et peut être utilisé comme support, remplissage ou lestage drainant, en toiture ou sur le sol. [8]

I-2-2-4-Utilisation :

En raison de sa grande perméabilité à l'eau, le béton caverneux est utilisé comme matériau pour le pavage des routes résidentielles et piétonnes, des parkings, des trottoirs et des serres [9]

I-2-2-5- Avantages et les inconvénients :

I-2-2-5-1-Avantages :

- **Sécurité** : -les risques d'inondation sont évités
-les chutes cassées par une glissade sur l'eau sont supprimées

-les effets d'éblouissements sont réduits, plutôt pratique quand on doit rentrer sa
-voiture au garage par temps de pluie.

- **Economique** : Puisqu'il laisse passer l'eau, le béton drainant permet le réapprovisionnement des nappes phréatiques. Fini le ruissellement à la surface de votre terrasse ou aux abords de votre piscine. Le cycle de l'eau est respecté et contribue à la bonne hydratation de vos terres. Par ailleurs, ce système permet de désengorger les réseaux d'égouts de votre ville
- **Confort** : Grâce à sa perméabilité élevée, dites au revoir aux flaques d'eau en surface ! Le béton drainant a des avantages lorsqu'il pleut, mais également lors de fortes chaleurs : grâce à une ventilation naturelle, la température du sol diminue ce qui vous permet de vous balader pieds nus même sous un soleil de plomb.
- **Résistance** : Puisqu'il s'agit de béton, le revêtement est résistant et durable dans le temps.
- **Personnalisable** : Vous bénéficiez d'un large choix de couleurs et de finitions : le béton drainant est donc personnalisable jusqu'au choix du joint de dilatation que vous voulez installer et qui vous permet de décorer votre revêtement. [10]

I-2-2-5-2- Inconvénients :

Les principales limitations du béton caverneux sont :

- Dans le cas de fuite de substances nocives pour l'environnement, ils peuvent le traverser et atteindre le sol
- Les pores peuvent être bouchés par de l'argile ou par d'autres matières.
- Les performances mécaniques sont généralement plus faibles que ceux d'un béton normal. [11]

I-2-3- Les bétons de granulats légers :

Les bétons de granulats légers sont fabriqués comme les bétons courants, mais avec des granulats légers. Il existe en effet de nombreuse variété de bétons de granulats légers que l'on peut classer de différentes façons. Common propose une classification basée sur l'origine des granulats et on peut ainsi distinguer quatre grands groupes. [B. BENKHALFA, 1988] [12]

C'est un béton léger contenant un pourcentage volumique important de granulats légers induisant une masse volumique inférieure à celle d'un béton normal. [13]

La masse volumique de ce type de béton est comprises entre 800 – 2100 kg/m³[14]

I-2-3-1-Composition :

Les bétons de granulats légers sont fabriqués avec des granulats à faible masse volumique tel que l'argile expansée, le schiste expansé, le laitier expansé, la pierre ponce, le polystyrène expansé, le liège ou la vermiculite. Les granulats légers absorbent une grande quantité d'eau, ce qui constitue une grande difficulté du point de vue de la plasticité et de l'ouvrabilité des bétons. Le dosage en eau est donc un problème et ne peut pas être pris à la légère. [15]

I-2-3-2- Caractéristiques et propriété :

- **Résistances** : La résistance des bétons de granulats légers en compression est inférieure à celle des bétons classiques réalisés avec des granulats denses. Cette résistance décroît proportionnellement avec la densité du béton. Cependant, avec de bons granulats et du sable naturel ainsi qu'une augmentation du dosage du ciment, des résistances de même catégorie que ceux des bétons peuvent être atteints. La résistance en traction est également plus faible.
- **Ouvrabilité** : L'ouvrabilité est également difficile, toujours à cause des granulats qui absorbent l'eau. Pour y remédier, on peut avoir recours à certains adjuvants comme les entraîneurs d'air ou les plastifiants.
- **Fluage** : Leur déformation instantanée est le double des bétons courants.
- **Retrait** : Leur retrait est plus important mais est également plus tardif du fait de la déshydratation des mortiers qui est retardée par les granulats absorbant l'eau.
- **Conductivité thermique** : C'est l'atout majeur des bétons de granulats légers. En effet, par la présence des bulles d'air intercalées dans l'épaisseur du béton, le béton de granulats légers est un excellent isolant thermique mais également un bon isolant acoustique [16]

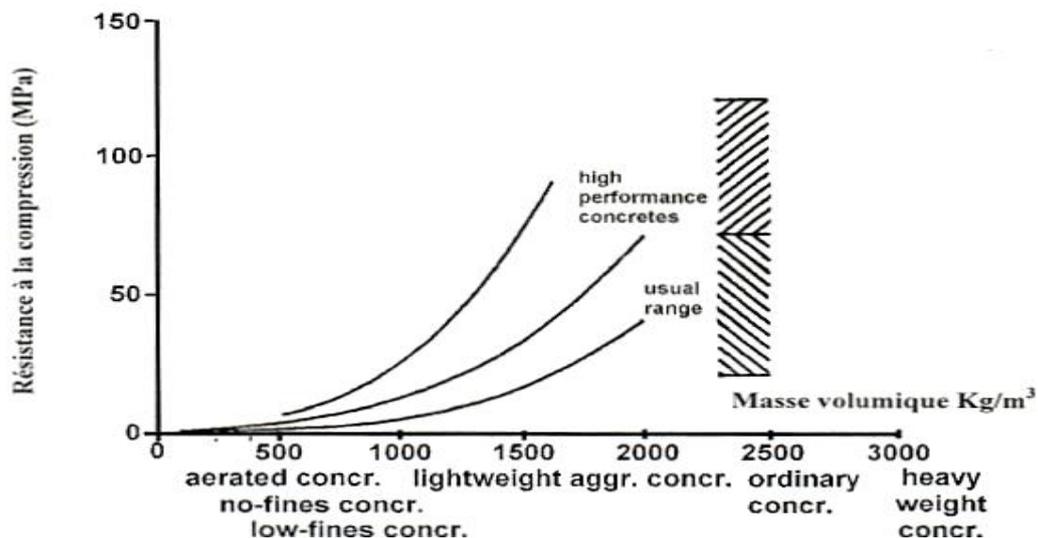


Figure 1-2: Variation de la résistance en fonction de masse volumique du béton. [JOHN.L.]

[17]

Chapitre I : le béton léger

L'augmentation du volume d'air, ou des vides, s'accompagne d'une diminution de la résistance du matériau. Le guide **ACI 213R-87** distingue alors trois catégories de béton léger, classées selon la masse volumique du matériau durci (tableau 1.1) [1].

Tableau 1-1 : Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87 [SHINK. M, 2003].

Classification	ρ_b (kg/m ³)	f'_c (MPa)
Bétons légers de structure	1350 - 1900	> 17
Bétons légers de résistance modérée	800 - 1350	7 - 17
Bétons de faible densité	300 - 800	< 7

- **Les bétons légers de structure** : utilisés pour la fabrication d'éléments porteurs, sont généralement fabriqués avec des granulats légers, La résistance à la compression minimale recommandée par l'ACI est 17 MPa à 28 jours.
- **Les bétons légers de la résistance modérée** : La résistance à la compression maximale recommandée par l'ACI est 7 MPa à 28 jours.
- **Les bétons légers de faible densité** : sont fabriqués avec des granulats ultra légers et très poreux, La résistance à la compression minimale recommandée par l'ACI est entre 7 et 17 MPa à 28 jours.

La norme EN 206 classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes, fonction de leur masse en Kg/m³. [18]

Tableau 1-2 : Classification des bétons légers en fonction de la densité [3]

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

La nouvelle version de la norme EN 206 classe les bétons suivant les fourchettes de masse volumiques indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1-3: Classification des bétons légers en Fonction de la Densité [G. DREUX & J. FESTA, 1998]

Classe de						

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

I-2-3-3-Utilisations :

Du fait de leur faible résistance en compression, ils sont généralement utilisés pour la fabrication des agglomérés, des bétons isolants (toiture, planché, etc.), des bétons banchés non porteurs ou des bétons dont les charges ne sont pas considérables.

Néanmoins, la principale utilisation de ce type de béton est sans conteste la préfabrication dans la mesure où il offre un gain conséquent en termes de poids.

Pour des bétons de vermiculite qui ont de meilleures résistances, la construction des poteaux, des poutres et des dalles mais également de tous les ouvrages où le béton est essentiel peut être envisagée.

Les bétons de granulats légers sont utilisés pour alléger des structures telles que les tabliers de pont, pour réparer des murs ou pour isoler thermiquement des bâtiments. [19]

I-3- GRANULATS LEGERS :

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

Les granulats légers se différencient des autres granulats par leur faible masse volumique. Celle-ci est inférieure à 1200 kg/m³, tandis que celle de la pierre naturelle est de 2700 kg/m³. L'écart de masse volumique s'explique par la porosité élevée du granulat ϕ_g , c'est-à-dire une importante proportion volumique de vides d'air contenus dans le granulat. Cet air sera appelé : air intra-particule.

$$\phi_g = \frac{V_{\text{capillaires}}}{V_{\text{granulat}}}$$

Avec

$V_{\text{capillaires}}$: volume des vides contenus dans le granulat (m³)

V_{granulat} : volume total occupé par le granulat (m³) [20]

Les granulats légers sont caractérisés par une structure poreuse, il existe dans le monde d'origine naturelle ou artificielle et ayant subi ou non des transformations. Leur utilisation dans le béton a pour but de diminuer de façon plus ou moins importante, selon le granulat léger choisi, la masse volumique. Par contre, cette réduction de la masse volumique a pour conséquence de diminuer la résistance à la compression.

I-3-1- Granulat naturels :

Certaines roches, comme la pierre ponce, ont à l'état naturel des densités faibles (inférieures à 2) ; en les concassant, on obtient donc des granulats légers. Il existe également d'autres matériaux naturels dans certains pays qui peuvent être utilisés comme granulats légers pour des utilisations locales. La figure 1-3 présente quelques exemples de granulats naturels

I-3-2- Granulat artificielle :

Des granulats légers peuvent être également produits artificiellement, soit à partir de matières premières naturelles comme l'argile, le schiste, l'ardoise, ou des matières spéciales dans certaines régions, comme la vase à Taiwan et NYT (napolitain Yalow tuff) en Italie, soit à partir de sous-produits industriels comme les laitiers, les cendres volantes frittées ou encore l'EPS (polystyrène expansé)

I-4- LA FORMULATION :

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

- 1) définir la nature de l'ouvrage.
 - 2) établir les propriétés du béton en fonction de la nature de l'ouvrage,
 - 3) établir le dosage des constituants permettant ainsi d'atteindre les propriétés recherchées.
- Quoique ces étapes soient claires, aucune méthode de formulation ne permet d'obtenir directement par analyse et manipulation algébrique une formulation finale. La méthode choisie permet simplement d'établir une formulation de départ, pouvant convenir aux propriétés recherchées, et devra être optimisée par essai en laboratoire [2]

I-4-1- Nature de l'ouvrage :

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

- 1) le béton léger structural.
- 2) le béton léger architectural. [2].

I-4-1-1- Le béton léger structural :

L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 15 MPa dont la masse volumique est inférieure à 1850 kg/m³ [2].

Le béton léger structural est utilisé pour répondre à des exigences structurales spécifiques. Ainsi, on utilise du béton léger lorsque la capacité portante du sol ne permet pas l'érection d'une structure conventionnelle ; pour construire un bâtiment de grande hauteur pour lequel la

diminution de poids est particulièrement intéressante compte tenu de la capacité portante du sol ; pour construire des plates-formes de forage dont la diminution de masse facilite le transport dans les zones à faible tirant d'eau.

Règle générale, cette réduction de poids peut entraîner des économies substantielles dans la réalisation d'ouvrage [2].

I-4-1-2- Le béton léger architectural :

Tout comme pour le béton léger structural, L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP) définit un béton léger architectural comme étant un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours comprise entre 0,7 et 7 MPa et dont la masse volumique varie entre 240 à 1440 kg/m³. [2]. On peut obtenir un béton de masse volumique aussi faible de trois façons :

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

I-4-2- Le dosage :

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

Cependant, ce dosage n'est pas aléatoire puisque l'obtention des qualités recherchées repose sur des principes (qualité de la pâte, type de granulat, rhéologie, etc.). Une fois ces principes établis, on peut identifier la méthode de dosage qui correspond le mieux aux matériaux utilisés et aux conditions d'application [2].

I-4-2-1- Les Principes de dosage :

Le principe de dosage d'un béton repose sur des concepts fondamentaux reliés au comportement du béton à l'état frais et durci. L'étude sommaire de ces concepts va permettre, d'une part, de mieux comprendre les mécanismes du comportement interne du béton et d'autre part, aider à la compréhension des concepts menant à la formulation d'un béton léger durable. On peut, a priori, admettre que le béton est constitué essentiellement de deux phases : la pâte de ciment hydraté et les granulats [2]. Les propriétés du béton varient essentiellement en fonction des matériaux utilisés et de leur dosage. Les principes de dosage font référence à quatre principaux facteurs :

- la qualité de la pâte de ciment hydraté.
- la qualité des granulats.
- la rhéologie recherchée.
- les propriétés mécaniques.

1-4-2-2- Les méthodes de dosage :

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

De façon générale, toutes les méthodes de dosage conçu pour les bétons conventionnels s'appliquent au cas d'un béton léger moyennant quelques modifications, Les méthodes de dosage sont nombreuses. Dans la majorité des cas, elles proposent de fixer initialement un rapport E/L correspondant à la résistance à la compression recherchée. Par la suite, les autres paramètres sont établis à partir de concepts empiriques issus de l'expérience et diffusés sous forme d'abaques [2].

I-5- PROPRIETES DES BETONS LEGERS:

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

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

I-5-1- La masse volumique :

La masse volumique du béton représente une des caractéristiques les plus importantes. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants [2].

I-5-2- La durabilité :

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents [2].

I-5-3- La rhéologie à l'état frais :

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

On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à la mise en place par rapport à la qualité recherchée du fini. En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages. [2].

I-5-4- Les propriétés mécaniques :

Parmi les propriétés mécaniques, on retrouve la résistance à la compression, à la flexion et à la traction. Ces propriétés sont des paramètres secondaires dans la conception d'un béton ultraléger puisque leur importance est relativement mineure pour ce type de béton. Toutefois, on ne peut les négliger puisque tous les bétons, peu importe l'application, nécessitent un minimum de résistance mécanique. [2]

1-5-4-1-Résistance en 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, super plastifiants, 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 1-5)[22].

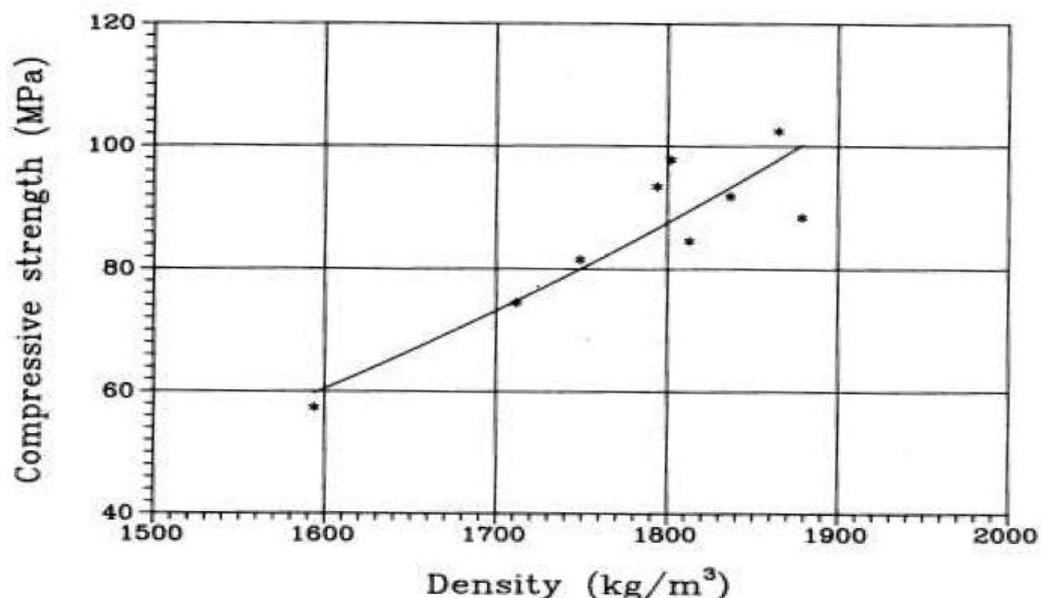


Figure 1-3 : Relation entre la résistance en compression à 28j et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers [THOMAS. C, 2013].

1-5-4-2-Résistance à la traction

De même que pour les bétons ordinaires, les bétons légers présentent une résistance à la traction assez faible. Ceci est d'autant plus vrai pour les bétons légers, 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/m³, ou de 3,5 à 5,6 Mpa pour des bétons, dont la masse volumique variait de 1620 à 1885 kg/m³, ont par exemple été rapportées [22].

I-5-5-Les propriétés thermiques :

Les propriétés thermiques du béton sont directement liées à celles de ses composants, la matrice de mortier et les granulats, ainsi qu'au degré de saturation du matériau. Les granulats légers manufacturés, obtenus à partir de procédés à très haute température, sont généralement caractérisés par une meilleure stabilité thermique que les granulats rigides naturels. Les bétons légers fabriqués avec ces granulats ont un coefficient de dilatation thermique qui peut varier entre 7 et 11 x 10⁻⁶/C° [1].

I-6- DOMAINE D'UTILISATION :

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

1-6-1- Des bétons d'isolation pure, non porteurs :

Leur masse volumique est faible (600 kg/m³) de même que leur résistance à la compression (de 1,5 à 5 MPa). Ces bétons sont utilisés principalement :

- en forme de pente isolante pour toiture-terrasse ;
- en isolation de sols sur terre plein ;
- La préfabrication des éléments architecturaux ;
- La protection d'étanchéité sur terrasse ;
- chapes, planché, dalles d'isolation ;
- Remplissage de vides et comblement de galeries et de canalisation ;
- Le rattrapage de niveau [23].

1-6-2- Des bétons porteurs et isolants:

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

- Des murs banchés ou préfabriqués ;
- Des blocs à maçonner ;
- Blocs, hourdis, panneaux préfabriqués, bardage
- Les planchers des constructions métalliques à grandes surfaces ;
- La protection incendie ;..... [23].

1-6-3- Des bétons légers de structure :

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

Ces bétons sont utilisés pour :

- Ouvrage où le poids mort est important par rapport au poids total (chargement compris) ;
- Immeuble de grande hauteur ;
- Portée importantes (poutres, voiles) ;
- Structures marines immeubles ;
- Surélévation d'immeubles existants ;
- Restauration d'anciens immeubles ; [23].

I-7- LES AVANTAGES ET LES INCONVENANTS DES BETONS LEGERS :

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

I-7-1- Avantages techniques :

- Légèreté : plus léger qu'un béton classique, le béton léger a une densité de 0,4 à 1,2 en comparaison de 2,2 à 2,5 pour un béton classique.
- Isolant : Le béton léger a un pouvoir isolant thermique et phonique beaucoup plus important qu'un béton classique.
- Non inflammable : La chape en béton léger est classée M0 au test de réaction au feu à partir d'un certain dosage en ciment.
- Imputrescible : Le béton léger est un matériau à pH basique, constitué de ciment, de sables lavés et de perles de polystyrène expansé stabilisé.
- L'augmentation des propriétés d'isolation thermique et acoustique.
- les excellentes qualités de finition d'une pièce en béton léger ; [23].

I-7-2- Avantages de Mises En Œuvre :

- Exécution simple et rapide : accessibilité sur chantier entre 24 et 48 h après coulage, selon l'épaisseur.
- Maniabilité : pompable sur de longues distances et de grandes hauteurs, il est facile à mettre en œuvre, notamment en forte épaisseur.
- Coffrages plus légers ;
- Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (transport possible de pièces plus grandes); [23].

I-7-3- Avantages Economiques :

- une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau (Neville, 2000).
- le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations (Neville, 2000).
- économie sur le ferrailage des éléments ;
- le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire. [23].

I-7-2 - Inconvénients :

- Compte tenu de sa faible résistance, le béton allégé ne peut faire l'objet d'utilisation sur toutes les composantes structurelles du bâtiment. Sa densité étant trop basse, il est le plus souvent utilisé comme béton de remplissage.
- Il est impératif, selon les règlements des documents techniques unifiés (DTU), de recouvrir le béton léger d'une chape de mortier de 5 cm d'épaisseur. Seul le béton allégé composé de billes de polystyrène fait exception à cette règle. [24]

CONCLUSION:

En résumé, nous abordons, à travers la bibliographie, nous concluons le suit:

- Il existe dans le monde trois types des bétons légers (le béton cellulaire, le béton, les bétons de granulats légers), et deux nature de l'ouvrage (le béton léger structural, le béton léger architectural).
- On distingue plusieurs types de granulats légers: Naturels, artificielles...
- Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
- On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.
- Le béton utilisé dans plusieurs domaines, notamment l'isolation thermique et acoustique, et la résistance à la compression est faible par rapport le béton ordinaire



CHAPITRE II:

les matériaux étudiés et les méthodes expérimentales



Introduction :

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

II-1- les matériaux étudiés:

II-1-1- Ciment :

II-1-1-1- Ciment utilisé "CIMENT PORTLAND COMPOSE CPJ-CEM-II / A 42.5 " :

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment Portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.

Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Tous les bétons ont été fabriqués avec un ciment provenant de la cimenterie de Ain-Touta (Wilaya de Batna) à savoir le CPJ-CEM II/A 42.5.

- **Composition chimique et minéralogique:**

L'analyse chimique du ciment a été effectuée au niveau du laboratoire de la cimenterie de Ain-Touta (Batna) selon la norme (NF EN 196-2) (août 1995).

Tableau II-1: composition chimique et minéralogique du ciment utilisé [FICHE TECHNIQUE].

Composition chimique (%) :												
CPJ-CEM II/A 42.5												
Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O	CaO libre	P.A.F 1000°C	Résidu Insoluble
(%)	25.13	4.49	3.49	55.05	1.09	2.54	0.021	0.88	0.38	0.76	5.68	8.69

II-1-1-2- Caractéristiques Physico-mécaniques

Tableau II-2: la masse volumique de ciment de ain touta.

Caractéristiques	CPJ-CEM II/A 42.5
Masse Volumique Apparente (g/cm ³)	1.12
Masse volumique Absolue (g/cm ³)	2.86

II-1-2-Sable :

Le sable utilisé dans tous les mélanges du béton léger provient de la région de ain baaage (wilaya de Biskra). Il s'agit d'un sable fin siliceux de granulométrie $\Phi < 5\text{mm}$.



Figure II-1 : Le sable 0/5 de Ain baage

II-1-2-1-Masse volumique :

Les masses volumiques apparentes et absolues du sable utilisé ont été mesurées d'après la norme [NF P 18-554 et 555].

Tableau II-3: la masse volumique de sable 0/5 de ain baage.

MASSE VOLUMIQUE g/cm ³	
Absolue	apparente
2.66	1.4

II-1-2-2-Analyse granulométrique : (NF P 18-304)

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituant le sable. La masse de l'échantillon pour l'essai est prise selon la formule suivante : $M \geq 0,2 D$ (M dépend des dimensions des éléments les plus grossiers).



Figure II.2 : l'analyse granulométrique de sable 0/5 de ain baage

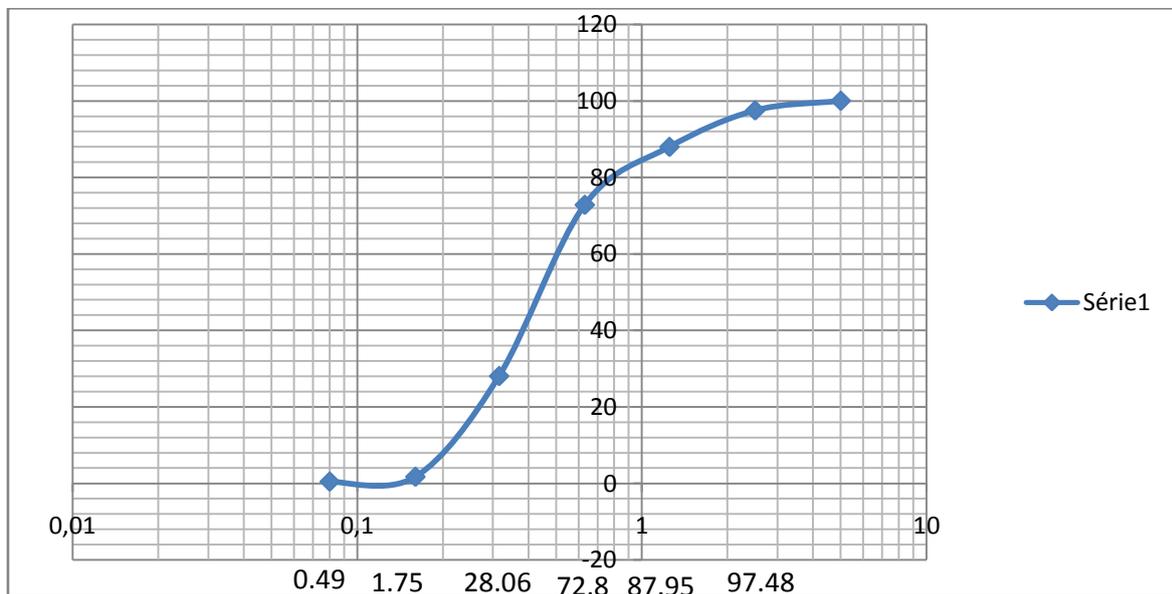


Figure II-3: Courbe granulométrique du sable 0/5

*le module de finesse : $1/100 * (\sum \text{Refus cumulé } \%(0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5))$

=2.11 on est en présence d'un sable préférentiel moyen

II-1-2-3- Equivalent de Sable :

Cet essai, utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable des éléments sableux plus grossiers, conformément à la norme (NF P18 – 598) [Normes AFNOR].

- Les résultats de l'essai sur le sable étudié figurent au (tableau II-4).



Figure II.4 essais de l'équivalente de sable

Tableau II-4: résultats d'équivalent de sable.

Type de sable	ESV%	ESP%
Sable 0/5 «Ain baage »	73	70

L'équivalent de sable $70\% \leq \text{ES} \leq 80\%$ car le sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

II-1-2-4- Absorption d'eau: (NF P 18-598)

On détermine un coefficient d'absorption qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22°C à la masse sèche de l'échantillon.

Tableau II-5: Absorption d'eau de sable.

Type de sable	Absorption d'eau %
Sable 0/5 « ain baage »	20 %-absorbant

II-1-3-Granulats :

On a utilisé dans notre travail expérimental quatre types de granulats :

- Granulat Naturel (gravier) 7/15 (GN)

- Granulat de Liège 7/15 (GL)
- Granulat de Polystyrène 7/15 (GP)

II-1-3-1-Granulat naturel :

Le Gravier naturel (GN) 7/15) utilisé dans tous les mélanges du béton léger provient de la carrière d'Ain Touta (wilaya de Batna)



Figure II-5 : granulat naturel (gravier) 7/15 ain touta

II-1-3-1-1- la masse volumique de gravier 7/15 ain touta

Les masses volumiques apparentes et absolues des graviers utilisés ont été mesurées d'après la norme [NF P 18-554 et 555].

Tableau II-6: la masse volumique de gravier 7/15 ain touta

MASSE VOLUMIQUE g/cm ³	
Absolue	apparente
2.60	1.33

II-1-3-1-2- Analyse granulométrique:

Les courbes granulométriques de granulats utilisé sont représentées dans les (figures 3-2) Pour les granulats de rachis découpe et le polystyrène et liège on n'a pas fait l'analyse granulométrique parce que ces sont des matériaux légers et ne passent pas dans les tamis.



Figure II-6 : l'analyse granulométrique de gravier 7/15 de ain_touta

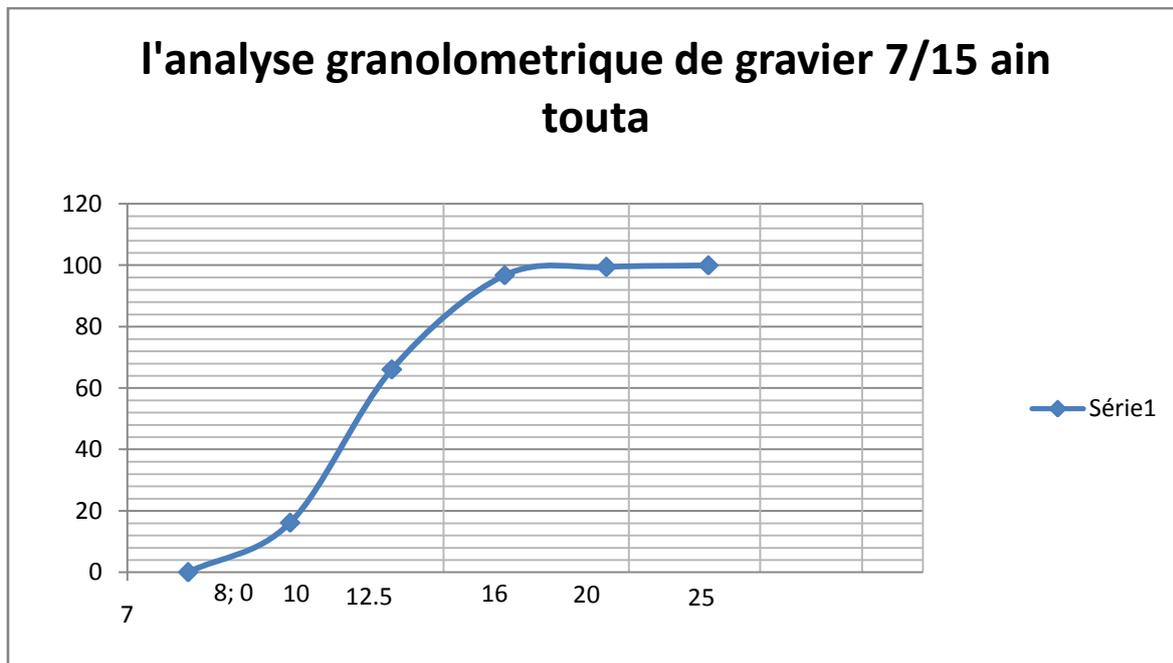


figure II-7 : la courbe logarithmique de gravier

II-1-3-1-3 Essais de Los Angeles (NF EN 18-573):

La dureté des granulats utilisés a été contrôlée par l'essai de Los-Angeles conformément à la norme (NF P 18-573) [Normes AFNOR], qui exige la valeur limite de 40% à ne pas dépasser.



Figure II-8 : L'essai de Los-Angeles

Le coefficient **LA** est calculé en utilisant la formule :

$$LA = ((m1 - m2) / m1) \times 100 \%$$

Avec : **m1** : la masse de la quantité de gravier avant l'essai [g].

m2 : la masse du refus à 1.6mm [g].

$$LA = ((5000-3766) / (5000)) = 24\%$$

20% ≤ LA ≤ 30% → **gravier assez dur.**

II-1-3-2-granulats légers :

II-1-3-2-1-Liège :

Le liège est un produit agricole et un matériau présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Il protège l'arbre des insectes, du froid et des intempéries tout en lui permettant de respirer, par de minces canaux appelés lenticelles (les trous du liège et de certains fruits). L'arbre chêne-liège est un puits de carbone d'autant plus efficace que l'arbre est exploité à produire du liège

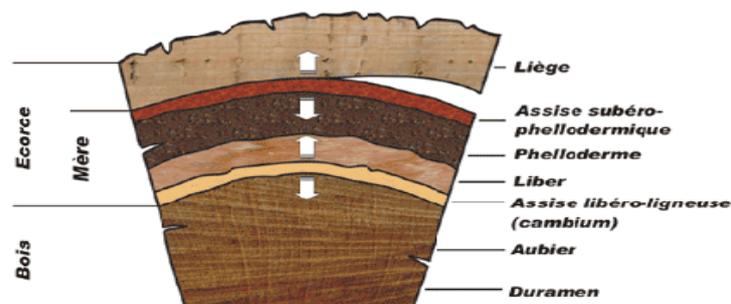


Figure II-9- Structure et composition du liège [Cantat, R., Piazzetta, 2005]

II-1-3-2-2 polystyrène :

Le polystyrène est le polymère obtenu par polymérisation des monomères de styrène c'est un matériau solide à 20C° et pâteux à 120C° qui fond entre 150C° et 170C° il est inflammable et combustible avec une température d'auto inflammation d'environ 490C° il est également soluble dans les hydrocarbure coloré et aromatique. Ce matériau dur cassant transparent se décline en différent type de polystyrène à l'application multiple.

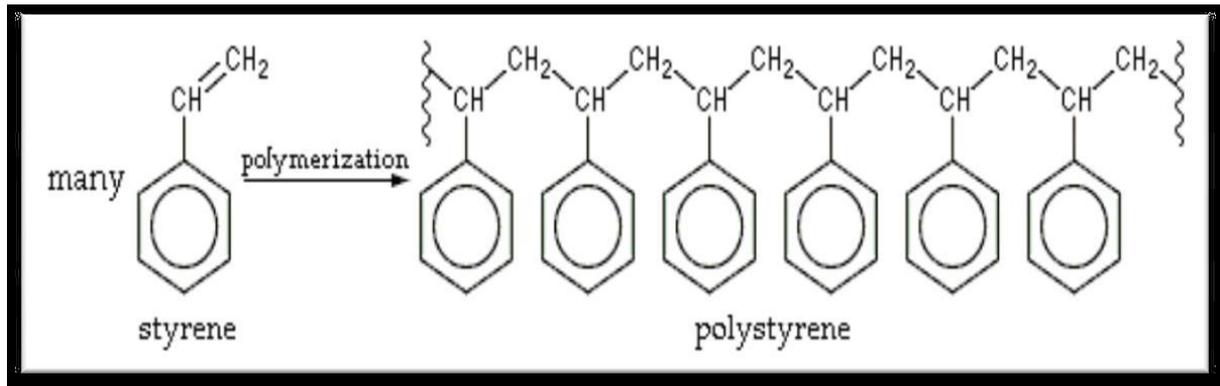


Figure II-10-la structure chimique de polystyrène (web sit)

II-1-3-2-3-la Masse volumique des granulats légers:

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents granulats étudiés (naturels ou recyclés) sont mesurées

Les résultats sont résumés dans le (tableau II-6).

Tableau II-7: la masse volumique de granulats légers.

granulat	MASSE VOLUMIQUE g/cm ³	
	Absolue	apparente
GN	2.60	1.33
GL	0.13	0.067
GP	0.014	0.007



Figure II-10 : la masse volumique apparente de granulats légers

II-1-3-4- Absorption d'eau:

On détermine un coefficient d'absorption qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22° C à la masse sèche de l'échantillon.

Les résultats de cet essai sur les granulats étudiés sont portés au **(tableau II-7)**.

Tableau II-8: Résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés.

Les granulats étudiés	L'absorption d'eau (24h) %
Gravier	1.76
Polystyrène	68.75
Liège	60.98

D'après les essais d'absorption effectués on remarque que les granulats de polystyrène utilisés ont une grande absorption d'eau, pour cela on a voulu vérifier la vitesse d'absorption en mesurant l'absorption en fonction du temps. Les résultats sont présentés au (tableau II-8)

Tableau II-9: Résultats d'absorption d'eau en fonction de temps

granulats temps	L'absorption d'eau %	
	GP	GL
15s	16.6	1
1m	24	9
15 m	42.97	18.88
1h	50	23.1
24h	68.75	60.98

II-2 Descriptions des essais au laboratoire :

II-2-1 Formulations des bétons légers :

Il y'a plusieurs méthodes de composition de béton qui sont proposées par des spécialistes tels que **BOLOMEY**, **FAURY**, **VALLETTE**, **DREUX-GORISSE**, **SCRAMTAIV...** etc. Quelle que soit la méthode utilisée, la composition du mélange calculée ne peut pas correspondre parfaitement au béton désiré, car il n'est pas possible d'appréhender avec précision la composition du béton, ceci peut-être dû à la qualité des constituants qui influent sur la qualité du béton : forme, angularité, porosité, type de granulats, finesse de mouture et classe vraie de résistance, etc.

Pour notre étude on a choisit la méthode de **Scramtaiv** comme une méthode de formulation, notons que le calcul de la composition du béton a été fait par la méthode des « volumes absolus » élaborée par le professeur **B. Scramtaiv**.

II-2-1-1 Méthode de Scramtaiv:

Cette méthode repose sur le fait qu'un béton lourd, damé à l'état frais, se rapproche de la compacité absolue, ce que signifie que la somme des volumes absolus des matériaux d'origine dans un m³ est égale au volume de la composition du béton damé.

La composition du béton est tout d'abord établie approximativement par calcul, ensuite elle est précisée par la méthode des essais de dosage expérimentaux de mélange de béton.

Tableau II -10 : Méthode de calcul des quantités de matériau (méthode de Scramtaiv).

Le matériau	La formule du calcul la quantité
Sable	$S = [1000 - (\frac{c}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}})] \times \rho_s$, (kg/m ³)
Eau	$E = \frac{E}{C} \times C$, (kg/m ³)
Pierre concassé (Gravier)	$Pc = \frac{1000}{V_{vol pc} \frac{\alpha}{\rho_{pc}} + \frac{1}{\rho_{pc}}}$, (kg/m ³) $V = 1 - \frac{\alpha}{\gamma}$

Tableau II-11 : valeurs de α en fonction: $\frac{E}{C}$

Les valeurs α en fonction: $\frac{E}{C}$						Quantité de ciment (kg/m ³)
0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	
1,3	1,32	1,26	-	-	-	250
-	1,42	1,38	1,30	-	-	300
-	-	1,44	1,38	1,32	-	350
-	-	-	1,46	1,40	1,31	400
-	-	-	1,56	1,52	1,44	500
-	-	-	-	1,56	1,52	600

- ✓ Les taux de substitution des granulats naturels par liège sont de 50% et de polystyrene 50%.
- ✓ Les mélanges de béton ont été réalisés avec un rapport Eau/ Ciment égale à 0,6.
- ✓ La quantité de ciment utilisée pour tous les mélanges est constante, égale à 350 kg /m³

II-2-1-3 Le calcul des quantités de béton :

a) Exemple de calcul :

- On a choisir pour le rapport Eau /Ciment **E/C = 0,6**, et pour le dosage de ciment

$$C = 350 \text{ kg /m}^3$$

- Quantité d'eau :

$$E = \frac{E}{c} \times C \longrightarrow E = 350 \times 0,6 = 210 \text{ kg /m}^3 \longrightarrow E = 210 \text{ kg /m}^3$$

- Quantité des pierres concassées :

$$V = 1 - \frac{\alpha}{\gamma} \longrightarrow V = 1 - \frac{1,33}{2,60} \longrightarrow V = 0.488$$

$$P_c = \frac{1000}{\frac{V_p^{\alpha} + 1}{x}} \longrightarrow P_c = \frac{1000}{0.488 \cdot \frac{1,44 + 1}{1,33 + 2,60}} \longrightarrow P_c = 1095.31 \text{ kg/m}^3$$

- Quantité de sable:

$$S = [1000 - (\frac{c}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}})] \times \rho_s \longrightarrow S = [1000 - (\frac{350}{2,86} + \frac{210}{1} + \frac{1095.31}{2,60})] \times 2,60$$

$$S = 640.51 \text{ Kg/m}^3.$$

a) Compositions des bétons légers à base de polystyrène:

Dans les compositions des bétons légers, on a procédé par substitution:

-Remplacement de 50% (en volume) de granulats naturels par des granulats légers (polystyrène) :

- La quantité de pierres concassées (GN) est : $P_c = 1095.31 \text{ kg/m}^3$

- La masse volumique apparente de gravier est : $\rho_G = 1330 \text{ Kg/m}^3$

$$\begin{array}{l} 1330 \text{ Kg} \longrightarrow 1 \text{ m}^3 \\ 1095.31 \text{ kg} \longrightarrow V \end{array}$$

$$V = (1095.31 \times 1) / 1330 = 0.823 \text{ m}^3 \longrightarrow V = 0.823 \text{ m}^3$$

On fait le contraire pour trouver la quantité de polystyrène :

-La masse volumique apparente de polystyrène est : $\rho_p = 7 \text{ Kg/m}^3$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \longrightarrow 7 \text{ Kg} \\ 0.421 \text{ m}^3 \longrightarrow Q_{poly} \longrightarrow Q = 2.87 \text{ kg.m}^3 \end{array}$$

Pour le gravier GN :

$$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1330 \text{ Kg}$$

$$0.411 \text{ m}^3 \longrightarrow Q_{GN} \longrightarrow = 546.63 \text{ kg.m}^3$$

b) Compositions des bétons légers à base de liège:

Dans les compositions des bétons légers, on a procédé par substitution:

- Remplacement de 50% (en volume) de granulats naturels par des granulats légers (liège) :

- La quantité de pierres concassées (GN) est : $P_c = 1095.31 \text{ Kg/m}^3$

- La masse volumique apparente de gravier est : $\rho_G = 1330 \text{ Kg/m}^3$

$$1330 \text{ Kg} \longrightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$1095.31 \text{ Kg} \longrightarrow V$$

$$V = (1095.31 \times 1) / 1330 = 0.823 \text{ m}^3 \longrightarrow V = 0.823 \text{ m}^3$$

On fait le contraire pour trouver la quantité de liège :

-La masse volumique apparente de liège est : $\rho_l = 67 \text{ Kg/m}^3$

$$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 67 \text{ Kg}$$

$$0.411 \text{ m}^3 \longrightarrow Q_{liège}$$

$$Q_{liège} = (0.411 \times 67) = 27.53 \text{ kg} \longrightarrow Q_{liège} = 27,53 \text{ kg}$$

Pour le gravier GN :

$$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1330 \text{ Kg}$$

$$0.411 \text{ m}^3 \longrightarrow Q_{GN}$$

$$Q_{GN} = (0.411 \times 1330) = 546.63 \text{ Kg} \longrightarrow Q_{GN} = 546.63 \text{ Kg}$$

Tableau II-12: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (liège)

Proportion GN/GL	E/C	Ciment Kg/m ³	L'eau Kg/m ³	Sable Kg/m ³	Gravier naturel Kg/m ³	Liège Kg/m ³
50/50	0.6	350	210	640.51	546.63	27.53

Tableau II-13: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (le polystyrène)

Proportion GN/GP	E/C	Ciment Kg/m ³	L'eau Kg/m ³	Sable Kg/m ³	Gravier naturel Kg/m ³	Polystyrène Kg/m ³
50/50	0.6	350	210	640.51	546.63	2.87

C : Béton caverneux :

On calcule les quantités des matériaux par rapport au béton ordinaire.

Le taux de substitution des granulats fins (sable) par le béton caverneux 01 est de 0%

Le taux de substitution des granulats fins (sable) par le béton caverneux 02 est de 20%

Quantité de sable: S=640.51Kg/m³

Pour le BV1: 0% → S=0 Kg/m³

Pour le BV2 :20% → S=128.10 Kg/m³

Tableau II-14: Composition des mélanges de béton pour 1m³ (béton caverneux)

Proportion GN/GP	E/C	Ciment Kg/m ³	L'eau Kg/m ³	Sable Kg/m ³
Cav 1	0.6	350	210	0
Cav 2	0.6	350	210	128.10

II-3-PREPARATION DES EPROUVETTES

II-3-1-Mélange de béton : Pour le béton ordinaire, le malaxage se fait suivant la norme. Lorsqu'il s'agit de béton qui contient des matériaux léger comme le (liège), le malaxage est fait manuellement pour les préserver et protéger les matériaux légers et leurs propriétés.

II-3-2-Remplissage et vibration : le béton ordinaire est mis dans les moules adéquats aux essais projetés et soumis à deux série de vibration afin d'homogénéiser les constituants du mélange. Lorsqu'il s'agit de béton léger, on vibre légèrement le mélange pour éviter le flottement des matériaux légers sur la face supérieur de l'éprouvette.

II-3-3-Type d'éprouvette : Nous avons utilisé 3 types de moules pour la confection de trois types d'éprouvettes :



Figure II-12 : moule pour éprouvette cubique (10*10*10 cm)



Figure II-13 : moule pour prismatic (10-10-40)



Figure II-14 : moule pour éprouvette (27-13-4)

II-3-PROGRAMME DES ESSAIS :

II-3-1- Essais à l'état frais :

II-3-1-1-Ouvrabilité : L'ouvrabilité a été mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams (Slump-test), conformément à la norme NF P 18-451. Le béton témoin et le béton léger à base de granulats légers a été fabriqué avec le même rapport $E/C=0.6$.



Figure II-15 : Essai d'affaissement « Slump-test »

II-3-2- Essais à l'état durci :

II-3-2-1- la masse volumique apparente par pesée hydrostatique-EN 12697-6 :

On détermine la masse de l'éprouvette puis son volume apparent par pesée hydrostatique, on déduit la masse volumique apparente de l'éprouvette. Cet essai est effectué sur les éprouvettes confectionnés en laboratoire ou sur des prélèvements réalisés in-situ par carottage



Figure II-16: Essai de la pesée hydrostatique.

Pour déterminer la masse volumique de béton, on utilise la relation suivante :

$$\rho = \frac{M_2}{M_1 - M_3} \times \rho_{eau}$$

Avec :

ρ : Masse volumique de l'échantillon exprimé en kg/m^3

M_1 : Masse de l'échantillon dans l'air [kg]

M_2 : Masse de l'échantillon sec [kg]

M_3 : Masse de l'échantillon dans l'eau [kg]

ρ_{eau} : Masse volumique d'eau exprimée en kg/m^3

II-3-2-2 la porosité NF EN 18-459

La porosité accessible à l'eau est un paramètre ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique selon le mode opératoire AFPC-AFREM est une mesure simple et praticable sur une large variété de matériaux pour but de Mesurer le pourcentage de vide connecté à la surface du béton par la relation suivante :

$$Peau = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau}$$

- Pesée hydrostatique---- Meau
- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau---- Mair
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche----Msec

II-3-2-3-Résistance à la compression

Cet essai a été effectué sur une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et cela conformément à la norme (NF P 18- 406).

Pour les différents mélanges de béton (**BT, BL, BP, BCAV1, BCAV2, BCILLUL**), trois cubes de $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ par échéance ont été utilisés pour effectuer l'essai, soit après 7 et 28 jours



Figure II-17 : Machine de l'essai de la compression. Figure II-18 éprouvette cubique

(10*10*10cm)

II-3-2-4-Mesures de la résistance à la flexion :

L'essai consiste à placer les éprouvettes prismatiques de dimensions $(10 \times 10 \times 40) \text{ cm}^3$ mûries à l'eau dans la machine de flexion. La résistance à la flexion est calculée à partir de l'effort maximum donnée par l'appareil. L'essai est effectué à 7 jours et 28 jours et on prend la moyenne des résultats sur trois éprouvettes de béton pour chaque formulation : (BT, BP, BL, Bcav1, Bcav2, Bcillul).



Figure II-19 : Machine de l'essai de flexion



**Figure II-20 : L'éprouvette après la
rupture du béton**

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les essais effectués et les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, dans notre travail et la composition des mélanges et les procédures expérimentales qui nous permettent de mieux analyser les résultats, et une meilleure compréhension de l'influence des paramètres étudiés sur les propriétés physicomécaniques et rhéologiques des bétons.



CHAPITRE III :

L'analyse et discussions des résultats



CHAPITRE III : L'analyse et discussions des résultats

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on expose les propriétés physiques, mécaniques de les trois types de béton léger avec une analyse des résultats obtenus.

On a utilisé plusieurs matériaux : liège, polystyrène, poudre d'alumine pour avoir une formulation de béton léger. On réalise cette formulation par substitution des granulats naturels par les granulats issus des matériaux cités plus haut, suivant un rapport (GN/GL) 50/50, tout en respectant la condition d'un béton léger (masse volumique limitée à 2000 Kg/ m³). Pour cela, on a utilisé uniquement les proportions 50/50 pour tous les matériaux utilisés.

Une comparaison des résultats obtenus avec ceux des années précédentes est faite sur la base des points communs et des différences dans la formulation et des matériaux utilisés.

III-1-CONSISTANCE DES BETONS FRAIS:

III-1-1-Affaissement des bétons de polystyrène, liège ,caverneux , cillulaire :

On a rassemblé tous les résultats d'affaissement pour les différents matériaux utilisés dans le tableau suivant (tableau III-1).

Tableau III-1 : Valeur d'affaissement pour tous les différents mélanges de béton :

Type de Béton	E/C	Ciment Kg/m ³	L'eau Kg/m ³	Affaissement Cm
BT	0.6	350	210	5
BL	0.6	350	210	2.8
BP	0.6	350	210	4
BCav1	0.6	350	210	17
BCav 2	0.6	350	210	13
BCill	06	350	210	

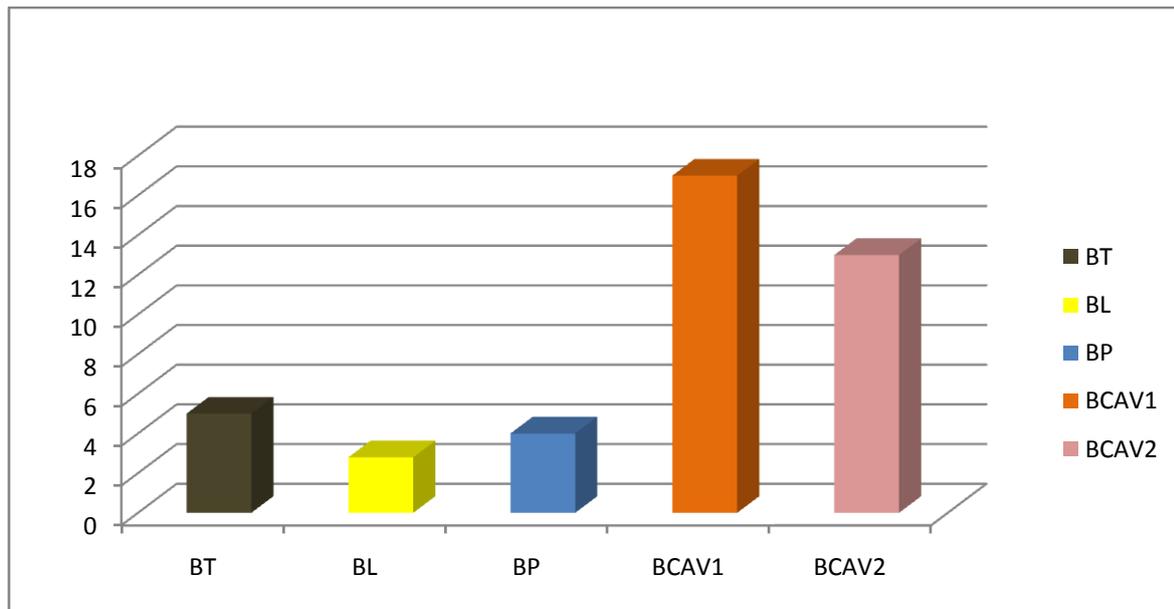


Figure III-1 : Valeur d'affaissement pour tous les différents mélange de béton

D'après les résultats obtenus on peut dire que :

L'affaissement du béton cav1 est plus élevé que celui du béton témoin en raison de l'absence de sable qui caractérise par une absorption d'eau considérable

III-2-PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES BÉTONS DURCIS:

III-2-1- Absorption d'eau pendant la phase de la cure :

Cet essai permet d'évaluer la quantité d'eau absorbée pendant la phase de la cure humide, ceci consiste à mesurer la masse d'une éprouvette de béton après le démoulage puis en l'immergeant dans l'eau pendant 07 jours et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage.. Le tableau (III-02) regroupe les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton.

. L'absorption d'eau est donnée par la relation suivante :

$$Abs(\%) = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} 100\% \quad (III-1)$$

M_{sat} : la masse d'éprouvette après 7 jours d'immersion dans l'eau

CHAPITRE III : L'analyse et discussions des résultats

M_{sec} : la masse d'éprouvette sèche avant l'immersion dans l'eau

Les éprouvettes utilisées sont cubiques de dimensions (10×10×10 cm³) et sont conservées dans l'eau (T = 22°C). Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton sont données dans le (tableau III-03)

Tableau III-02 : l'absorption d'eau par l'éprouvette

Type de bétons	La masse avant l'immersion kg/m ³	La masse après l'immersion kg/m ³	Pourcentage d'absorption relative %
BT	2413.70	2420.76	0.29
BP	2051.00	2126.7	3.56
BCAV20%	2223.0	2315.0	3.97
BCAV 0%	2359.2	2492.87	5.36
BL	2022.9	2080.4	2.76
BCillu			

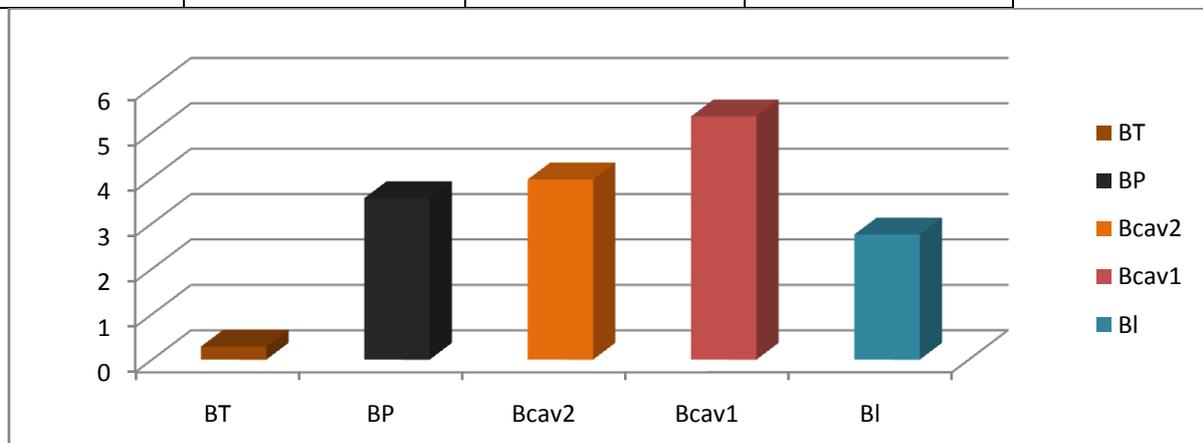


Figure III.02 : L'absorption d'eau du type de béton

On remarque :

Une augmentation de l'absorption des bétons légers par rapport au béton témoin.

L'augmentation est entre 2% et 3% pour les bétons de granulats légers, entre 3% et 5% pour le

CHAPITRE III : L'analyse et discussions des résultats

Béton caverneux. Cette augmentation est due à l'augmentation de la porosité des bétons la forte porosité qui caractérise le béton caverneux par rapport les bétons à granulats légers et donc automatiquement le taux d'absorption d'eau augmente en fonction du taux de granulats légers.

III-2-2-Masse volumique (pesé hydraustatique) la norme NBN EN 12390-7 :

L'introduction des matériaux légers comme le polystyrène dans la composition du béton entraîne une diminution de la masse volumique du béton durci qui varie en fonction de la fraction de matériau léger. Le tableau suivant (tableau III-03) résume les différentes valeurs de la masse volumique par pesé hydrostatique des bétons



Figure III-03 : masse volumique des bétons en Kg/m³.

CHAPITRE III : L'analyse et discussions des résultats

Tableau III-03 : la masse volumique des bétons en Kg/m³.

Type de Béton	Masse volumique sèche du béton Kg/m ³	Masse volumique humide du béton Kg/m ³
BT	2311.96	1829.91
BP		
BL		
Bcav0%		
Bcav20%		
Bcillul		

III-2-3 la porosité NF EN 18-459

La porosité accessible à l'eau est un paramètre ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité . Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique selon le mode opératoire AFPC-AFREM est une mesure simple et praticable sur une large variété de matériaux pour but de Mesurer le pourcentage de vide connecté à la surface du béton par la relation suivante :

$$Peau = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau}$$

- Pesée hydrostatique---- Meau
- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau---- Mair
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche----Msec

Tableau III-04 : la porosité des bétons en %.

Type de Béton	La porosité %
BT	2.09
Bl	
Bp	
0%Bcav1	
20%Bcav2	
B cillul	

nous n'avons pas pu terminer les résultats de ce chapitre en raison de la fermeture de laboratoire des matériaux des génie civil à cause de covid 19.

III-2-RESISTANCE A LA COMPRESSION :

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté, elle est estimée soit à court terme où à long terme.

Le (tableau III-5) regroupe les résultats de la résistance à la compression à 7 et 28 jours pour les différents mélanges.

Tableau III-5: Résistances à la compression des bétons.

Type de beton	E/C	Resistance a la compression MPa	
		7J	28J
BT	0.6	23.46	37.76
BL	0.6	4.72	6.5
BP	0.6	6.03	11.77
Bcillu	0.6		
B caver 20%	0.6	11.77	
B CAVER 0%	0.6	18.76	

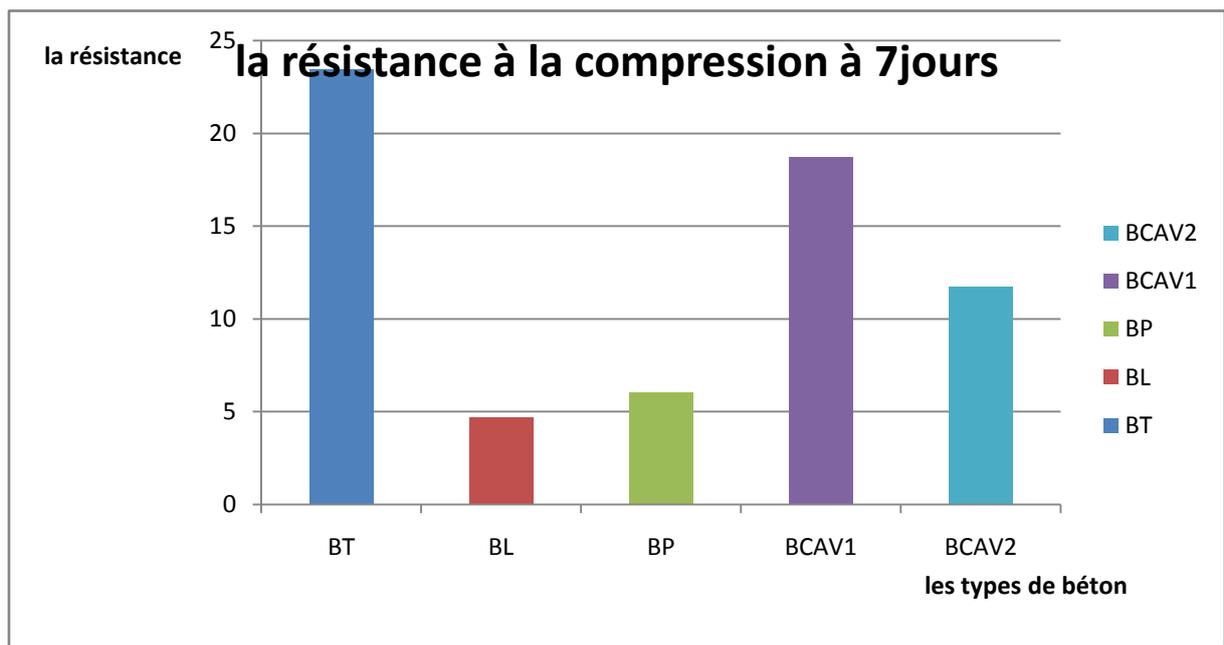


Figure III-4 :la résistance à la compression à 7 jours

observation

A 7 jours, le béton témoin donne une bonne résistance à la compression (23 MPa) suivi par le béton de liege qui a donné une résistance faible de 4.72 MPa

CHAPITRE III : L'analyse et discussions des résultats

III-3-RESISTANCE A LA FLEXION :

Les tableaux (III-) suivants regroupent les résultats obtenus lorsque on a appliqué le test de la flexion sur l'éprouvette (10x10x40)cm

Tableau III-6: Résistances à la flexion des bétons

Type de beton	E/C	Resistance a la flexion MPa	
		7J	28J
BT	0.6	4.89	6.22
BL	0.6	0.6	
BP	0.6	0.3	
Bcillul	0.6		
B caver 20% De sable	0.6	0.75	
B caver 0% De sable	0.6	0.77	

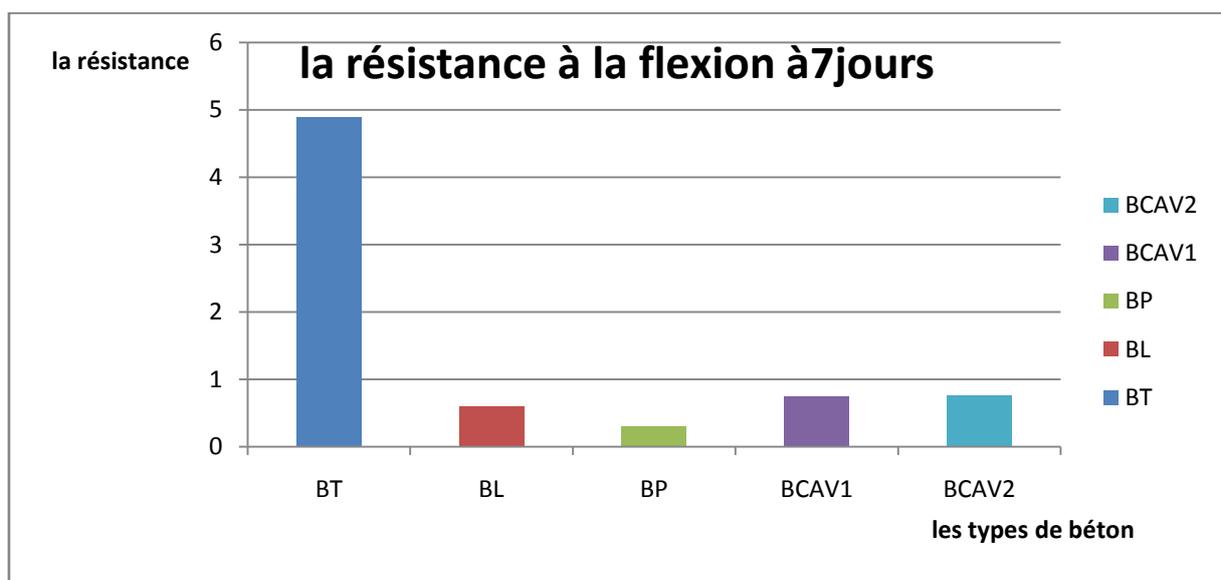


Figure III-5 : la résistance à la flexion à 7jours

conclusion

L'affaissement du béton cav1 est plus élevé que celui du béton témoin en raison de l'absence de sable qui caractérise par une absorption d'eau considérante

A 7 jours, le béton témoin donne une bonne résistance à la compression (23 MPa) suivi par le béton de liège qui a donné une résistance faible de 4.72 MPa

A 7 jours, le béton témoin donne une bonne résistance à la flexion (4.89 MPa) suivi par le béton léger de 50% de polystyrène qui a donné une faible résistance de 0.3 MPa

Conclusion général

L'objectif de notre étude de comparer entre les différentes types de béton légers et analyser le comportement mécanique et physique des bétons légers

On utilise la méthode de SCRAMTAIEV pour les différents mélanges un seul dosage du ciment avec un rapport E/C=0.6, sable de 0/5 et des granulats naturels 7/15.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les Conclusions suivantes :

- L'utilisation des bétons légers dans le domaine de la construction est très bénéfique en terme de légèreté ce qui donne la possibilité de construire sur des sols de faible capacité portante et de diminuer la dimension des fondations en réduisant les charges permanentes.
- Concernant les granulats légers utilisés, on peut faire les remarques suivantes :
 - La masse volumique du polystyrène est beaucoup plus faible que celle du gravier, ce qui a permis de formuler des bétons légers.
- Les résultats expérimentaux nous ont conduits aux conclusions suivantes :
 - L'affaissement du béton cav1 est plus élevé que celui du béton témoin en raison de l'absence de sable qui caractérise par une absorption d'eau considérable
 - A 7 jours, le béton témoin donne une bonne résistance à la compression (23 MPa) suivi par le béton de liège qui a donné une résistance faible de 4.72 MPa
 - A 7 jours, le béton témoin donne une bonne résistance à la flexion (4.89 MPa) suivi par le béton léger de polystyrène qui a donné une faible résistance de 0.3 MPa et enfin le béton léger de polystyrène qui a donné la résistance la plus faible (0.3 MPa).
 - La comparaison entre la résistance à la flexion et la compression, montre que les bétons légers présente un pourcentage plus élevé que ce lui du béton témoin. Ceci est d'autant plus vrai que l'on augmente le pourcentage de granulats légers. Ce résultat est en concordance avec la bibliographie qui relie ce pourcentage à la légèreté qui est elle-même fonction du pourcentage de granulats légers.
 - les autres résultats ne pas terminées a cause de la fermeture de laboratoire en raison de covid

Références Bibliographiques

- [1] **M.SHINK** «Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers». Université Laval Québec Avril 2003
- [2] **M.CONTANT** : «Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000
- [3] **NEVILLE** : «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000
- [4] **SFBC** : «Mémento du béton cellulaire » Eyrolles juin 2005 France
- [5] J. Zerlauth. – L'autoconstruction en bois, 2006, G11625, **J.-P. Foray**. – Construire soi-même sa piscine, 2006, G11998, **y. Benoît et t. Paradis, en coédition avec le CtBA**. – Construction de maisons à ossature bois, 2007, G12047, **B. CouZi**. – Rénover ou aménager son extension de maison, 2007, G12052. « Construire des matériaux »
- [6] Daniel Montharry (Auteur), Michel Platzer, La technique du bâtiment tous corps d'état Relié, Éditions du Moniteur, 2014
- [7] Jean-Michel Torrenti , Laetitia D'Aloia-Schwartzentruber, Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales - Réglementation et cadre normatif, Éditions du Moniteur, 2014
- [8] Chapes et bétons non structurels allégés « Later mix cem classic ».
- [9] « Report on Pervious Concrete » [archive], American Concrete Institute, 2010 (ISBN 9780870313646) Report No. 522R-10.
- [10] <https://blog.teralta-crh.com/beton-drainant-reunion>
- [11] Pervious Concrete Pavement An Overview [archive]
- [12]: **BENKHALFA.B**: «contribution a l'étude des bétons légers d'argile expansée pour des
- [13] NF EN ISO 9229 Septembre 2007, Isolation thermique – Vocabulaire
- [14] NF EN 206 Novembre 2014, Béton - Spécification, performances, production et conformité
- [15] https://fr.wikipedia.org/wiki/Béton_de_granulats_légers

[16] www.infociments.fr/béton/types/autres-bétons/béton-leger.

[17] **JOHN L, CLARKE:** «Structural lightweight aggregate Concrete »Edited by chief structural

[18] **G. DREUX & J. FESTA :** «*Nouveau guide du béton et de ses constituants*». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998

[19] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materielmateriaux/beton/granulats-legers>

[20] **CEREZO.V:** «Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales». Thèse de doctorat en Génie civil. Université Lyon. 2005

[21] **Yang KE:** «Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites». Thèse de doctorat en Génie civil. Université Cergy-Pontoise. 2008

[22] **THOMAS.C:** « propriétés mécaniques et durabilité d'un béton léger»,-Thèse de doctorat UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC 2013

[23] **HERIHIRI OUIDED** « Formulation et Caractérisation des Bétons Légers. » mémoire de magistère. université Mohamed Kheider –BISKRA 2010

[24] <https://www.ideal-decor.fr/beton-leger/>

Références Normative

NF P 18- 406,la norme a pour objet de définir l'essai de rupture par compression

NF P 18-451,la norme a pour objet de définir un essai des bétons frais dit « essai d'affaissement ».

NF P 18-555,la norme a pour objet de définir les modes opératoires pour mesure le coefficient d'absorption du granulat.

NF P 18-554 et 555, la norme a pour objet de définir les modes opératoires pour mesure la masse volumique du granulat.

NF P 18-573, la norme a pour objet de définir pour la détermination de la résistance la fragmentation d'un granulat grossier:l'essai Los Angeles

NF P18 – 598, la norme a pour objet de définir une caractéristique des sables intitulée «équivalent de sable».

EN 12390-7, la norme a pour objet de définir de détermination de la masse volumique du béton durci par pesée hydrostatique.

EN 12620, la norme a pour objet de définir l'analyse granulométrique