

République Algérienne
Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Génie Civil et Travaux Publics



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil
Spécialité : Structures

Etude du Comportement d'un Béton à Base de Perlite dans Les Milieux Agressifs

Présenté Par :

1) Mme KLOUA Cherifa

Devant le jury composé de :

Pr AISSA MAMOUNE SIDI MOHAMED

Président

Mme MANAA RABHA

Examinatrice

Mme DERBAL AHLEM

Encadrant

UAT.B.B (Ain Témouchent)

UAT.B.B (Ain Témouchent)

UAT.B.B (Ain Témouchent)

Remerciement

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Dr. Derbal Ahlem pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury Professeur Aissa Mamoune et Mme Manaa Rabha

Pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail

Je tiens aussi à remercier tous les éléments du laboratoire des matériaux de construction du département de génie civil de l'Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent où ce travail a été effectué.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Dédicace

Dédicace

A mon cher père

*Vous êtes toujours à mes côtés mon père **Kloua Abdel Kader** pour soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

Qu'ALLAH, tout puissant, te garde et te procure santé et longue vie.

A mes très chers enfants

Puisse Dieu vous donne de santé, bonheurs, courage et de réussites

Belaidi Chihab Abdel Kader et Belaidi Moncef Said

A ma très chère tante et sa fille

***Meheiddine Rahmouna et Benaziza Hanen** pour l'aide qu'elles m'ont apporté durant la réalisation de ce travail*

Résumé

Ce travail présente les résultats d'une étude expérimental sur l'évaluation des propriétés mécanique et physiques d'un béton léger à base d'agrégats de perlite expansée dans des milieux agressives.

Quatre séries d'éprouvettes ont été préparées en variant la proportion des agrégats de perlite dans le béton par substitution du sable allant de 0% à 60% de son volume, et les conserver dans des milieux agressifs (eau de mer, acide sulfurique S_2O_4 , acide chlorhydrique HCL).

Un des objets principaux de ce travail est de comparer entre les résultats des résistances mécaniques obtenus par des essais destructifs et non destructifs tels que l'essai ultrasonique. et la mesure de la conductivité thermique. Et les résultats sont interprétés dans chaque cas.

Mots clés : Perlite, Milieux agressifs, Béton léger, Résistances Mécaniques, Essai Ultrasonique, Conductivité thermique.

Summary

This work presents the results of an experimental study on the evaluation of the mechanical and physical properties of a lightweight concrete based on expanded perlite aggregates in aggressive environments.

Four series of test specimens were prepared by varying the proportion of perlite aggregates in the concrete by substituting sand ranging from 0% to 60% of its volume, and keeping them in aggressive media (sea water, sulfuric acid S^2O_4 , hydrochloric acid HCL).

One of the main objects of this work is to compare between the results of the mechanical resistances obtained by destructive and non-destructive tests such as the ultrasonic test and the measurement of the thermal conductivity. And the results are interpreted in each case.

Keywords: Perlite, Aggressive Media, Lightweight Concrete, Mechanical Resistance, Ultrasonic Testing, Thermal Conductivity.

ملخص

لتقييم الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة خفيفة الوزن على أساس ركام البير لايت الموسع في البيئات العدوانية. تم تحضير أربع سلاسل من عينات الاختبار عن طريق تغيير نسبة ركام البير لايت في الخرسانة عن طريق استبدال الرمل الذي يتراوح من 0% إلى 60% من حجمه، وحفظها في وسط عدواني (ماء البحر، وحمض الكبريتيك S^2O_4 ، وحمض الهيدروكلوريك (HCL)).

أحد الأهداف الرئيسية لهذا العمل هو المقارنة بين نتائج المقاومة الميكانيكية التي تم الحصول عليها عن طريق الاختبارات المدمرة وغير المدمرة مثل اختبار الموجات فوق الصوتية وقياس التوصيل الحراري. ويتم تفسير النتائج في كل حالة.

الكلمات المفتاحية: البير لايت، الوسائط العدوانية، الخرسانة خفيفة الوزن، المقاومة الميكانيكية، الاختبار بالموجات فوق الصوتية، التوصيل الحراري.

Liste des abréviations

SiO₂ : La silice

Al₂O₃ : L'alumine

Fe₂O₃ : Oxyde de fer

CaO : Oxyde de calcium

MgO : Oxyde de magnésium

SO₃ : Trioxyde de soufre

SiO₂ : Oxyde de silicium

Al₂O₃ : Oxyde d'aluminium

Na₂O : Oxyde de sodium

K₂O : Oxyde de potassium

H₂SO₄ : Acide sulfurique

HCl : Acide chlorhydrique.

E : Eau.

C : Ciment.

L : Liant.

LTPO : Laboratoire des travaux publics Ouest.

CO₂ : L'Anhydrique carbonique.

H₂O : L'eau de combinaison.

C₃S : Le silicate tricalcique.

C₂S : Le silicate dicalcique.

C₃A : L'aluminate tricalcique.

C₄AF : L'aluminoférite tricalcique.

S1 : Sable de mer.

S2 : Sable concassé.

Mf1 : Module de finesse du sable de mer.
Mf2 : Module de finesse du sable concassé.
Mf : Module de finesse de sable combiné.
CU : Le coefficient d'uniformité
Cc : Le coefficient de courbure.
ESV : Equivalent de sable visuel.
ESP : Equivalent de sable à piston.
Mapp : Masse volumique apparente.
Mabs : Masse volumique absolue.
W : Le pourcentage d'eau.
C : Composition des mortiers.
T : Température.
HR : Humidité relative.
V : Vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.
VL : Vitesse longitudinale.
VT : Vitesse transversale.
Rf : La résistance à la traction par flexion.
Rc : Résistance à la compression.
E : Module d'élasticité.
Ed : Module d'élasticité dynamique.
Ec : Module d'élasticité sécant.
BAP : Béton autoplaçant.
SP : Superplastifiant.
Time : temps et date
Sensor : type de sonde
K : conductivité thermique.
Rho : Résistivité thermique.
Err : erreur relative
Temp : température initiale.
ID : numéro attribué à la lecture.

Read time : durée choisie pour un calcul

Power mode : mode de puissance.

Sommaire

Remercîment

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction	3
I.2. Définition de la perlite.....	4
I.3. Propriété de la perlite	5
I.4. Analyse typique.....	6
I.5. Méthode d'exploitation et de traitement.....	7
I.5.1. Méthode d'exploitation.....	8
I.5.2. Technique de broyage et de criblage	9
I.5.3. Traitement en usine d'expansion	9
I.6. Les principales caractéristiques de la perlite.....	12
I.7. Utilisation et spécification industrielle de la perlite.....	13
I.7. 1. Secteur de la construction.....	13
I.7. 2. Secteur de l'horticulture.....	14
I.7. 3. Secteur de jardinage.....	15
I.7. 4. Produits de beauté.....	15
I.7. 5. Suppléments.....	16
I.8. Conclusion	16

Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

II.1. Introduction	19
II.2. Les matériaux utilisés pour la fabrication des mortiers	19
II.2.1. Le ciment	19
II.2.1.1. Composition chimique et minéralogique du ciment	21
II.2.1.2. Caractéristiques physico–mécaniques du ciment	
II.2.2. Les granulats	21
II.2.2.1. Sable de mer (roulé).....	21
II.2.2.2. La perlite.....	25
II.2.3. Eau de gâchage	27
II.3. Recherche de la procédure de malaxage du béton léger à base d'agrégats de perlite	27
II.4. Formulation des mortiers.....	30

II.5. Mesures expérimentales.....	34
II.5.1. Essais destructifs.	34
II.5.1.1. Essais de flexion.....	34
II.5.1.2. Essai de compression	34
II.5.2 Essais non destructif... ..	35
II.5.2.1. Essai d’auscultation sonique.....	35
II.5.2.2 Essai De Mesure La Conductivité Thermique.....	35
II.5. Conclusion	41

Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

III.1. Introduction.....	43
III.2. Influence de la perlite sur la perte de masse du béton des milieux agressifs	
III.3. Influence de la perlite sur la résistance mécanique du béton dans des milieux agressifs	47
III.3.1. Résistance à la flexion	47
III.3.2. Résistance en compression	51
III.4. Mesures de la vitesse d'ondes ultrasoniques	58
III.5. Essai de mesure de conductivité thermique.....	61
III.6. Conclusion	68

Annex A	69
Annex B.....	71
Annex C.....	73
Annex D.....	75
Annex E.....	79
Annex F.....	80
Annex G.....	82
Annex H.....	83
Annex D.....	82

Introduction Générale

Un béton durable est un béton qui résiste à la pénétration des agents agressifs et qui permet une durée de vie significative aux structures en béton.

Les agressions externes telles que l'eau de mer, les chlorures, le CO_2 et les attaques chimiques peuvent dégrader les propriétés physiques et mécaniques du béton ainsi que sa durabilité au cours du temps. Parmi les attaques chimiques, les acides qui peuvent provenir aussi bien des zones industrielles que de l'activité urbaine dégradent le plus sévèrement le béton.

L'acide sulfurique (H_2SO_4) avec l'acide chlorhydrique (HCl), ainsi que l'eau de mer sont classés comme les menaces naturelles les plus agressives. Lorsque le béton est exposé à un environnement contenant de l'acide sulfurique, il subit une sévère dégradation due à des réactions de neutralisation. L'acide sulfurique réagit avec la chaux libre $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ dans le béton, formant le gypse $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$. Une autre action destructrice est la réaction entre l'aluminate de calcium et les cristaux de gypse. Ces deux produits constituent l'ettringite, le produit de réaction le moins soluble, $[3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}]$. Le gypse et l'ettringite causent l'expansion qui entraîne la fissuration du béton. [8]

La composition chimique de l'eau de mer est généralement considérée comme agressive pour le béton. L'intensité de cette agressivité dépend elle-même, de la situation de l'ouvrage ou d'une partie de l'ouvrage par rapport à la mer.

La perlite est une roche volcanique siliceuse, contenant des molécules d'eau, soumise à un traitement thermique bien spécifique qui produit des grains blancs très légers et stables dans le temps. Une fois concassée, moulue, classifiée et expansée sous haute température, la Perlite trouve une multitude d'applications dans le secteur de construction. La PERLITE-CONSTRUCTION peut être utilisée pour réaliser des chapes ou des murs légers ayant un bon pouvoir isolant. Combinée avec du ciment la PERLITE-CONSTRUCTION est utilisée pour l'isolation des toitures-terrasses. En vrac, la PERLITE-CONSTRUCTION permet d'isoler les planchers, les combles, entre les cloisons ou toute autre partie difficile d'accès.

L'objectif principal de ce travail est de fournir davantage de données sur les effets des agrégats de perlite expansée sur la perte de masse et les propriétés thermo physiques et mécaniques d'un béton dans les milieux agressifs.

Ce béton est un mélange composé de ciment, de sable, d'agrégats de perlite expansée et de l'eau.

Mon travail sera organisé en trois chapitre le premier et une synthèse bibliographique qui comporte les différentes définitions sur la perlite. Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés ainsi que les méthodes d'essais, ensuite le troisième chapitre expose les différents résultats obtenus et leurs interprétations, enfin en termine per une conclusion générale.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

La perlite est une roche volcanique siliceuse, contenant des molécules d'eau. Elle est broyée et expansée thermiquement aux alentours de 1200 °C, puis elle est chauffée à très haute température dans un four. L'eau s'évapore et les granulés minéraux enflent sous l'action des molécules d'eau qui se transforment en vapeur. Ce traitement thermique provoque une expansion qui donne des billes vitrifiées 4 à 20 fois plus grosses que leur volume initial. [1]

Les grains blancs de perlite expansée, lors de leur fabrication, deviennent alors très légers et stables dans le temps.

En raison de ses caractéristiques d'isolation et de son poids léger, la perlite expansée est utilisée pour l'isolation des toitures-terrasses ou des combles perdus.

Elle est aussi largement utilisée en vrac comme isolant dans la construction en maçonnerie.

Le principal inconvénient de la perlite, utilisée seule, c'est qu'elle est hydrophile, c'est à dire qu'elle absorbe l'humidité.

Sa capacité d'absorption d'eau est de 4 à 5 fois son poids. Du fait de sa composition, la perlite possède des propriétés très intéressantes vis-à-vis de la résistance au feu.

La présence de silice en grande quantité dans le matériau lui confère une température de fusion élevée et une conductivité thermique faible.

La perlite peut être utilisée dans l'isolation des installations et des constructions.

I.2. Définition de la perlite

La perlite est une roche, plus précisément un minéral du groupe de la silice. Pour obtenir l'apparence de petites boules de polystyrène, elle subit un processus thermique et ce qui était initialement un matériau de grande dureté devient une sorte de boule de liège, mais il s'agit en fait d'un composé minéral et non organique

Au départ, son utilisation était destinée à la construction civile, pour la composition de mortiers légers, mais elle a rapidement été découverte par les jardiniers, notamment pour sa polyvalence, étant un matériau totalement inerte et donc exempt de tout contaminant, champignons, insectes ou autres graines qui pourraient nuire aux cultures. La perlite est inerte, légère, n'absorbe pas trop d'eau et reste inchangée dans le temps. [1]

La perlite est un verre volcanique chauffé à 1200 degrés sur quoi il apparait un peu comme du pop-corn et se dilate jusqu'à 20 fois sa taille initiale. Ce qui donne un matériau incroyablement léger.

En fait le produit final ne pèse que 5 à 8 lièvre par pied cube (2K par 28L) la perlite surchauffée est composée de minuscule compartiment d'air. [15]

Au microscope, la perlite se révèle recouverte de nombreuse petites cellule qui absorbent l'humidités à l'extérieure la particule, et non à l'intérieure

La perlite est un matériau granulaire léger de couleur blanche .il ressemble et se sent comme de petits morceaux de polystyrène. Mais en fait est fabriqué à partir de verre volcanique expansé, chauffe à 1000°C jusqu'à ce qu'il éclate à plusieurs fois sa taille d'origine .il est léger, stérile facile à manipuler et durable. Ce n'est ni alcalin ni acide

Fig. I-1 perlite utilisée dans nôtre étude



Fig. I-2 Image montrant les différentes couleurs de la perlite[]

I.3. Propriété de la perlite

La perlite se ramollit lorsqu'elle atteint des températures de 850 à 900 °C (1560 à 1650 °F)

L'eau emprisonnée dans la structure du matériau se vaporise et s'échappe. Ce qui entraîne l'expansion du matériau jusqu'à 7 à 20 fois son volume d'origine

Le matériau expansé est d'un blanc brillant en raison de la réflectivité des bulles piégées [3]

La perlite non expansée (brute) a une densité apparente d'environ 1100 kg/m³ (1.1/cm²).

Tandis que la perlite expansée a une densité apparente d'environ 30-150 kg/m³

I.4. Analyse typique

- 67-75% d'oxyde de silicium SiO₂
- 12-15% d'oxyde d'aluminium Al₂O₃
- 3-4% d'oxyde de sodium Na₂O
- 3-5% d'oxyde de potassium K₂O
- 0.2-0.7% d'oxyde de magnésium MgO
- 0.5-1.5% d'oxyde de calcium Ca
- 0.5-2% d'oxyde de fer Fe₂O₃



Fig. I-3 Mine de perlite à Owens Valley, Californie.

I.5. Méthode d'exploitation et de traitement

I.5.1. Méthode d'exploitation

L'exploitation à ciel est la seule méthode d'extraction économique. La plupart des exploitations de perlite utilisent soit le ripage, soit l'explosif, ou une combinaison des deux procédés. Quand le minerai perlitique est suffisamment tendre et friable, bréchifié ou intensivement diaclasé l'utilisation d'un ripeur est la plus économique.

En revanche, lorsque le minerai est résistant, la création de gradins et l'utilisation d'explosifs sont nécessaires. Dans ce cas, il faut veiller à ce que la fragmentation du massif ne produise pas trop de fines ou, à l'inverse, de blocs de grandes dimensions. [3]

Le minerai est ensuite chargé sur des camions ou, lorsque la forme du plancher de la carrière le permet, il peut être directement récupéré par un scraper, puis transporté jusqu'à l'installation de broyage de l'usine de traitement.

Une extraction sélective est couramment effectuée lorsque la qualité du minerai est variable ou l'abondance des substances contaminantes (argile, obsidienne) la nécessite.

Dans certains cas, lorsque le gisement renferme des minerais perlitiques de textures variables, ces derniers peuvent être mélangés pour produire un minerai composite présentant des caractéristiques de broyage constantes et, en définitive, des propriétés régulières pour les utilisateurs.

Pour les opérations d'extraction, la dépense énergétique est couramment de l'ordre de 0.4thermi/t.



Fig. I-4 les étapes d'expansion de la perlite

I.5.2. Technique de broyage et de criblage

D'une manière générale, la dimension finale de particule de perlite expansée est conditionnée par taille initiale de particule de perlite crue introduite dans le four d'expansion. Par conséquent pour chaque type d'utilisation déterminent la granularité dans laquelle le minerai doit être broyé et calibré.

Bien que la répartition granulométrique des particules de perlite crue puisse varier selon les producteurs, les opérations de broyage et de classification granulométrique sont effectuées selon le même procédé générale : broyage primaire et secondaire, séchage classification, broyage tertiaire et récupération des fines. Par exemple, la première étape consiste à la réduction du minerai brut à moins de 8 mm par broyeurs à mâchoires. la réduction à 16mm se fait par un broyeur giratoire et celle à moins de 2.36mm par un broyeur à percussion. Le fractionnement granulométrique est assuré par des cribles vibrants et un classificateur pneumatique pour les plus fines particules. Suivant les installations, ce procédé général peut

Inclure différentes variantes, telles que l'utilisation de broyeur giratoire pour le broyage primaire, et des broyeurs à percussion. Des broyeurs à marteaux, des Giro disque et des broyeurs à cylindres pour les broyages secondaires et tertiaires.

Les différentes classes granulométriques obtenues sont stockées dans des silos ; de mélanges ultérieurs sont effectués pour satisfaire les exigences spécifiques des utilisateurs.

I.6.3. Traitement en usine d'expansion

La perlite broyée et criblée est expansée dans des fours stationnaire et verticaux ou des fours rotatifs horizontaux (fig 4 à 5) l'expansion se produit température optimale est atteinte lorsque simultanément le verre devient visqueux et l'eau de composition se volatilise. La perlite peut alors s'expanser jusqu'à 20 fois son volume initial. On obtient des particules bulleuses extrêmement légères, de grande surface spécifique, de couleur claire ou blanche (fig6).

Une volatilisation excessive de l'eau produit trop de fines particules par éclatement des granules initiaux de perlite crue alors qu'une insuffisance d'eau combinée donne des qualités de perlite trop denses.

Les minerais perlitiques qui présentent quelques difficultés à l'expansion sont couramment préchauffés vers 450°C avant de passer dans la zone d'expansion proprement dite four (fig 6à8).

Les particules de perlite expansées sont collectées dans un cyclone avant d'être conditionnées, elles peuvent subir, avant l'ensachage, un broyage et une classification ou un traitement de surface

La taille unités d'expansion est très variable. Il en existe des mobiles qui sont utilisées sur les lieux de consommation (fabrication de méthanier, station d'emballages.....)

Pour l'opération d'expansion, dans l'hypothèse d'une températures moyenne de 900°C, la dépense énergétique varie de 45,3à 90,6thermis par mètre cube perlite cure, suivant la densité du minerai cru.

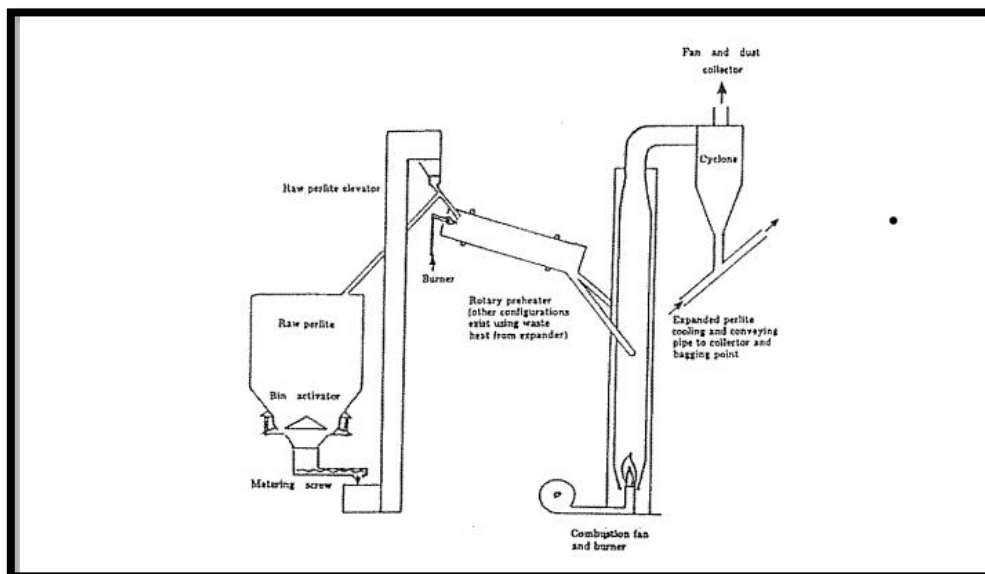


Fig. I-5 Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur indépendant (d'après M.J. Allen, 1992)

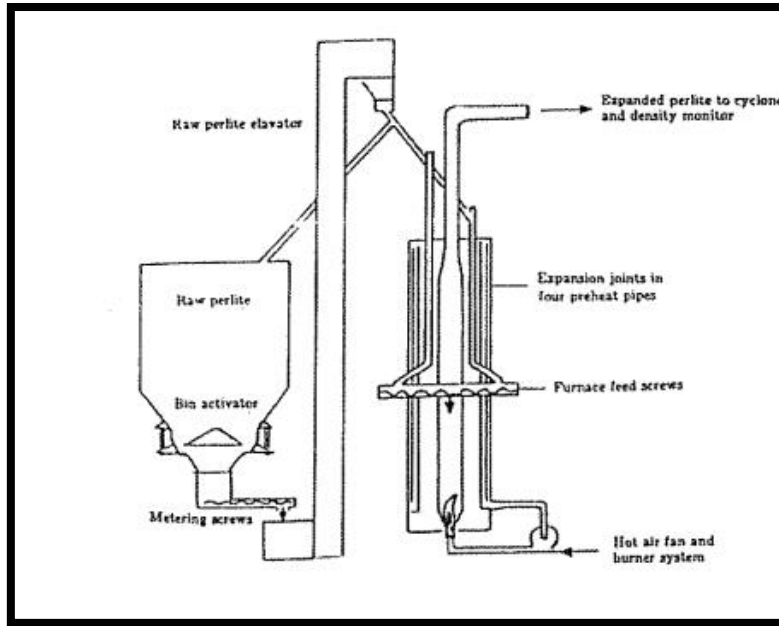


Fig. I-6 Diagramme Schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur intégré (d'après M.J. Allen,1992)

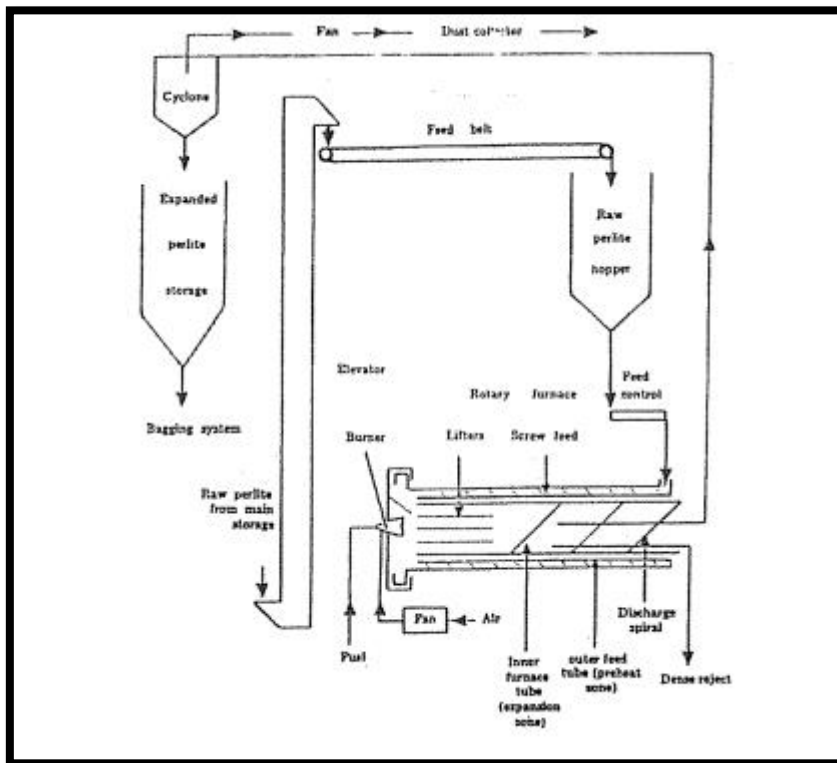


Fig. I-7 Diagramme schématique d'un four d'expansion horizontal avec préchauffeur intégré (d'après M.J. Allen,1992) [6]



Fig. I-8 perlite avant et après expansion



Fig. I-9 perlite dans le secteur de construction

I.6. Les principales caractéristiques de la perlite [4]

Son principal intérêt réside dans sa capacité d'expansion par chauffage brutal à 900°C suivi d'un refroidissement instantané qui confère :

Une faible masse volumique $<100\text{kg/m}^3$

Une très faible conductivité calorifique. $5\text{W/m}^\circ\text{C}$

Une inertie chimique à $\text{pH} > 2$

D'autre part on note :

- Une dureté bonne /5.5-7.0(échelle de MOHRS)
- Une température d'expansion variant de 760à1100°C (fonction de la composition chimique et de teneur en eau)
- Un taux d'expansion volumique de 20à30 pour les perlites lourdes,30à40pour les légères (mesures de densité sur brut non tassé)
- Une compacité 'absorption d'eau de 50%en poids, 500%en volume
- Une faible force de rétention d'eau.

I.7. Utilisation et spécification industrielle de la perlite

Les utilisations principales de la perlite mettent surtout à profit sa faibles densité, sa porosité, sa très faible conductivité thermique et sa résistance des particules [7]

I.7. 1. Secteur de la construction

C'est le secteur qui représente la plus grande part de la communication mondiale

- **Principale utilisation**

On l'utilise dans le béton léger, dans les panneaux isolants de toits. On utilise aussi la perlite pour les terrasses, les sous-couches de plancher, les revêtement anti-incendie (faible dilatation, thermique), en isolation phonique et thermique.

En isolation la perlite est délaissée peu à peu par consommateurs au profil de la vermiculite et du polystyrène expansé.

I.7. 2. Secteur de l'horticulture

La perlite est utilisée comme conditionneur de sols, qu'ils soient essentiellement sableux ou argileux pelouses, terrains de sport, terrains de golf..., utilisé seule ou mélangée à de la tourbe ou du compost.

I.7. 2. Secteur de jardinage

Au départ, son utilisation était destinée à la construction civile, pour la composition de mortiers légers, mais elle a rapidement été découverte par les jardiniers, notamment pour sa polyvalence, étant un matériau totalement inerte et donc exempt de tout contaminant, champignons, insectes ou autres graines qui pourraient nuire aux cultures. La perlite est inerte, légère, n'absorbe pas trop d'eau et reste inchangée dans le temps.



Fig. I-10: utilisation de la perlite dans le secteur de jardinage

I.7. 3. Secteur de la filtration

- **Principales utilisations**

La perlite qualité filtration est obtenue par broyage ménagé de la perlite expansée pour libérer les cavités et par aéroclassification. La perlite forme un gâteau filtrant incompressible qui retient le solide avant leur arrivée sur le support du filtre (toile, grille...). La perlite est appréciée lorsque l'on recherche une filtration grossière avec des débits élevés (proportionnels à la granularité).

Filtration basse pression : eau, bière, jus de fruit ...

Filtration haute pression : huiles, sucre, produits pharmaceutiques.

Filtration très haute pression : ultrafiltration.



Fig. I-11 utilisation de la perlite dans le secteur de la filtration

I.7. 4. Produits de beauté

La perlite est utilisée en cosmétique comme exfoliant absorbant et mécanique.

I.7. 5. Suppléments

La perlite peut être substituée pour toutes ses utilisations :

- Diatomite, utilisé pour les auxiliaires de filtration
- L'argile expansée, une charge alternative légère pour les matériaux de construction
- Schiste argileux
- Pierre ponce
- Scories
- Vermiculite - de nombreux expanseurs de perlite exfolient également la vermiculite et appartiennent aux deux associations professionnelles

I.8. Conclusion

La perlite est un matériau artificiel de construction, très léger, obtenu par dilatation sous forte température de roche volcanique, employé notamment comme isolant thermique et acoustique

Dont la texture est caractérisée par la présence des petites sphères vitreuses résultant d'un refroidissement brutal d'une lave mise en place sous l'eau à faible profondeur.

Les utilisations principales de la perlite mettent surtout à profit sa faibles densité, sa porosité, sa très faible conductivité thermique et sa résistance des particules

**Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes
expérimentales**

II.1. Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, Ce chapitre est dans le but de décrire dans les détails et de caractériser les matériaux utilisés pour la préparation des mortiers objet de cette étude. Ainsi que nous allons présenter, dans cette partie, les procédures relatives à la préparation et la confection des mortiers testés, ainsi qu'une description des méthodes expérimentales préconisées.

La première partie de cette étude expérimentale consiste à trouver la procédure de malaxage la plus convenable pour préparer des gâchées de béton léger à base d'agrégats de perlite expansée.

La seconde partie est consacrée à l'évaluation de l'effet de la variation de la proportion des agrégats de perlite expansée dans ce béton sur ses propriétés mécaniques et thermophysiques. Pour cela, on a préparé Quatre types de béton léger avec des proportions différentes d'agrégats de perlite par substitution du sable (0%, 15%, 45%, 60%) et 80% de volume du sable.

La troisième partie consiste à étudier ces éprouvettes dans les milieux chimiques..

II.2. Les matériaux utilisés pour la fabrication des mortiers

II.2.1. Le ciment

II.2.1.1. Composition chimique et minéralogique du ciment

Le ciment, utilisé dans la confection de nos éprouvettes des mortiers ordinaires, provient de la cimenterie de Beni-Saf appartenant à la wilaya d'Ain-Temouchent.

Ce ciment composé (CEM II/A) est le plus utilisé dans le domaine de la construction dans toute la région Nord-Ouest Algérien. Les compositions chimiques et minéralogiques (composition de Bogue) de ce ciment sont présentées dans le (TAB. II-1) et (TAB. II-2.) Les analyses chimiques et les compositions minéralogiques ont été réalisées dans le Laboratoire des Travaux Publics d'Oran (LTPO).

TAB. II-1. Analyse chimique du ciment [LTPO].

Composants	Quantité (%)
SiO ₂	28.14
Al ₂ O ₃	5.14
Fe ₂ O ₃	4.215
CaO	56.62
MgO	1.05
SO ₃	2.00
CaO libre	0.69
Perte au feu	1.38
Chlorures	0.03
Insolubles	9.59

Suivant la méthode de Bogue la composition minéralogique a été calculée et donné dans le tableau ci-dessous (TAB. II-2).

TAB. II-2. Composition minéralogique du ciment selon Bogue.

Composants	Quantité (%)
C ₃ S	51
C ₂ S	31.20
C ₃ A	6.70
C ₃ A	11.10

Donc le ciment utilisé dans cette étude, se caractérise par une très forte teneur en silice et au contraire une très faible teneur en C₃A Ces deux composants influence clairement sur le temps de début et fin de prise.

II.2.1.1 Caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Plusieurs essais ont été utilisés pour la détermination des caractéristiques physiques du ciment utilisé dans cette étude. Ces essais ont été conduits au laboratoire de génie civil à l'Université d'Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib.

TAB. II-3. Caractéristiques physiques du ciment Portland CEM II/A 42,5.

		Ciment CEM II/A 42.5
Ciment Anhydre	Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.011
	Masse volumique apparente lâche (g/cm ³)	1.054
	Masse volumique apparente compacte (g/cm ³)	1.570
	Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	2717
Pâte du Ciment	Consistance (%)	28
	Début de prise (heure)	2 H 45 min
	Fin de prise (heure)	6 H 00 min

II.2.2. Les granulats

II.2.2.1. Sable de mer (roulé)

Le sable est un constituant principal qui joue un rôle important dans la qualité du béton ou du mortier.

Dans tous les domaines de construction, les sables roulés sont préférables, car ils donnent des meilleurs résultats de point de vue de la maniabilité.

La propreté de ce dernier est vérifiée par l'essai d'équivalent de sable selon la norme NF P 18 598 ainsi que son module de finesse est vérifié selon la norme NF P 18 598.

Dans ce travail de recherche, le sable utilisé pour la fabrication de nos mortiers ordinaires est un sable de mer qui provient de la sablière de Terga (Wilaya de Ain-Temouchent).

II.2.2.2. Caractéristiques chimiques du sable de mer

L'analyse chimique a été réalisée au laboratoire des travaux publics de la région Ouest (LTPO) et les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau ci-dessous (TAB. II-4).

TAB. II-4. Analyses chimiques du sable de mer [LTPO].

Caractéristiques	Caractéristiques
SiO ₂	55.43
CaO	25.56
Fe ₂ O ₃	0.61
Al ₂ O ₃	0.07
SO ₃	0.00
CaCO ₃	42.05
CO ₂	18.50

➤ **Caractéristiques physiques du sable de mer**

Pour caractérisation physique de notre sable, nous avons effectué plusieurs essais dans le laboratoire.

- **Analyse granulométrique de sable selon la norme NA455 EN 933-8**
Cet essai consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat, dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 5 mm. Dans cette analyse granulométrique nous avons défini : les pourcentages de tamisât (%), le coefficient d'uniformité (Cu), le coefficient de courbure (Cc), ainsi que le module de finesse (Mf) de sable utilisé pour la fabrication de nos mortier.

TAB. II-5 Résultats de l'analyse granulométrique de sable

Tamis (mm)	Tamisât (%)
5	0
2.5	98
1.25	88.53
1.25	87.45
0.63	69.49
0.315	37.60
0.16	16
0.08	3

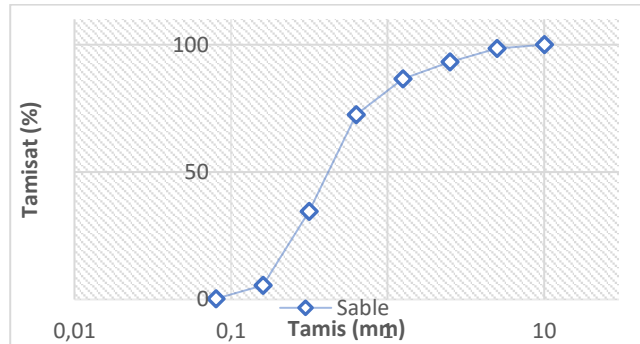


Fig. II-1. Courbe granulométrique du sable combiné.

- **Détermination de l'équivalent de sable selon la norme NA455 EN 933-8**

Le but de cet essai est de mesurer la propreté du sable utilisé pour la fabrication du matériau cimentaire envisagé. Selon les textes normatifs, les sables qui ont un équivalent de sable visuel (ESV) compris entre 75 et 85 sont parfaitement pour la fabrication des bétons ou mortier.

TAB. II-6 Résultats d'essais d'équivalentes de sable.

Essais N°	h1	h2	ESV (%)	ESV (%) moyenne
1	13,2	10,3	0,78	78.34
2	12,4	9,8	0,79	
3	12,7	9,9	0,78	

- **Équivalent de sable, masses volumiques et module de finesse de finesse**

Plus de détails ainsi que des modes opératoires, selon les textes normatifs, sont donnés en Annexes **F**, **C**, et **E** concernant ces essais.

En effet, les mesures des coefficients de l'équivalent de sable (selon la norme NA455-EN933-81999), visuel et à piston, donnent respectivement des valeurs de 78 et 79 %.

Sur cette base des résultats, nous classons ce sable comme : un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité.

Les résultats des masses volumiques apparentes, lâches et compactes, ont aussi données les valeurs de 1459 et 1678 kg/m³ respectivement.

Ce sable a aussi donner un module de finesse qui est égal à 2.46. Cette valeur a été vérifiée par la formule d'Abrams indiqué ci-dessus. Notons qu'un module de finesse doit être $2.2 < M_f < 2.8$ pour un sable optimal

Les résultats obtenus de cette caractérisation physique sont récapitulés dans

le TAB. II-7.

TAB. II-7 Caractéristiques physiques du sable de mer.

Sable de mer (0-1 mm)	
Masse volumique apparente compacte (kg/m ³)	1178
Masse volumique absolue (kg/m ³)	2555
Equivalent de sable visuel (%)	78.34
Module de finesse	2,13
Teneur en fines (%)	7,4
Coefficient d'uniformité Cu	5.26
Coefficient de courbure Cc	0.84

II.2.2.2. La perlite

La perlite utilisée est une perlite expansée fournie par l'entreprise LAMDA de la wilaya de BOUIRA. Avant de procéder à son expansion, la perlite passe par le broyage puis le chauffage à une température entre 800/1200°C dans un four spécial. Annex

A cette température, l'eau occluse se transforme en vapeur et fait office d'agent d'expansion, jusqu'à la constitution d'un grain léger, composé de microcellules closes et vides, multipliant son volume jusqu'à 20 fois.

Grâce à ces microcellules closes et vides, la perlite élimine tout échange thermique par conduction et rayonnement.

De plus, les grains de perlite immobilisent l'air présent, évitant la transmission thermique par convection. Après expansion, elle conserve encore toutes les propriétés initiales du minerai. Si nous prenons en compte le rapport coût-volume-capacité d'isolation, la perlite expansée est le matériau isolant le plus économique actuellement. Sa masse volumique est de l'ordre de 95 kg/m³ pour une fraction granulaire de 2 - 4 mm. [annexe I]

Sa composition chimique est indiquée dans le tableau suivant :

TAB. II-8. Composition chimique de la perlite utilisée

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
74±2.5	12.8±0.8	0.8	0.05	0.2	3.3±0.5	4.3±0.5	0.1

➤ **Caractéristiques physiques de la perlite**

TAB. II-9 Caractéristiques physiques de la perlite

Paramètre	Valeur
Couleur	Blanche
PH	7
Odeur	Inodore
Point de fonte	0,042
Température spécifique	0.20 kcal/kg °C
Densité	kg/m
Conductivité thermique	0.04 W/m°K
Comportement au feu	MO
Fraction granulaire (mm)	2-4



Fig. II-1 Agrégat de perlite expansée

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour les mélanges de mortiers est une eau potable, exempte d'impuretés, maintenue à une température constante, issue du robinet de laboratoire du département de génie civil de l'université d'Ain-Temouchent Belhadj Bouchaib. L'analyse chimique a été effectuée au LTPO et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous

TAB. II-8 Composition chimique de l'eau utilisé

Minéralisation	504.1
Turbidité	0.34
PH	7.1
Calcium	29.75
Magnésium	21.51
Bicarbonate	122
Chlorure	177.3
Sulfate	24.04
Nitrate	3.34
Fer	0.0
Ammonium	0.01

II.3. Recherche de la procédure de malaxage du béton léger à base d'agrégats

de perlite expansée

- **Première procédure**

Vu que les agrégats de perlite expansée sont très friables, le malaxage du béton léger à base de ces agrégats doit être effectué soigneusement pour éviter leur broyage et par conséquent la modification de leur granulométrie. On a essayé trois procédures différentes. La première consiste à malaxer le béton léger à l'aide d'un malaxeur à axe de rotation vertical. Les étapes de cette procédure sont les suivantes :

1. Malaxer à sec (le sable, le ciment et les agrégats de perlite expansée) jusqu'à homogénéisation
2. Ajouter la quantité de l'eau et malaxer jusqu'à homogénéisation complète du mélange

Avec cette procédure, on a remarqué que la majorité des agrégats de perlite sont broyés à cause du malaxage, la granulométrie des grains de perlite a changé vue leur friabilité et par conséquent le mélange a raidi.

➤ **Deuxième procédure :**

Pour remédier à ce problème nous avons pensé à une deuxième procédure dont les étapes son

1. Malaxer à sec (le sable et le ciment) jusqu'à homogénéisation.
2. Ajouter la quantité de l'eau et malaxer jusqu'à homogénéisation complète du mélange.
3. Remplir le moule par les agrégats de perlite.
4. Verser la quantité du mortier (très fluide) dans la matrice granulaire.

Le résultat obtenu par cette procédure est décourageant : le mélange obtenu est très hétérogène.

➤ **Troisième procédure :**

La troisième procédure a été approuvée et a donné satisfaction du produit. Il s'agit de :

1. Malaxer les quantités de sable, de ciment et de l'eau.
2. Incorporer la perlite expansée en une seule fois.
3. Malaxer doucement en un minimum de temps jusqu'à l'homogénéisation du mélange.

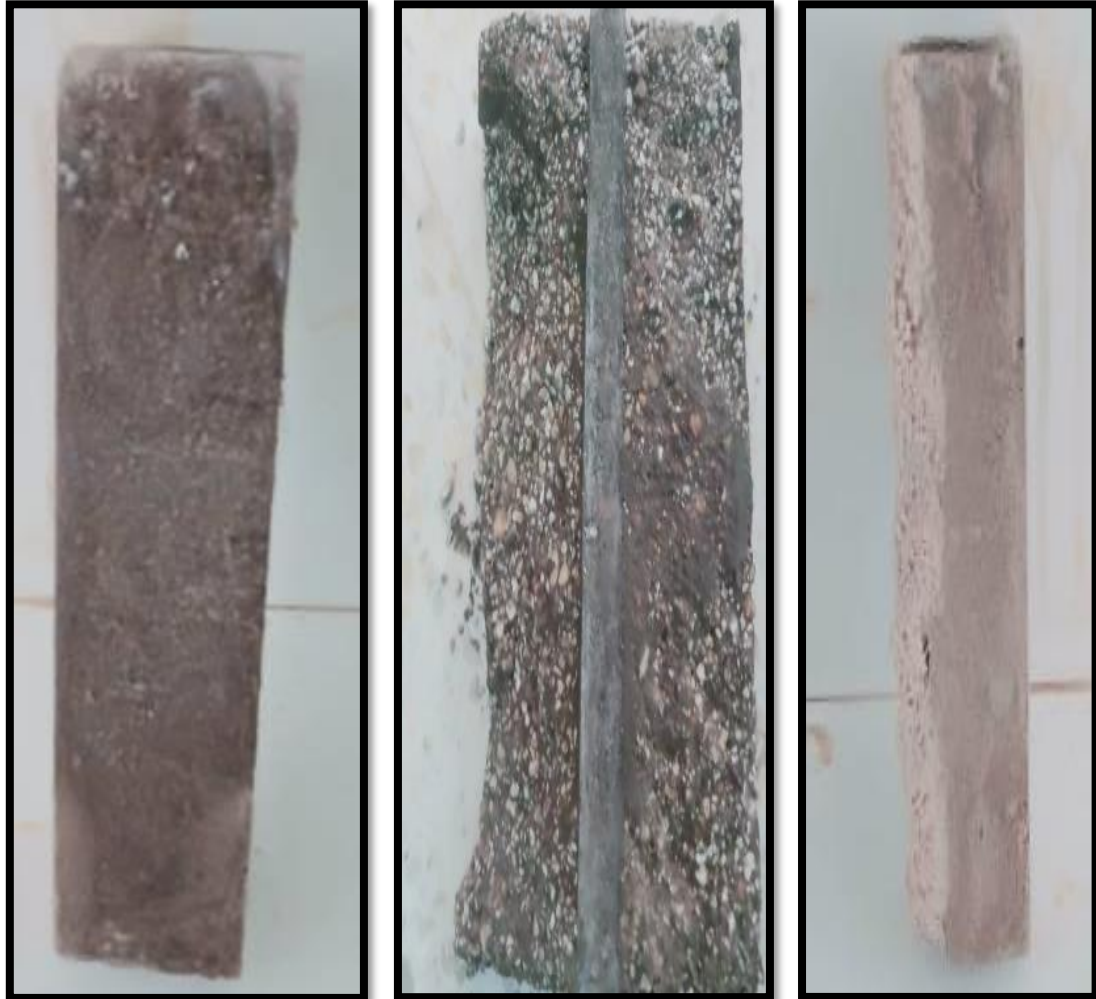


Fig. II-3 Photos des éprouvettes de B80 préparées selon les trois procédures de malaxage

II.4. Formulation des mortiers

Les différents bétons testés dans ce travail de recherche sont élaborés conformément aux compositions données dans le tableau TAB. II-9

TAB II-9. Composition des différent béton

Code des bétons	E/C	Sable 0/5		Perlite expansée 2/4			Ciment CEMI 32,5 [kg]	Eau [m3]
		[m3]	[kg]	[%]	[m3]	[kg]		
B0	0,70	1	1420	0	0	0	300	0,210
B15	0,70	0,850	1207	15	0,150	10,5	300	0,210
B45	0,70	0,550	781	45	0,450	31,5	300	0,210
B60	0,70	0,400	568	60	0,600	42	300	0,210

La confection de tous les gâchés a été effectuée dans une température ambiante de laboratoire . Le mode de préparation des gâchées a été uniformisé pour tous les types de béton préparés. En effet, après avoir pesé les quantités du sable (combiné) et du ciment, les composants sont introduits dans le malaxeur dans l'ordre suivant : (eau + ciment) et on commence le malaxage de ces deux constituants pendant 30 secondes avec une vitesse lente. Ensuite, et sans l'interruption de malaxage, le sable est introduit régulièrement pendant les 30 secondes suivantes. Une fois le sable est introduit, on donne une vitesse rapide au malaxage pendant 30 secondes. Le malaxage est interrompu par la suite pour racler les parois pendant 15 secondes afin d'homogénéiser le mortier. Ce temps d'arrêt de malaxage est au total de 1 minute et 30 secondes. Ensuite, on reprend le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes

Puit incorporer la perlite expansée en une seule fois, on reprend le malaxage doucement en un minimum de temps jusqu'à l'homogénéisation du mélange.

Quatre formulations ont été préparées en augmentant le pourcentage de la perlite expansée dans le mortier par substitution de sable c'est-à-dire, quatre proportions différentes d'agrégats de perlite par substitution de sable (0%,15%, 45%, 60%de volume du sable).



Fig. II-4Malaxeur automatique

Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes expérimentale

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm³ de mortier (Fig5), à raison de trois éprouvettes par essai et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc (Fig6),

Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans une salle de conservation.
Après 24 h

Fig. II-5Éprouvettes prismatiques



Fig. II-6 Table à choc

Les éprouvettes en nombre de douze par solution soient trois éprouvettes pour chaque mélange de béton seront conservées dans l'eau pendant 24 heures à une température de $20 \pm 24^{\circ}\text{C}$, avant d'être conservés dans les quatre solutions (Eau normale, Eau de mer, solution à 5% d'acide sulfurique H^2SO_4 et une autre à 5% de chlorhydrique HCL).

Après cette période de cure, les éprouvettes seront pesées pour déterminer leur poids initial avant l'attaque chimique, puis immergées dans les solutions. (Figure 6 Figure 7)



Fig. II-6: Epp avant l'attaque chimique



Fig. II-7: Epp après l'attaque chimique

Les éprouvettes seront pesées avec une balance de précision de 0.01g après les avoir nettoyées trois fois avec l'eau de robinet pour éliminer le mortier altéré et laissées sécher pendant 30 mn.

Cette opération de mesure de pesées sera effectuée aux échéances (07,28 et 60 jours).

La résistance aux agressions chimiques des éprouvettes immergées dans les solutions sera évaluée selon la norme ASTM C 267 [10] en mesurant la perte de masse.

Où M_1 est la masse de l'éprouvette avant immersion et M_2 est la masse de l'éprouvette nettoyée et séchée après immersion.

II.5. Mesures expérimentales

II.5.1. Essais destructifs

II.5.1.1. Essais de flexion

Pour la détermination de la résistance à la flexion, nous avons utilisé la méthode de la charge concentrée à mi-portée au moyen du dispositif de flexion normalisé (flexion à trois points).

Il s'agit dans cet essai d'appliquer une charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et de l'augmenter avec une vitesse constante jusqu'à rupture.

Un schéma indiquant le principe de cet essai est donné ci-dessous

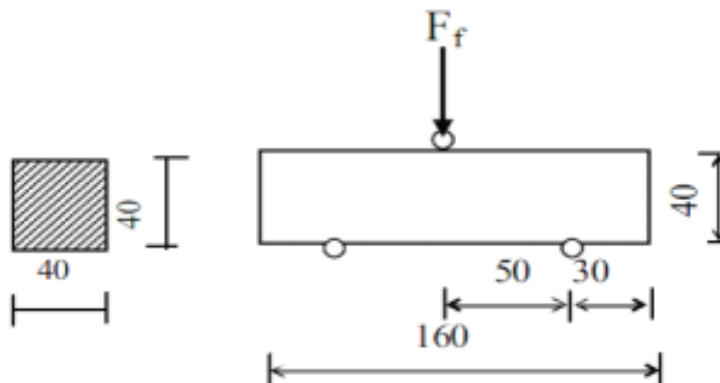


Fig. II-9 : Principe de l'essai de la flexion d'une éprouvette (4x4x16) cm

II.5.1.2. Essai de compression

Cet essai consiste à centrer chaque demi-prisme (obtenu suite à l'essai de la flexion) latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement, de façon que le bout

du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm (Fig. II-11).

L'application de la charge de compression doit être avec une vitesse constante jusqu'à la rupture.



Fig. II-10: Dispositif de compression

II.6. Essais non destructifs

II.6.1. Essai d'auscultation sonore

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes soniques à travers un élément du matériau (en mortier dans notre cas).

Cette vitesse d'ondes peut être déterminée dans les différents sens de l'élément testé (sens longitudinale ou transversale), lesquelles ont d'autant plus élevée que le matériau est plus dense donc plus résistant.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance connue.

L'appareil comprend un capteur mis en contact avec le matériau testé, un générateur d'onde, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage digital du temps mis par les ondes pour traverser le matériau (un milieu homogène, isotrope et élastique) entre les transducteurs (Fig. II-11).

➤ Paramètres influents la vitesse des ondes ultrasoniques dans un mortier

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers un mortier résulte du temps mis par les ondes pour le traverser. Alors, pour une composition donnée de mortier, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications du matériau durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- Le type de ciment,
- Le dosage en ciment,
- La nature des granulats,
- La granulométrie,
- L'humidité du béton,
- La maturité du béton,
- Les adjuvants, ...etc.

➤ Les avantages de l'essai de propagation des ultrasons

Selon CHUNG ET LAW (1983) [20] l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides, les détériorations dues au gel-dégel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables.

Alors, c'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du mortier.

Ainsi que l'essai ultrasoniques, non seulement il est utilisé sur des éprouvettes au laboratoire, mais il peut être utilisée autant in-situ sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.

L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel-dégel. Vu la taille des éprouvettes testées qui sont relativement petites, la méthode de mesure que nous avons utilisé dans notre travail de recherche est une méthode directe.

Cette méthode peut être aussi utilisée in-situ sur des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester (Fig. II-12)



Fig. II-12. Ultrason

II.6.2. Essai De Mesure La Conductivité Thermique

➤ **Méthode du fil chaud :**

Cette méthode est surtout utilisée pour mesurer la conductivité thermique des matériaux réfractaires isolants à haute température et les matériaux isolant en vrac. Un fil résistif est utilisé comme source de chauffage. Le fil généralement en platine sert aussi de capteur de température.

• **Le but :**

Le but Est de déterminer expérimentalement la conductivité thermique des échantillons.

• **Mode d'emplois :**

- Après séchage des échantillons.
- Laissez l'échantillon repose pendant 24 heures.
- Percez l'échantillon avec un diamètre de 2 mm et une profondeur de 1 cm.
- Versez la colle dans les deux trous.
- Allumez l'appareil.
- Placez les connecteurs à l'intérieur des deux trous.
- Allumez l'appareil et lire les données
- Répéter l'opération température de 200°C, 400°C et 600°C.



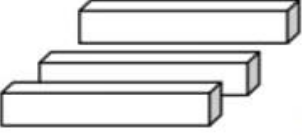
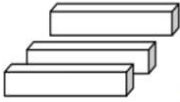
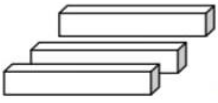
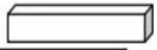
Fig. II-14 Appareil de mesure ce conductivité thermique



Fig. II-14 : Mesure de conductivité thermique

Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes expérimentale

Le TAB II-10 décrit, pour chaque type des essais effectués, le nombre des éprouvettes.

Type d'essai	Eprouvettes préparées	Nombre des éprouvettes testés
<u>Mesure Perte de masse</u>	 <p>3 éprouvettes 4 x 4 x 16 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour quatre dosages en perlite, immergées dans quatre solution différents l'essai Ultrason a été effectué pour trois âges différents aussi (7, 28 et 60 jours)</p> <p>$N = 3 (\text{ép}) \times 4 (\text{solu}) \times 4 (\% \text{perlite}) \times 3 (\text{âges}) = 144$</p>	144
<u>Essai Flexion & compression</u>	 <p>3 éprouvettes 4 x 4 x 16 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour quatre dosages en perlite, immergées dans quatre solution différents les essais flexion et compression ont été effectué pour trois âges différents aussi (7, 28 et 60 jours)</p> <p>$N = 3 (\text{ép}) \times 4 (\text{solu}) \times 4 (\% \text{perlite}) \times 3 (\text{âges}) = 144$</p>	144
<u>Essai Ultrason</u>	 <p>3 éprouvettes 4 x 4 x 16 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour quatre dosages en perlite, immergées dans quatre solution différents les essais de perlites ont été effectué pour trois âges différents aussi (7, 28 et 60 jours)</p> <p>$N = 3 (\text{ép}) \times 4 (\text{solu}) \times 4 (\% \text{perlite}) \times 3 (\text{âges}) = 144$</p>	144
<u>Essai de Conductivité thermique</u>	 <p>1 éprouvette 4 x 4 x 16 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour quatre dosages en perlite, immergées dans quatre solution différents les essais de perlites ont été effectué pour trois âges différents aussi (7, 28 et 60 jours)</p> <p>$N = 1 (\text{ép}) \times 4 (\text{solu}) \times 4 (\% \text{perlite}) \times 3 (\text{âges}) = 144$</p>	48

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une caractérisation des différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude. (Ciment, sable, eau de gâchage et perlite)

Le détail des différentes formulations a été présenté dans cette partie ainsi que des dispositifs expérimentaux et les modes opératoires.

Les méthodes expérimentales (dispositifs) choisies dans ce chapitre sont de très grand intérêt et peuvent être fiable pour effectuer une étude pour la valorisation de la perlite dans le béton, et la conservation des éprouvettes dans des solution agressifs telles que la méthode de la propagation des ondes ultrasoniques et la conductivité thermique.

Chapitre III :
Analyse et discussions des résultats

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons étudiés à l'état durci (perte de masse, résistance à la flexion et à la compression ainsi que la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques et la mesure de la conductivité thermique), conformément aux modes opératoires mentionnés dans le chapitre II. Une analyse et des discussions des résultats obtenus, suivies d'une comparaison entre les différentes méthodes de mesures, seront également présentées dans ce chapitre.

La vitesse des ondes ultrasoniques mesurées sur des éprouvettes du béton de différents âges et différents pourcentages de perlite sont aussi présentées en fonction de leurs immersions dans différentes solutions (eau de mer, acide sulfurique S_2O_4 , acide chlorhydrique HCL).

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

III.2. Influence de la perlite sur la perte de masse du béton des milieux agressifs

$$\text{perte de masse} = (\text{mambiant} - \text{mrefroidissement}) / \text{mambiant} \times 100$$

➤ 07 jours

Tab. III -1 Perte de masse des éprouvettes à 07jrs

		07 JRS							
		B0		B15		B45		B60	
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Eau de distillée		454,4	458,2	452,9	455,2	446,1	446,8	419,6	420,1
		462,8	464,2	451,8	453,8	445,2	447,8	432,9	434
		455,8	459,7	452,3	454,5	448,3	448,9	428	428,5
		457,67	460,7	452,33	454,5	446,53	447,833	426,83	427,533
Eau e mer		488,4	485,2	469,9	471,1	462,9	464,1	409,5	411,2
		471,7	473,9	470,3	483,2	459,8	461	408	409,2
		499,2	505,5	468,3	470,5	463,2	463,9	410,6	411,5
		486,43	488,2	469,5	474,93	461,97	463	409,37	410,633
HCL		473,5	469,2	455,1	452	455,2	453,8	425,2	424,6
		488	485	460,1	458,8	462,1	457	400	374,9
		462,4	453,8	468,2	465,9	453,6	451,9	409,2	408,8
		474,63	469,333	461,13	458,9	456,97	454,233	411,47	402,767
Acide sulfuriques		488,2	485,5	455,9	453,8	447,6	445,2	420	380,7
		478,5	487,5	460	457,5	454,2	451,5	429	354
		456,2	455,1	453,2	452	452,5	450,3	419	401,2
		474,3	476,033	456,37	454,43	451,43	449	422,67	378,633

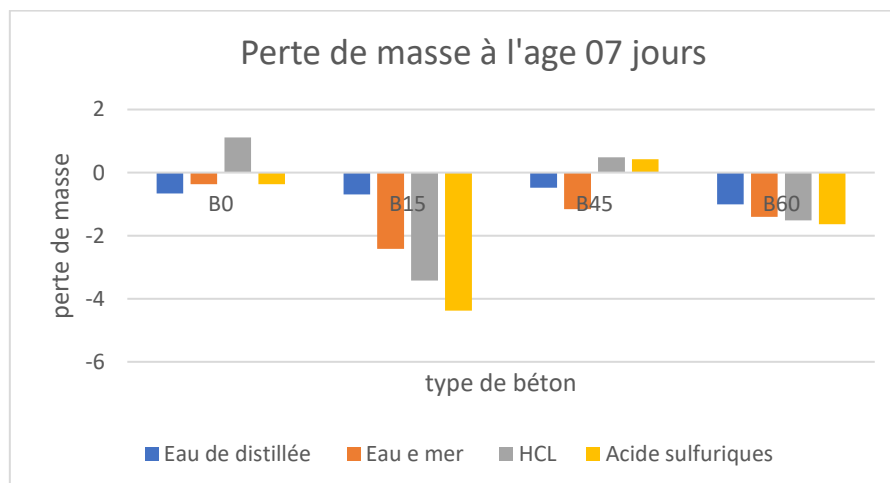


Fig. III .1

Evolution de la perte de masse des bétons avec différents pourcentage en perte dans des milieux agressifs et 07jrs

➤ A 28 jours

Tab. III -2 Perte de masse des éprouvettes à 28 jrs

		28JRS							
		B0		B15		B45		B60	
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Eau distillé		471,1	475,2	478,5	480	452,1	457	420	420,1
		483,2	490,1	469,9	477	450,9	454,1	433,9	434
		478	478,9	466,6	470	445,6	452,4	427,9	428,5
Moyenne		477,3	481,4	471,7	475,7	449,3	454,5	427,7	427,533
Eau de mer		453,2	455,2	458,2	459	458	446,8	421	422,3
		485,4	487,8	464,2	466,1	454,6	452	430	431,4
		477,1	479,5	459,7	463	457,5	486,9	423,2	422,9
Moyenne		471,9	474,17	460,7	462,7	456,7	461,9	424,3	425,533
HCL		473,5	455,1	457	455,1	454,4	447,3	424,6	419,2
		490,1	488	464,2	461,3	462,8	459,8	410,3	374,9
		468,2	455,4	459,7	457	455,8	450,1	411,5	405,3
Moyenne		477,7	466,17	460,3	457,8	457,7	452,4	415,7	399,8
Acide sulfuriques		488,3	485,8	477	473,6	457,4	451	421	380,7
		490,2	476,1	469,9	465,6	462,8	458	424,6	354
		467,2	465	458,3	455,3	460	448	430	401,2
Moyenne		481,9	475,63	468,4	464,3	460,7	452,33	425,2	378,633

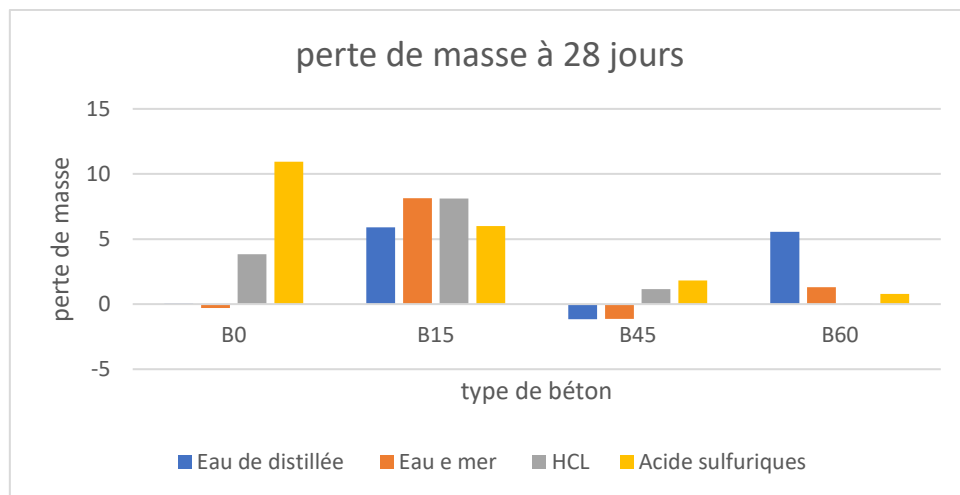


Fig. III .2

Evolution de la perte de masse des bétons avec différents pourcentage en perte dans des milieux agressifs et 28jr

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

➤ A 60 jours

Tab. III -3 Perte de masse des éprouvettes à 60jrs

60JRS								
	B0		B15		B45		B60	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Eau distillé	488,9	490,1	480,7	483,6	455,9	459,3	410,6	413,1
	471,5	471,8	493,8	495,1	462,3	464,9	432,9	429,5
	499,1	500	469	473,7	459,7	463,2	428	425
Moyenne	486,5	487,3	481,7	484,3	459,3	462,47	423,83	422,53 3
Eau de mer	466,2	467,3	467,3	470,2	452,9	455,2	420	425,6
	462,8	464,9	488,6	492,1	452,3	457,1	419	422,5
	464,3	466,7	481,5	488,3	456,8	459,7	425,2	430,8
Moyenne	464,3	466,3	479,3	483,3	454	457,33	421,4	426,3
HCL	481,2	470,6	469,9	461,3	456,2	450,3	423,6	413,6
	473,3	467,2	468,3	459,1	488,2	480	421	418
	483	470,8	470,3	459,9	478,5	470	424,6	407
Moyenne	479,7	469,53	469,5	460,1	474,3	466,77	423,07	412,86 7
Acide sulfuriques	493,4	481	488	480	455,9	448,2	419,6	408,7
	481,6	469,5	462,4	459	453,2	447,1	426,3	415,1
	465,4	453,8	473,5	460,2	460	450,3	431,3	418,3
Moyenne	480,3	468,1	474,3	466,4	456,7	448,53	425,73	414,03

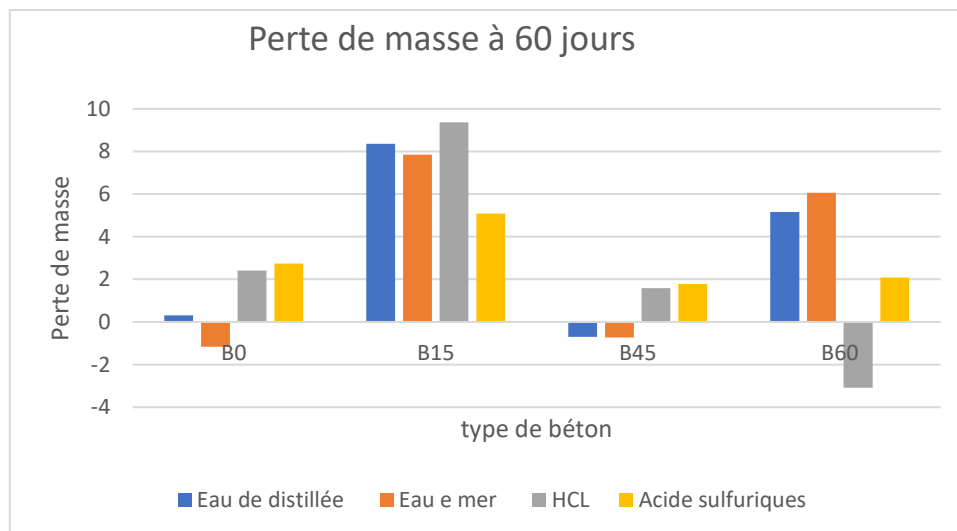


Fig. III.3

Evolution de la perte de masse des bétons avec différents pourcentage en perte dans des milieux agressifs et 60jrs

III.3. Influence de la perlite sur la résistance mécanique du béton dans des milieux agressifs

III.3.1. Résistance à la flexion

Les deux paramètres qui caractérisent le comportement en flexion des matrices cimentaires sont la première fissure et la résistance ultime en flexion [34]. Ces paramètres sont très importants et utiles pour les structures.

Dans cette partie, nous allons examiner le comportement à la flexion des différents béton étudiés en présences de la perlite avec différents dosages et dans différents milieux, en mesurant la résistance ultime en flexion.

La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée à laide de la formule suivante :

$$R_f = \frac{1.5PI}{b^3}$$

Où :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en Mpa.

b : est coté de la section carrée du prisme en millimètres.

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en newtons.

I : est la distance entre les appuis en millimètres.

Les résultats présentés sur les tableaux et les graphes ci-dessous, correspondent à la moyenne arithmétique de trois valeurs de résistance, obtenues à chaque âge différent (à 7,28 et 60 jours) du béton

➤ A07jrs

Tab. III -4 Résistances à la flexion en (Mp) à 07jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	0.04533	0.0515	0.06233	0.05067
B15	0.05267	0.06467	0.05367	0.04633
B45	0.05367	0.03667	0.05367	0.04933
B60	0.05067	0.05367	0.046	0.056

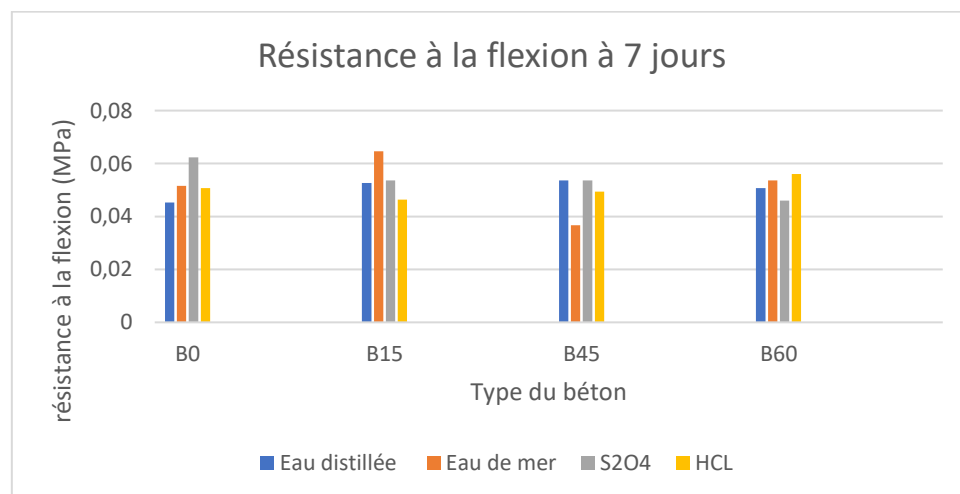


Fig. III .4

Evolution de la résistance à la flexion des bétons dans des milieux agressifs et avec différents pourcentages en perlite à 07jrs

➤ A 28 jrs

Tab. III -5 Résistances à flexion en (Mp) à 28jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	0.068	0.066	0.07567	0.056
B15	0.06467	0.067	0.069	0.05967
B45	0.05267	0.054	0.067	0.05133
B60	0.04967	0.04867	0.062	0.04933

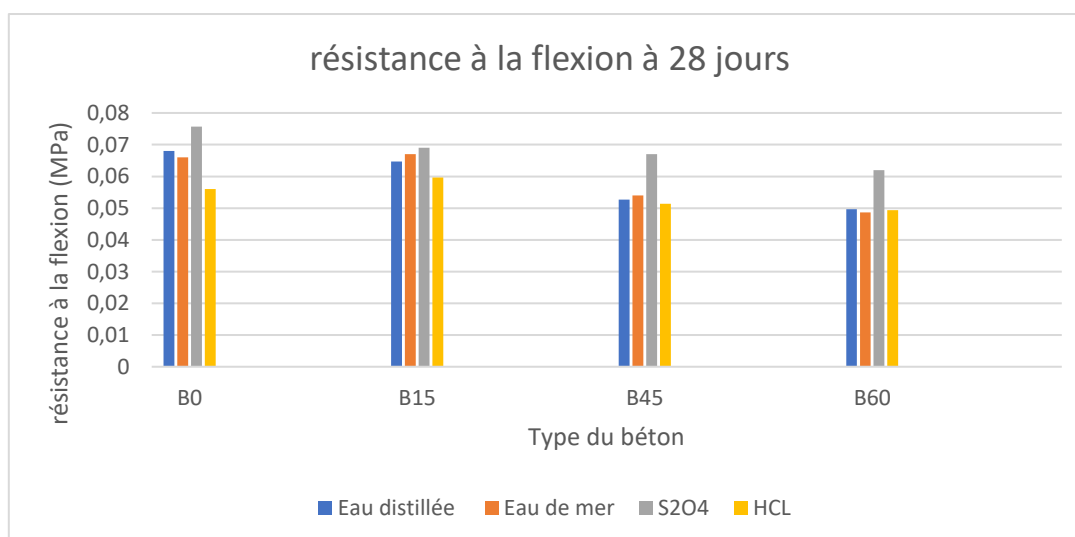


Fig. III .5

Evolution de la résistance à la flexion des bétons dans des milieux agressifs et avec différents pourcentages en perlite à 28jrs

➤ A 60jrs :

Tab. III -6 Résistances à la flexion en (Mp) à 60 jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	0.068667	0.083	0.056667	0.059
B15	0.052667	0.055667	0.055667	0.054333
B45	0.051	0.052333	0.052	0.044667
B60	0.049667	0.049333	0.050333	0.042333

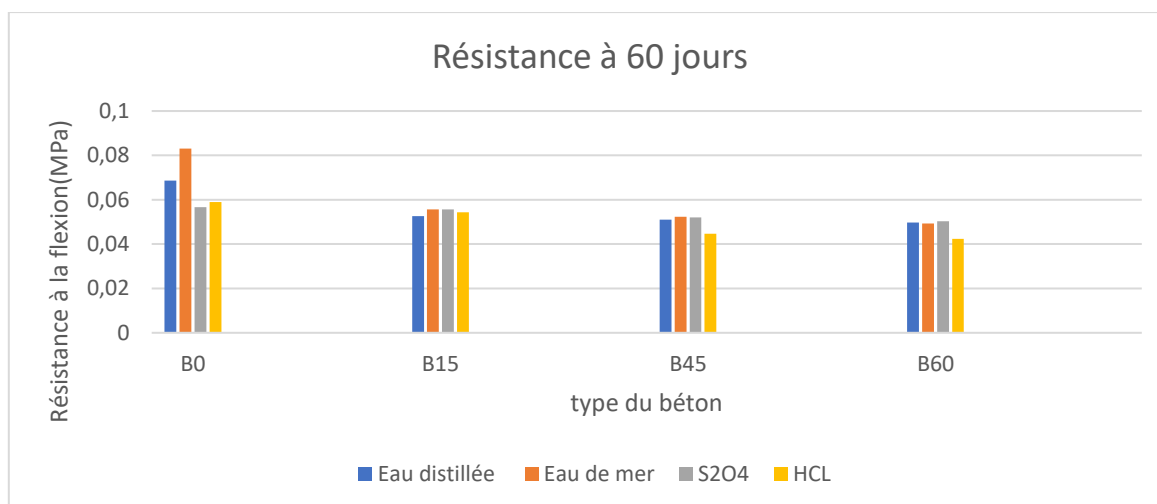


Fig. III .6

Evolution de la résistance à la flexion des bétons dans des milieux agressifs et avec différents pourcentages en perlite à 28jrs

III.3.2. Résistance en compression :

La résistance en compression est une donnée importante pour la conception d'un matériau cimentaire. Les autres propriétés mécaniques, comme la résistance à la traction et à l'effort tranchant, le module d'Young, la relation contrainte déformation, sont reliées diversement à la résistance en compression.

La résistance à compression R_c (en N/mm^2) est calculée à partir de la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

R_c : Résistance à la compression en (Mpa).

F_c : charge de rupture en (N).

b^2 : Cot de l'ouverture est égale à 40mm.

Les résultats présentés sur les tableaux et les graphes ci-dessous, correspondent à la moyenne arithmétique de trois valeurs de résistance, obtenues à chaque âge différent (à 7,28 et 60 jours) du béton.

➤ **A 07jours**

Tab. III -7 Résistances à la compression en (Mp) à 07 jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	7.43	8.39	15.44	13.96
B15	8.4	12.56	14.17	10.33
B45	8.29	7.27	13.83	10.19
B60	9.72	7.72	15.71	17.06

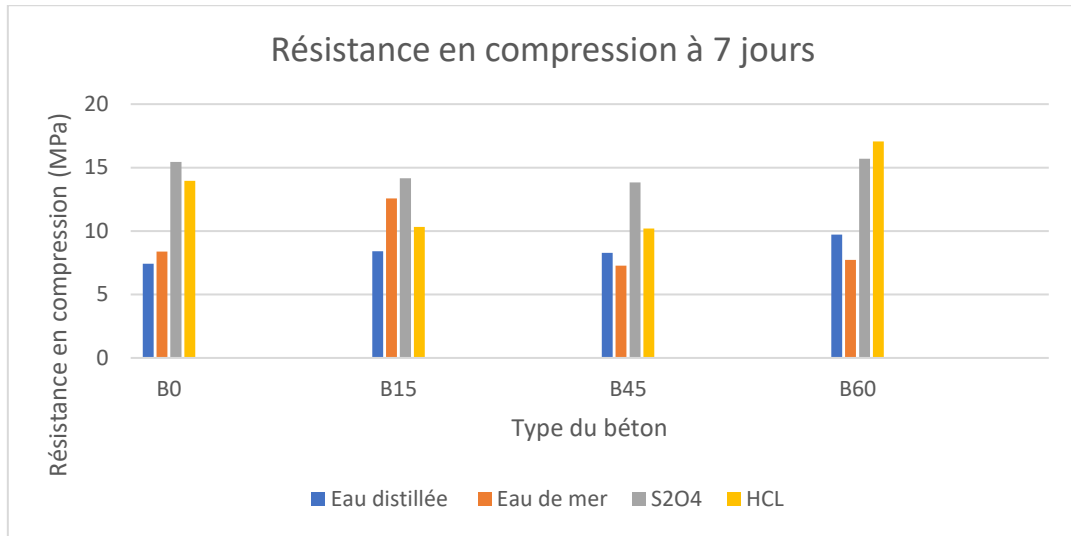


Fig. III .7

Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction différents pourcentages en perlite à 07jrs

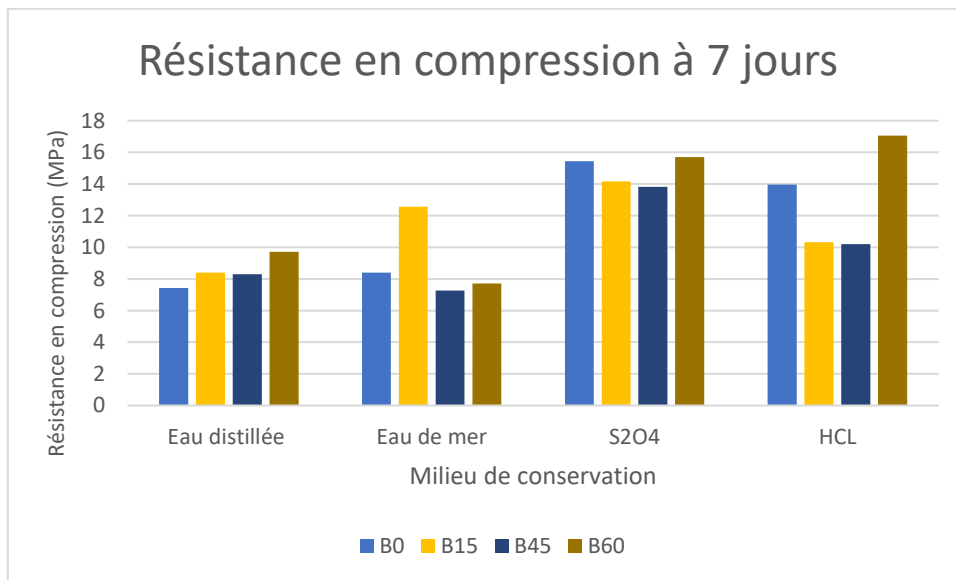


Fig. III .8

Evolution de la résistance à la compression des bétons en des milieux de conservation à 07jrs

➤ A28jrs

Tab. III -8 Résistances à la compression en (Mp) à 28 jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	26.99	17.98	16.58	13.96
B15	26.02	16.25	14.29	10.33
B45	18.16	18.94	22.71	10.19
B60	15.08	16.73	19.68	17.06

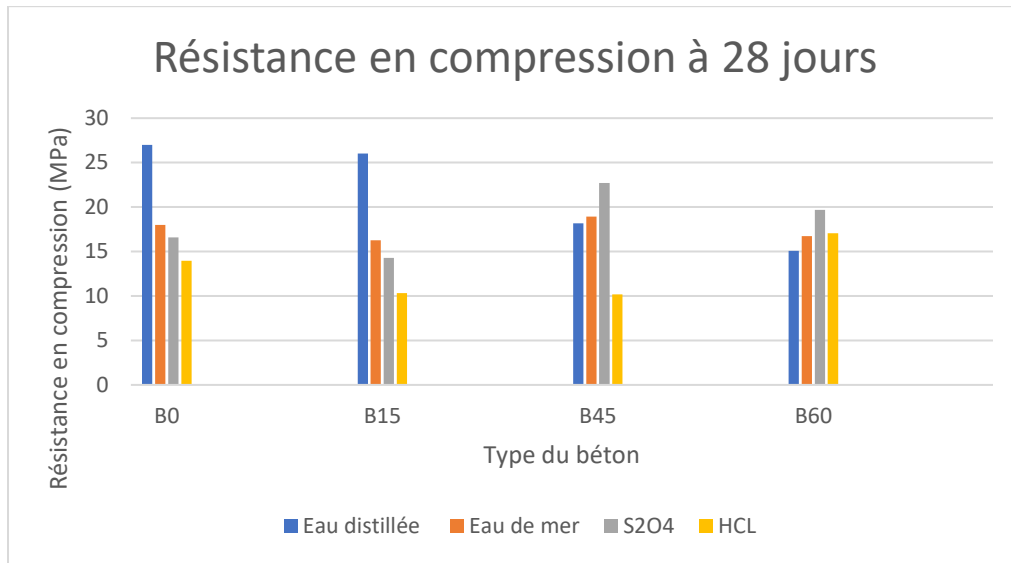


Fig. III .9

Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction différents pourcentages en perlite à 060jrs

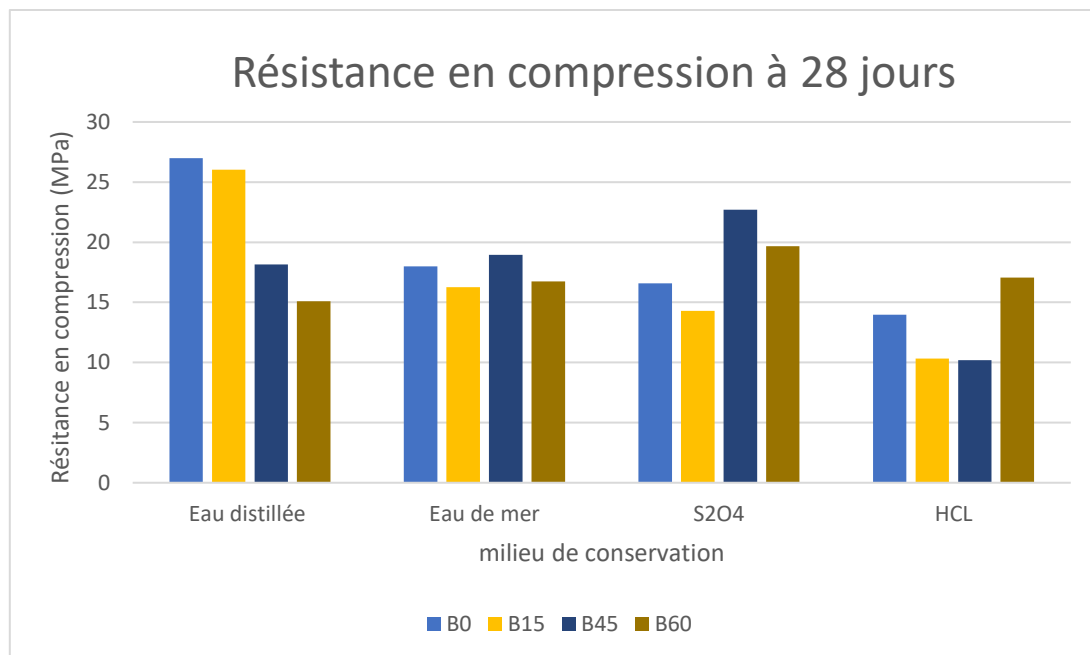


Fig. III .10

Evolution de la résistance à la compression des bétons en des milieux de conservation à 60jrs

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

➤ A60jrs

Tab. III -9 Résistances à la compression en (Mp) à 60jrs

Type du béton	Eau distillée	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	30.87	16.89	16.43	31.25
B15	14.2	29.67	13.93	19.25
B45	17.56	21.06	12.58	18.64
B60	16.82	18.77	11.43	16.03

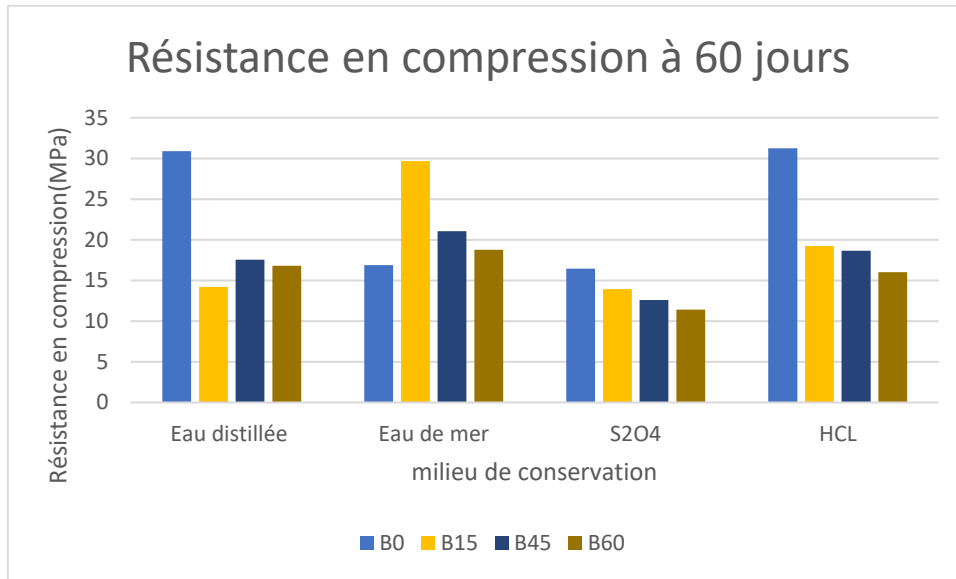


Fig. III .11

Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction différents pourcentages en perlite à 060jrs

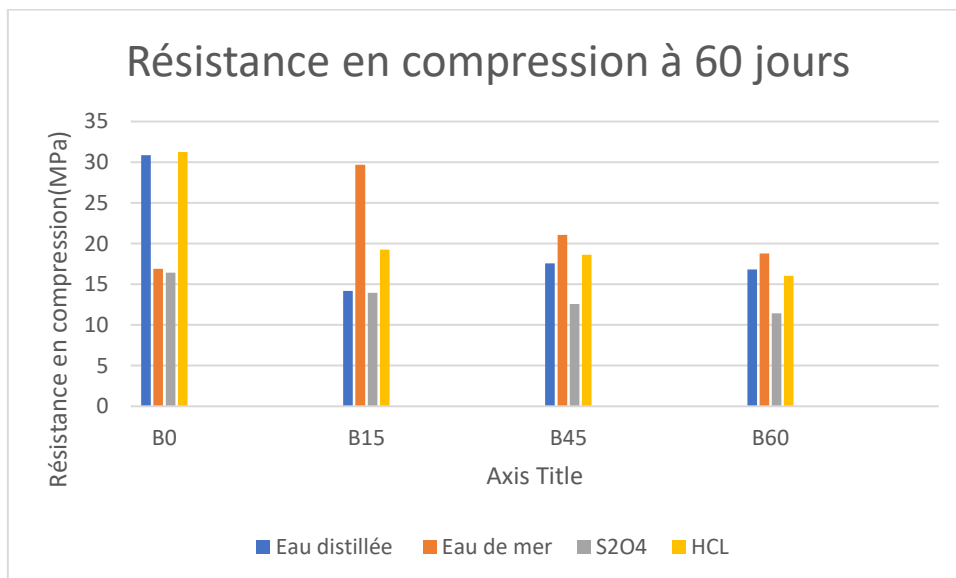


Fig. III .12

Evolution de la résistance à la compression des bétons en des milieux de conservation à 60jrs

III.4. Mesures de la vitesse d'ondes ultrasoniques :

Après 28 jours de la date de coulage d'éprouvettes prismatiques ont été testées à l'ultrason.

Les vitesses des ultrasons ont été déterminées par mesure du temps, de parcours sur une série de trois éprouvettes pour chaque formulation de mortier utilisée.

Pour une meilleure précision, nous avons répété l'essai trois fois sur chaque éprouvette, et nous avons par la suite calculé la moyenne des trois mesures obtenues sur chaque éprouvette de mortier.

Ces résultats sont représentés dans les tableaux au-dessous et sur un histogramme tel que schématisé sur la figure suivante :

Tab. III -10 .: Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons dans le béton

	Eau distillé	Eau de mer	S2O4	HCL
B0	5536.66	5342	4653.66	4653.66
B15	5230.33	4860.33	4954.66	4954.66
B45	5160.33	4640.33	4652.33	4652.33
B60	4029.33	4002.33	3892.66	4106

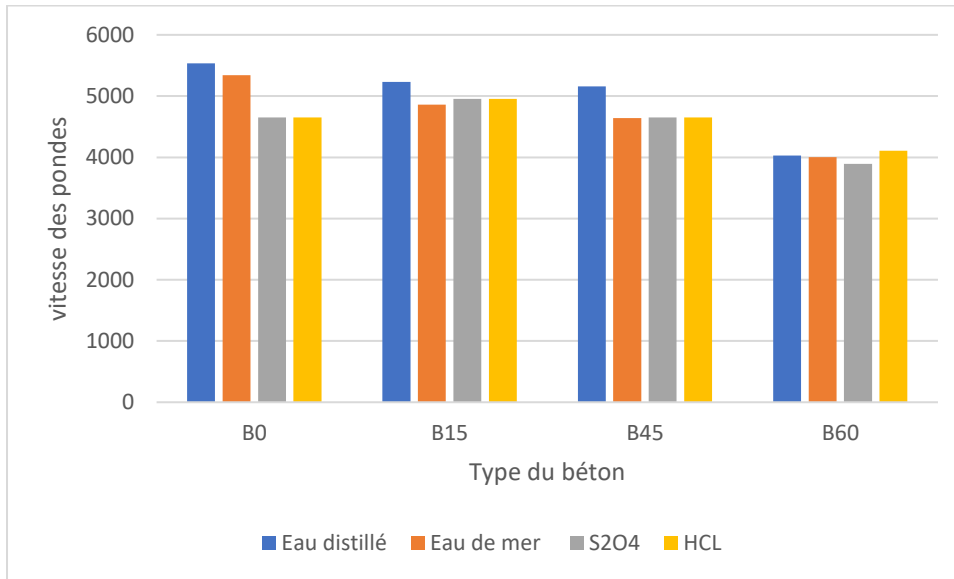


Fig. III .13

Evolution de la vitesse longitudinale en fonction différents pourcentages en perlite

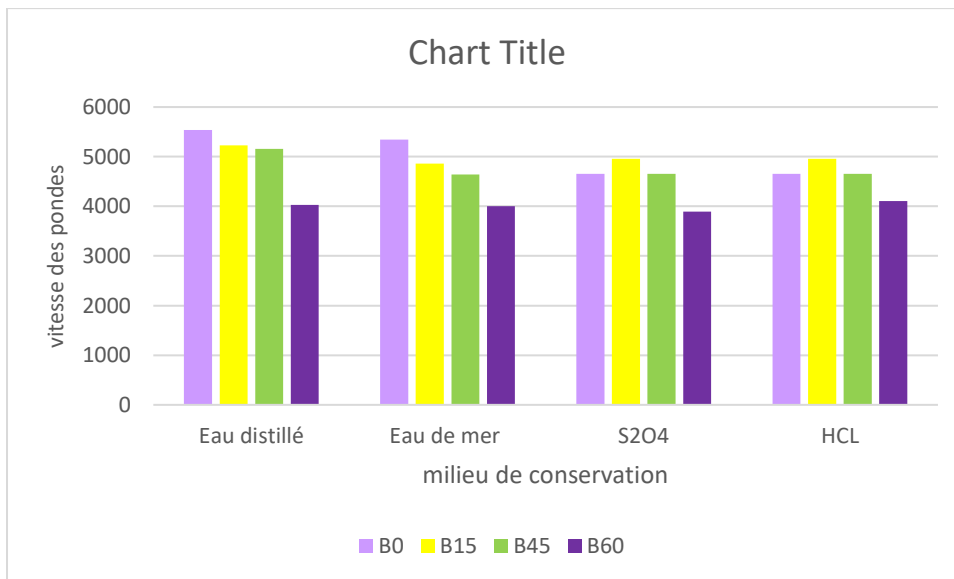


Fig. III .14

Evolution de la vitesse longitudinale en fonction différents milieux de conservation

III.5. Essai de mesure de conductivité thermique

Pour rendre compte de la performance d'isolation thermique d'un isolant, on a besoin de connaître la résistance aux transferts de chaleur présentée par ce matériau d'épaisseur donnée, pour une unité de surface et de temps données, Plus la résistance thermique R est grande, plus le matériau est isolant.

La résistance thermique R (en $m^2.K/W$) dépend de l'épaisseur (e exprimée en mètre) et de la conductivité thermique (λ) du matériau : $R = e / \lambda$.

- Plus le lamda est faible, plus la résistance thermique est élevée
- Plus l'épaisseur est importante, plus la résistance thermique est élevée

➤ **Essai de conductivité 07jrs**

**Tab. III -11 : conductivité Eau
de mer à 07jrs**

	f	K	C	D	T
B60	179,2	558	1,67	0,347	28,61
B15	228,92	0,438	0,825	0,531	28,92
B45	147	0,68	0,728	0,934	29,21
B60	536,7	0,186	0,649	0,287	29,22

**Tab. III -12 : conductivité Eau
de distillé à 07jrs**

	f	K	C	D	T
B60	200,9	0,498	0,755	0,66	29,02
B15	154,7	0,646	0,282	2,293	29,43
B45	453,5	0,221	0,481	0,458	29,9
B60	169,5	0,59	1,326	0,445	29,05

**Tab. III -13 : conductivité
Acide sulfurique à 07jrs**

	f	K	C	D	T
B60	330,3	0,303	0,553	0,546	29,77
B15	198,2	0,505	1,285	0,393	29,6
B45	46,15	2,167	1,109	1,954	29,73
B60	292,1	0,342	0,453	0,756	29,45

**Tab. III -14 :conductivité HCL
à 07jrs**

	f	K	C	D	T
B60	328,9	0,304	1,59	0,191	32,61
B15	117,3	0,853	1,6	0,533	28,97
B45	197,3	0,507	0,767	0,661	29,33
B60	200,5	0,499	1,142	0,437	33,19

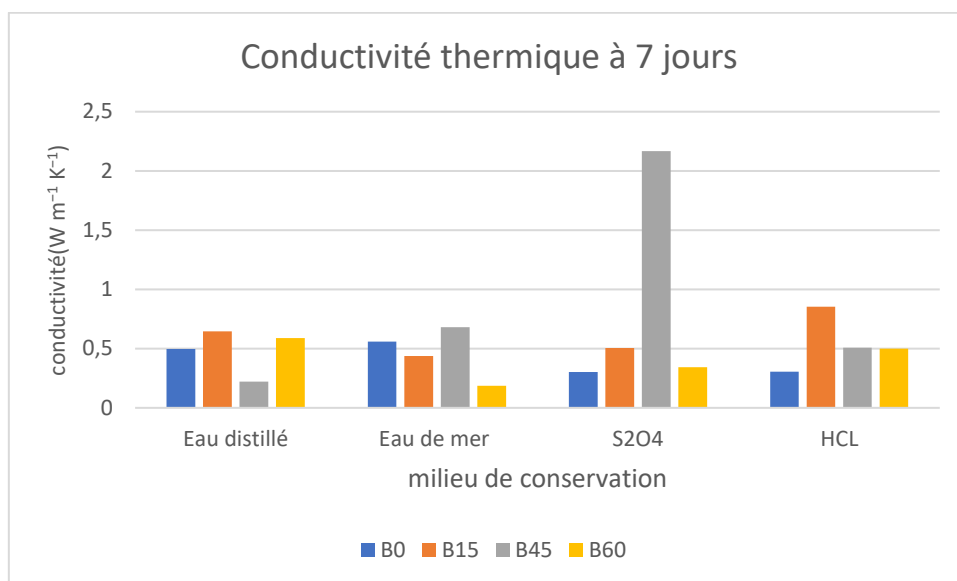


Fig. III .15

Evolution de la conductivité thermique en fonction différents pourcentages en perlite à 07jrs

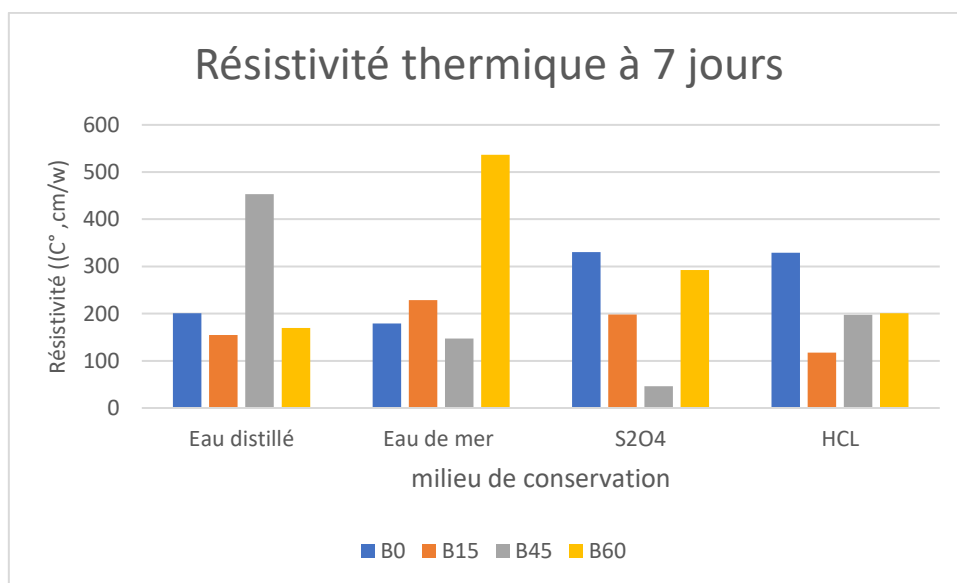


Fig. III .16

Evolution de la vitesse longitudinale en fonction différents milieux de conservation à 07jrs

➤ **Essai de conductivité thermique à 28jrs**

Tab. III - 15: conductivité Eau
de mer à 28jrs

	f	K	C	D	T
B0	63,43	1,577	5,331	0,296	29,43
B15	729,3	0,137	0,951	0,144	29,29
B45	201,7	0,496	2,614	0,19	28,98
B60	169,2	0,668	3,855	0,322	28,23

Tab. III -16 : conductivité Eau
de distillé à 28 jrs

	f	K	C	D	T
B0	106,6	0,938	1,55	0,605	28,51
B15	101,8	0,982	3,261	0,301	28,38
B45	84,04	1,19	2,24	0,531	29,05
B60	78,3	2,601	1,236	0,342	28,79

Tab. III -17 conductivité Acide
sulfurique à 28 jrs

	f	K	C	D	T
B0	50,32	1,987	3,887	0,511	29,93
B15	49,49	2,02	4,929	0,41	29,46
B45	83,18	1,202	3,677	0,327	30,09
B60	97,2	0,362	1,985	0,123	30,21

Tab. III -18 : conductivité
HCL à 28 jrs

	f	K	C	D	T
B0	133,6	0,749	4,93	0,152	29,81
B15	174,2	0,574	4,322	0,133	29,45
B45	129,7	0,771	2,403	0,321	28,51
B60	201,2	0,489	1,224	0,425	29,92

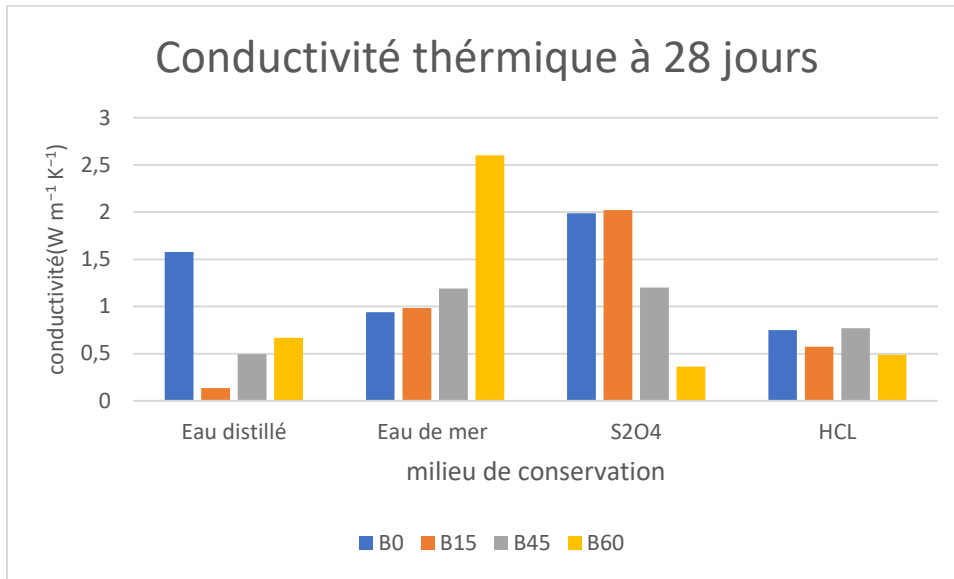


Fig. III .19

Evolution de la conductivité thermique en fonction différents pourcentages en perlite à 28jrs

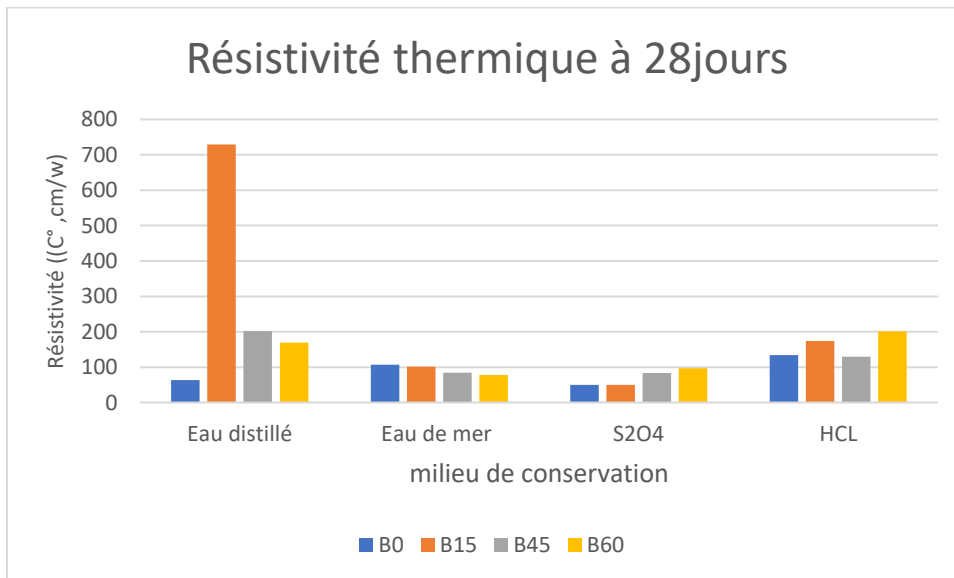


Fig. III .20

Evolution de la vitesse longitudinale en fonction différents milieux de conservation à 28jrs

➤ **Essai de conductivité thermique à 60jrs**

**Tab. III -19 : conductivité
Eau de mer à 60jrs**

	f	K	C	D	T
B0	89,65	1,115	1,729	0,645	26,14
B15	129,9	0,788	2,139	0,368	26,3
B45	111,6	0,896	2,068	0,433	25,48
B60	1331,2	0,954	2,123	0,422	25,15

**Tab. III -20 : conductivité
Eau de distillé à 60 jrs**

	f	K	C	D	T
B0	159,5	0,627	1,521	0,412	26,17
B15	384,3	0,26	1,834	0,142	26,19
B45	130,5	0,766	2,135	0,359	25,5
B60	101,3	0,978	2,965	0,331	25,31

**Tab. III -21 conductivité
Acide sulfurique à 60 jrs**

	f	K	C	D	T
B	74,17	1,348	1,95	0,691	26,54
B15	50,3	1,988	0,715	2,781	27,54
B45	245,4	0,408	1,266	0,322	25,8
B60	199,2	0,514	0,777	0,502	26,5

**Tab. III -22: conductivité
HCL à 60jrs**

	f	K	C	D	T
B0	196,9	0,508	1,605	0,316	26,37
B15	134,8	0,742	1,833	0,405	25,85
B45	95,49	1,047	1,963	0,534	25,89
B60	198,2	0,599	1,712	0,433	26,32

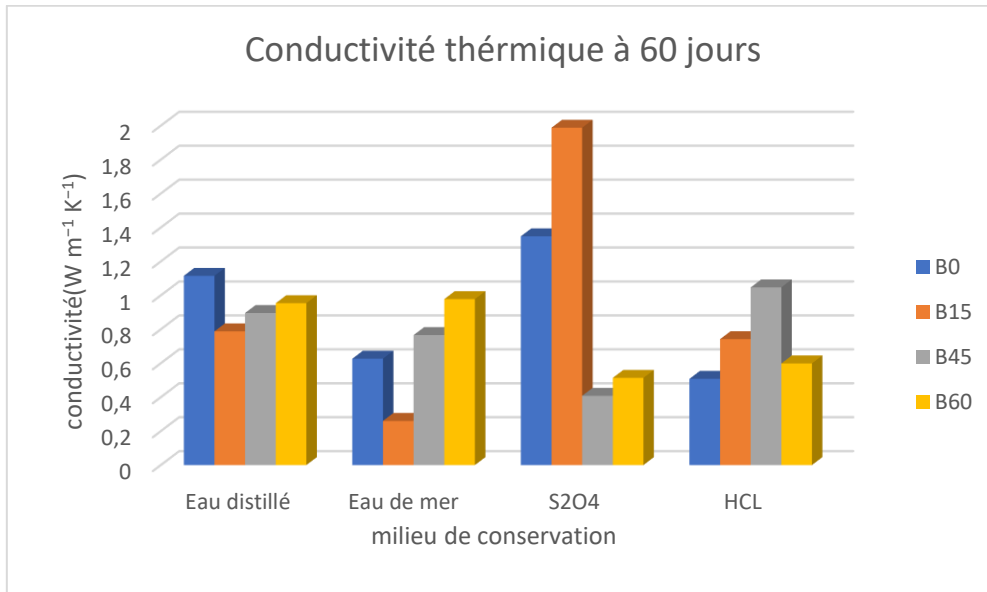


Fig. III .21

Evolution de la conductivité thermique en fonction différents pourcentages en perlite à 60jrs

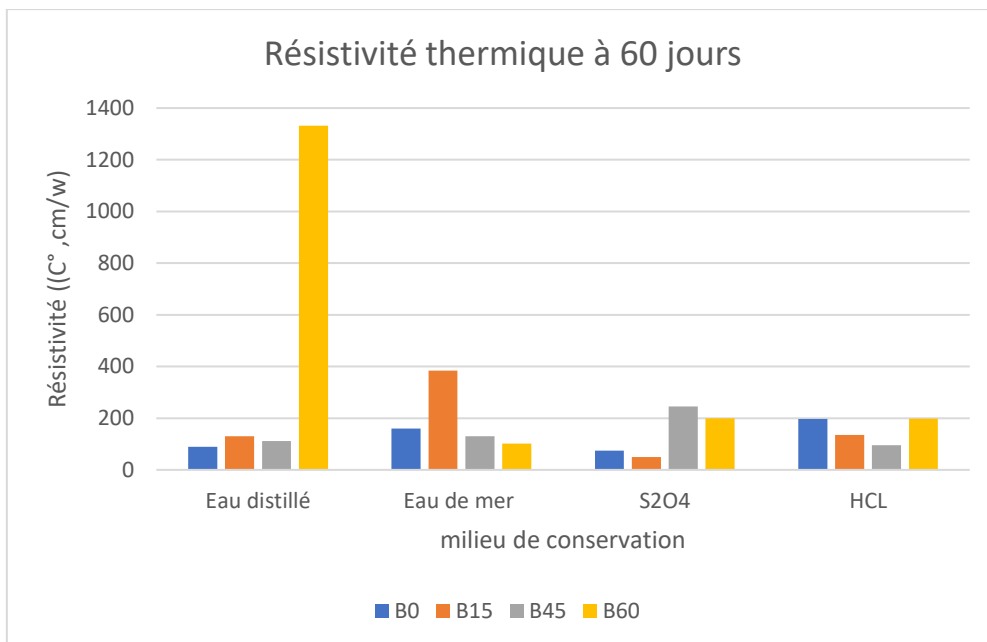


Fig. III .22

Evolution de la vitesse longitudinale en fonction différents milieux de conservation à 28jrs

III.6. Conclusion

Notre travail avait pour objectif l'étude de l'influence de l'ajout de la perlite expansée dans les mortiers, en substitution de sable avec des pourcentages différents :

[0%, 15%,45%,60%] du volume du sable dans quatre milieux différents (eau de mer, acide sulfurique S_2O_4 , acide chlorhydrique HCL) , ceci, nous a mené à présenter les caractéristiques de la perlite en premier temps, ensuite, on a fait des essais mécaniques à l'état frais (Maniabilité) et à l'état durci (Masse volumique, résistance à la compression et à la traction.), et une étude thermique et acoustique pour comprendre le rôle de la perlite expansée en tant que matériau isolant avec de bonnes performances mécaniques. L'analyse des résultats nous a permis de faire sortir les points suivants :

- L'ajout de la perlite expansée par substitution de sable permet de diminuer la masse volumique du mortier, ce qui est un avantage pour la légèreté.
- La consistance de la pâte obtenue augmente par l'ajout de la perlite expansée.
- L'ajout de la perlite expansée influence la résistance à la compression, d'une façon proportionnelle.
- La perlite expansée n'affecte pas vraiment traction, on voit seulement une petite diminution.
- Les figures présentées ci-dessus montrent que la résistance en compression augmente en fonction de l'âge du matériau (à 7, 28 et 60 jours). Cela est remarquable pour tous les mortiers étudiés avec les différents dosages en perlite (0, 15, 45et 60 %) et les différents solutions de conservation (eau de mer eau distillée HCL et l'acide sulfurique).
- La perlite est un matériau imperméable, ce qui mène à la diminution de la capillarité.
- On remarque la diminution du coefficient de conductivité thermique ce qui explique que la perlite expansée est un bon isolant thermique même dans les milieux agressifs car elle diminue les déperditions et elle augmente la résistance thermique.
- Les variations de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques, mesurée dans le sens longitudinal de l'éprouvette, à des âges différents, montrent que la vitesse se réduit dans les milieux agressifs

- Selon l'étude acoustique, on peut dire que la perlite expansée est un isolant phonique aussi. Pour conclure, on dit que la valorisation de ce produit local est indispensable, car il nous permet d'avoir des avantages sur divers plans, et ceci s'introduit dans le confort du bâtiment qui est devenu désormais nécessaire de nos jours. Il est donc très intéressant de travailler sur une formulation avec ajout de perlite expansée et substitution de sable en cherchant le dosage optimal pour l'obtention de meilleures performances.


Références bibliographiques

- [1] Erdem, T. K., Meral, C., Tokyay, M. U. S. T. A. F. A., & Erdogan, T. Y. (2007). Effect of ground perlite incorporation on the performance of blended cements. In Proc. Int. Conf Sustain. Constr. Mater. Technol., Taylor and Francis, London, ISBN (Vol. 13, pp. 978-0).
- [2] Guenanou, F., Khelafi, H., & Aattache, A. (2019). Behavior of perlite-based mortars on physicochemical characteristics, mechanical and carbonation: Case of perlite of Hammam Boughrara. *Journal of Building Engineering*, 24, 100734.
- [3] Mémento roches et minéraux industriels P.Thibou,A.Coumoul décembre 2000 BRGM/RP-50469-RF
- [4] Chihaoui, R., Khelafi, H., Senhadji, Y., & Mouli, M. (2016). Potential use of natural perlite powder as a pozzolanic mineral admixture in Portland cement. *Journal of adhesi*
- [5] Mémento roches et minéraux industriels Bureau de recherche géologique et minière (service géologique minière
- [6] Ayed Kada(1), Midoune Narimene(1), Mechebek Souad(2)
- [7] GUENANOU Farida (Durabilité des mortiers contenant la perlite vis-à-vis de la corrosion des armatures. 2018/2019)
- [8] Laoufi L., Mouli M., Senhadji Y., 2015, "A Study of Natural Pozzolan Mortars Exposed to Chlorides as a Sustainable Building Material", *Key Engineering Materials* 650: 105-113
- [9] Mezaouri Sarra & Draï Kaouter Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Temouchent (2017/2018)
- [10] . Ghrici M., Kenai S., Meziane E., *J. Mater. Sci.* 41 (2006) 6965.
- [11] Siad H., Influence du type d'addition minérale sur le comportement physico-mécanique et sur la durabilité des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat, INSA de Rennes, France (2010).
- [12] .Laoufi L., Comportement Mécanique et Structurel du Béton dans un Environnement Agressive, thèse de doctorat, ENPO, Oran, Algérie (2015).
- [13] NA 442-2008, Liants Hydrauliques - Ciments Courants, Composition, Spécification et Critères de Conformité”, IANOR, Alger (2008).
- [14] NF P 15 – 403-1996, Sable normal et mortier normal, AFNOR – Paris (2006).
- [15] ASTM C 267-2001, Chemical resistance of mortars, grouts, and monolithic surfacings and polymer Concretes, West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International (2001).

Références bibliographiques


- [16] ASTM C 1437-2001, « Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar».
- [17] NF EN 196-3-2009, Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité (2009).
- [18] Senhadji Y., L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfates). Thèse de doctorat, USTO – Oran (2013).
- [19] Ghrici M., Etude des propriétés physico Mécaniques et de la durabilité des ciments à base de pouzzolane naturelle. Thèse de doctorat d'état en génie civil. USTMB d'Oran, Algérie (2006).
- [20] SH Chung, CK Law «Structure and extinction of convective diffusion flames with general Lewis numbers 1983/1/1”.
- [21] Laoufi L., Mouli M., Senhadji Y., 2015, "A Study of Natural Pozzolan Mortars Exposed to Chlorides as a Sustainable Building Material", Key Engineering Materials 650: 105-113
- [22] Siad H., Influence du type d'addition minérale sur le comportement physico-mécanique et sur la durabilité des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat, INSA de Rennes, France (2010).
- [23] .Laoufi L., Comportement Mécanique et Structurel du Béton dans un Environnement Agressif, thèse de doctorat, ENPO, Oran, Algérie (2015).
- [24] Elayesh, 2009. Performance of Laterite Agrégats Concrete. Université Technologie Malaysia,
- [25] . Ghrici M., Kenai S., Meziane E., J. Mater. Sci. 41 (2006) 6965
- [26] <https://www.gammvert.fr/conseils/conseils-de-jardinage/qu-est-ce-que-la-perlite>
- [267] <http://obsidienne.com.tn/perlite-de-filtration/>

Annex A



Centre universitaire d'Ain Jemouahem

Institut des Sciences et de la Technologie - Département de Génie Civil



FICHE DE MANIPULATION

**CONSISTANCE ET TEMPS
DE PRISE DU CIMENT**

➤ **Principe de l'essai:**

L'essai consiste à suivre la transformation d'un état d'un matériau visqueux, facile à travailler à l'état d'un matériau durci (plus difficile voire impossible à travailler).

Le temps de début de prise est déterminé à l'instant où l'aiguille de Vicat (S= 1 mm², masse = 300 g) ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment à consistance normalisée.

En effet, pour chaque liant utilisé, il y'a une teneur en eau nécessaire qui donne à la pâte une consistance dite "normale".

La détermination de cette teneur en eau est en fait un préalable à la mesure de la prise.

L'appareil de Vicat est utilisé à la fois pour la détermination de la consistance normale ainsi qu'à la mesure du temps de début de prise.

➤ **Essai de consistance (EN 196-6):**

◆ **Matériel utilisé:**

- Salle climatisée: L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de 20°C± 1°C et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à 20°C± 1°C.
- Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (lente 140 tr/min et rapide 285 tr/min).
- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français).

L'appareil est composé d'un moule tronconique (h=40 mm d1= 70 mm et d2= 80 mm) et d'une tige oscillante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi = 10$ mm,

- Balance précise à 0,1 g près,
- Chronomètre précise à 0,1 s près

◆ **Mise en œuvre:**

On procède par tâtonnements :

- préparer 0,5 kg de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,26 verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment,
- mettre le malaxeur en marche (voir le tableau qui suit pour la marche à suivre) et déclencher le chronomètre

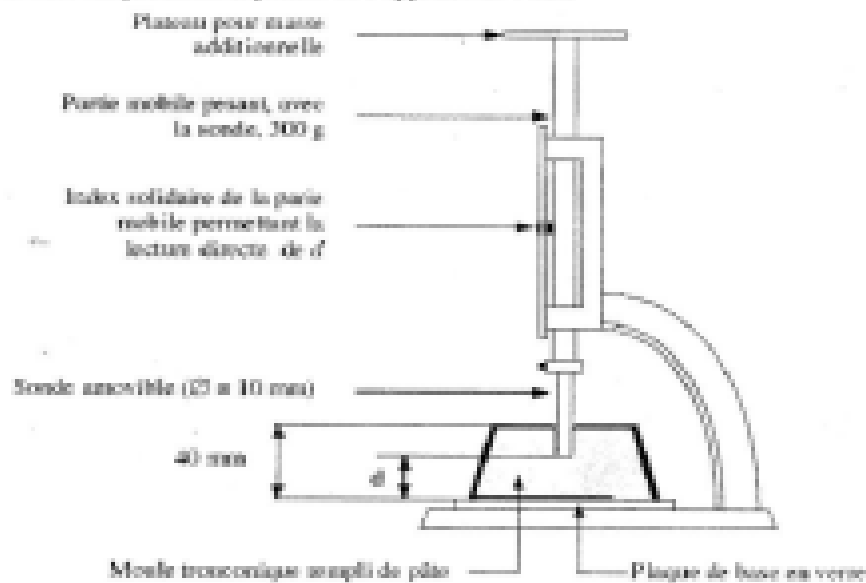
Opérations	Interruption de ciment	Interruption de l'eau	Mètre arrêté	Flacage de l'eau	Mètre arrêté
Sortie des opérations		5 à 10 s	30 s	15 s	30 s
Fin du malaxeur	Arrête		Mètre arrêté	Arrête	Mètre arrêté

- la pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassage ni vibration excessifs. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-

Fiche des travaux pratiques de matériaux de construction pour l'année 2011/2012

Page 1

vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.



• la sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte, lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

• la pâte sera à consistance normale si $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$:

si $d > 7 \text{ mm}$: il n'y a pas assez d'eau,

si $d < 5 \text{ mm}$: il y a trop d'eau.

Dans les 2 cas, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle W.

➤ Essai de prise (EN 196-3) :

◆ Matériel utilisé :

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ($\Phi = 1,13 \text{ mm}$).



◆ Méthode opératoire :

Une fois la pâte à consistance normale obtenue, on procède au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat et on l'arrête à la surface de l'échantillon et relâché sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

• recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ($\sim 10-15 \text{ min}$) jusqu'à ce que $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

• cet instant mesuré à 5 mm près est le temps de début de prise pour le ciment testé.

Il est recommandé de reporter les résultats obtenus sur un graphique (minimum 3 points) en vue de déterminer le temps de début de prise avec précision.

Annex B

LES MOYENS MOYENS
ANALYTIQUES

DOCUMENT BLEVE

LABORATOIRE

MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE
(N° 1)

MODE OPERAIRE

Etat de l'essai :

Cet essai permet de déterminer la masse volumique absolue d'un corps (sable, gravier, ...). C'est à dire en (kg/m³), de se composer par 1 m³ de volume, mais uniquement la masse des différents grains constituant le matériau, c'est à dire que l'on ne tient absolument pas compte des vides qui peuvent être situés entre les grains. Cette masse volumique absolue est appelée ρ_a (kg/m³).

Definition :

La masse volumique absolue est donc la masse du matériau par unité de volume, exprimée en kg/m³, ou en g/cm³ (puisque 1 tonne = 1 g/cm³). Cette masse volumique a l'intérêt que les grains de l'agrégat, de tous les vides compris entre ces grains.

La masse volumique absolue a la même valeur que la densité d'un corps homogène, la seule différence est la densité n'a pas d'unité.

Principe de l'essai :

En partant d'un volume d'agrégat et en le plongeant dans un volume d'eau, on obtiendra la masse volumique absolue de ce dernier par la division de cette masse par la différence des volumes.

$$\rho_a = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad \text{en kg/m}^3$$

Avec :

- ρ_a : masse volumique absolue
- M : masse du matériau étudié (en kg, g)
- V1 : volume dans l'éprouvette avant introduction de la masse d'agrégat
- V2 : volume dans l'éprouvette après introduction de la masse d'agrégat

Matériels utilisés :

Le matériel est très simple, et se compose de :

- une éprouvette graduée (environ 300 cm³)

II) Constat de l'essai :

Il s'agit d'effectuer les constatations suivantes :

01. Recueillir une éprouvette avec un volume d'eau V_1 et en noter le volume
02. Peser un décaédulose sec de granulés (environ 300 g)
03. Introduire l'échantillon dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer les bulles d'air
04. Répéter le volume de la même eau volume et la noter
05. Effectuer les calculs



III) Tableaux :


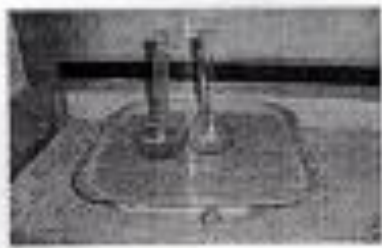
V_1	M	V_2	ρ_s

- Avec : ρ_s : masse volumique absolue
 M : masse de matière sèche (en t, kg, g)
 V_1 : volume dans l'éprouvette avant introduction de la masse d'aggrégat
 V_2 : volume dans l'éprouvette après introduction de la masse d'aggrégat

méthode de pycnométrie :

pycnométrie est une sorte de fiole jaugée de 500 cm³. Il permet de mesurer des volumes avec une grande précision.
 Remplir le pycnomètre jusqu'au trait de jauge : je mesure la masse de l'ensemble de mesure de même M_2 d'une certaine quantité de sable (environ 10g). J'introduis cette mesure M_2 dans le pycnomètre de 500 je remplis avec de l'eau jusqu'au trait de jauge et agite avec une baguette de verre pour supprimer les bulles d'air.
 - la mesure M_3 de l'ensemble. On déduit la mesure relative absolue de la

Annex C

<p>Centre universitaire Ain Témouchent Institut de la Technologie Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement</p>	
<p>T.P N :02 Détermination de la masse volumique des particules solides des sols (NF P94-054)</p>	
	
<p>1. But de l'essai : Le but de l'essai est la détermination de la masse volumique des grains solides des sols à l'aide du pycnomètre à float.</p>	
<p>2. Principe de l'essai : La masse des grains solides est mesurée par pesage. Le volume des grains solides est déterminé par pesage au pycnomètre.</p>	
<p>3. Matériels :</p> <ul style="list-style-type: none">-Eau de distillation-Balance-Pycnomètre-Eau distillée- Une source de chaleur- Un thermomètre	
<p>4. Mode opératoire :</p> <ul style="list-style-type: none">-Prendre un pycnomètre vide et s'assurer qu'il est sec.-Peser le pycnomètre vide : masse m1.-Prendre environ 25 grammes d'un sol préalablement séché.- Verser cette quantité de sol dans le pycnomètre.-Peser de nouveau le pycnomètre (le pycnomètre contient maintenant l'échantillon de sol) : masse m2.- Remplir le pycnomètre à moitié avec de l'eau distillée et placer le tout sur la plaque chauffante et laisser chauffer (pour dégager les bulles d'air).	
TF 005 2010/GDIT	Page 1/7



- Arrêter le chauffage quand l'eau est portée à ébullition.
- Laisser refroidir.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 cm³ (On veillera à verser l'eau doucement sur les parois pour ne pas recharger l'eau avec de l'air).
- Peser de nouveau le pycnomètre (le pycnomètre contient maintenant le sol et l'eau jusqu'à la graduation 250 cm³) : **masse m3**.
- Vider le pycnomètre, le nettoyer et le sécher.
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 cm³.
- Peser de nouveau le pycnomètre (le pycnomètre contient maintenant de l'eau jusqu'à la graduation 250 cm³) : **masse m4**.

5. Calcul :

La masse volumique des grains solides du sol est donnée directement par la formule :

$$\rho_s = \frac{m_3}{V_s} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2}$$

Note : La valeur de la masse volumique des particules solides est la moyenne arithmétique de deux masses effectuées sur deux prises d'essai provenant sur le même échantillon.

Annex D

Finesse de Mouture.

La notion de finesse de mouture est liée à la notion de "surface spécifique" qui désigne le total des aires de tous les grains contenus dans une quantité unité.

Exemple : Ssp. ciment = $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$

Cette aire est d'autant plus grande que les grains sont plus petits, donc que la finesse de mouture est grande.

Il est connu, par ailleurs, que la vitesse d'écoulement d'un fluide à travers un corps granulaire est d'autant plus faible que les grains qui composent ce corps sont plus fins ; cette vitesse décroît donc quand la finesse de mouture augmente.

Surface spécifique et vitesse d'écoulement sont liés à un même facteur la finesse de mouture.

On a cherché une relation entre ces trois grandeurs. Il est possible de déterminer la surface spécifique d'un corps granulaire en mesurant la vitesse d'écoulement de l'air à travers ce corps; et cette surface massique caractérise la finesse de mouture.

Principe.

Faire passer, dans des conditions bien définies, une certaine quantité de ciment (par exemple); mesurer le temps de passage, et en déduire la surface spécifique par application d'une formule empirique.

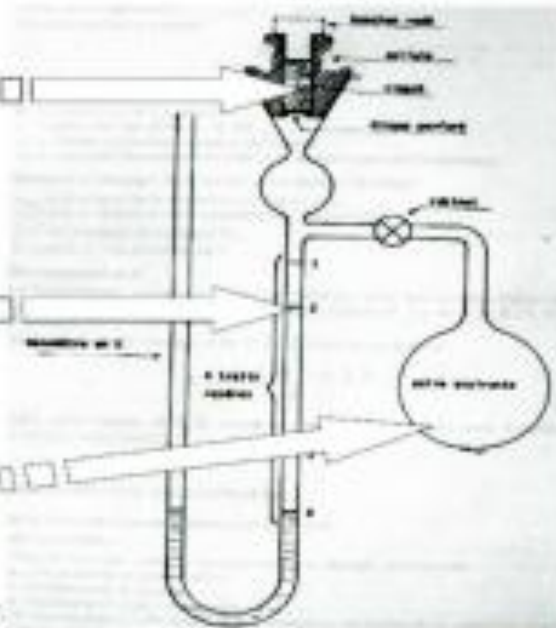
Matériel utilisé.

C'est le perméabillimètre BLAINE.

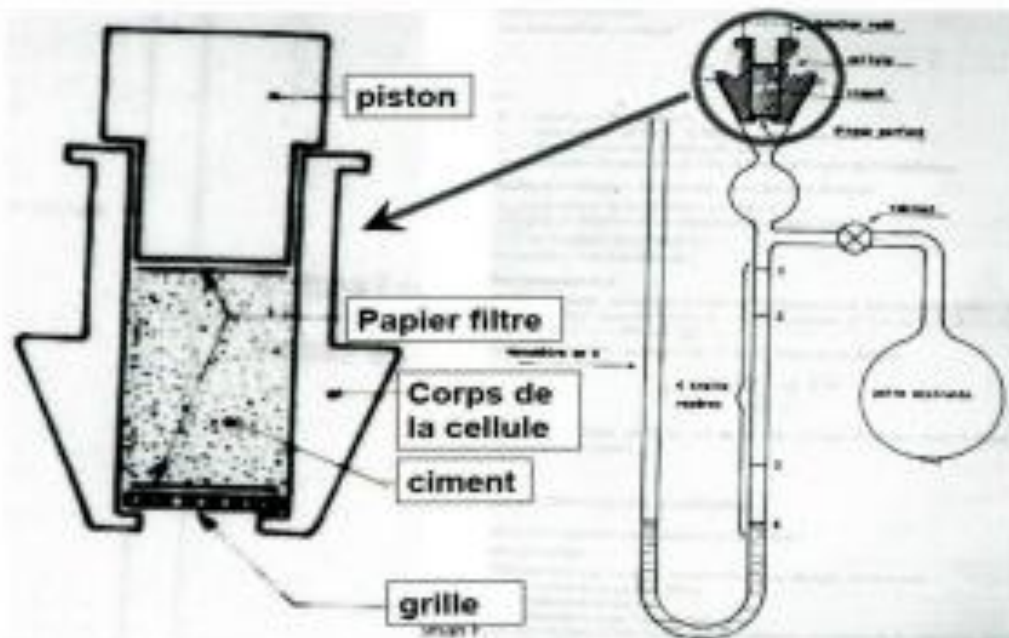
Le ciment est placé dans une cellule, dont le volume est limité par un piston (piston qu'on enlève lors de l'essai).

Cette cellule est placée dans l'ajutage conique d'un tube en verre formant manomètre en U; ce tube comporte 4 traits repère.

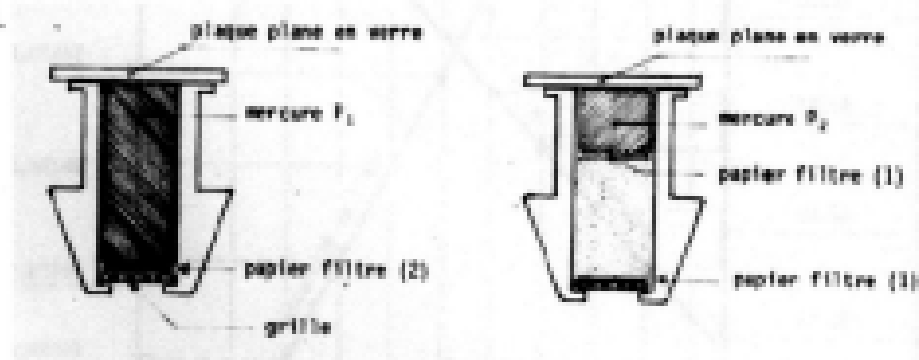
Le liquide de ce manomètre en U peut être inspiré par une poire munie d'une soupape, à l'extrémité d'un tube comportant un robinet.



Chemin F.



Pour la détermination du volume de la cellule on emploie le mercure.



1. Placer la grille + 2 rondelles de papier filtre, remplir de mercure et le peser : P_1
2. Sur grille = une rondelle, placer un peu plus de ciment que ce que correspondrait à $n = 0,5$ (ainsi le mercure ne tassera pas le ciment : 2,8 à 3,0 g).
3. placer une 2^{ème} rondelle de papier filtre; enfoncer complètement le piston, puis le retirer.
4. remplir de mercure. Peser ce mercure : P_2 .

Le volume V de la cellule est celui occupé par le ciment :

$$V = (P_1 - P_2) / m_{\text{Hg}}$$

m_{Hg} : masse volumique du mercure à la température de l'expérience.

Mode opératoire.

1. Placer grille + papier filtre + ciment (quantité calculée) + papier filtre,
2. Tasser et ôter le piston,
3. Vérifier le niveau du liquide : il doit arriver au trait inférieur (4); si nécessaire, parfaire ce niveau,
4. Placer la cellule sur l'ajutage. La jonction doit être étanche (très mince couche de vaseline). S'assurer de l'étanchéité de l'ensemble (boucher la cellule avec le pouce, aspirer avec la poire pour faire monter le liquide aux environs du trait supérieur (1), si on ferme le robinet, le niveau doit rester constant).

5. L'étanchéité étant réalisée, aspirer le liquide jusqu'à ce qu'il atteigne le trait supérieur (1), et fermer le robinet.
6. L'air traverse le ciment, et le niveau du liquide baisse : chronométrer le temps que met le liquide à passer du 2^e trait au 3^e trait; soit t (en secondes) la moyenne des temps résultant de 3 mesures consécutives.
7. Noter la température,
8. En déduire la surface spécifique :

$$S_{sp} = K \cdot \sqrt{e^3} \cdot \sqrt{t} / m_{v,abs} \cdot (1-n) \cdot \sqrt{\eta}$$

avec :


K : constante de l'appareil,

n : porosité (en général : 0,50),


$m_{v,abs}$: masse volumique absolue du ciment,

η : viscosité dynamique de l'air, à la température de l'essai.

Annex E



Centre Universitaire des Technologies
Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil



TP N°1

Analyse granulométrique par voie sèche (NF P94-056)

But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

Matériel nécessaire :

- Préparer les tamis (Ø200mm) d'ouvertures suivantes (en mm) : 0,63 - 0,25 - 1 - 2 - 4 et en (Ø305mm) : 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5
- Peser ces tamis vides.
- Demander la colonne des tamis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. Le fond étanche et le couvercle sont disposés respectivement en bas et en haut de la colonne.
- Peser en kilogrammes de sol.
- Verser le sol en haut de colonne de tamis puis fermer le couvercle.
- Procéder manuellement puis automatiquement à l'agitation de la colonne pendant environ 5 min.
- Peser les tamis avec les refus partiels en commençant par le tamis supérieur (la masse perdue lors du tamisage ne doit pas dépasser 1% de la masse de la prise).

Travail demandé

- Réaliser l'essai.
- Présenter vos résultats selon le tableau suivant :

Ouverture des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus résidu (g)	Tamis résidu (g)	Tamis résidu (%)
5				
2,5				
1,25				
0,63				
Fond				

- Tracer la courbe granulométrique.
- Calculer le module de finesse ainsi que les deux coefficients C_u et C_c .
- Nommer ce sol selon la classification LCP.
- Commenter vos résultats.

Calculs

Formule de HAZEN $C_u = D_{60}/D_{10}$

Coefficient de ensimage $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$

Module de finesse : Le module de finesse correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture (exprimée en mm) : $0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5$

Annex F

Institut des Sciences et de la Technologie
Département de génie civil

TP N°3 : EQUIVALENT DE SABLE

But de l'essai

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable.

Principe de l'essai

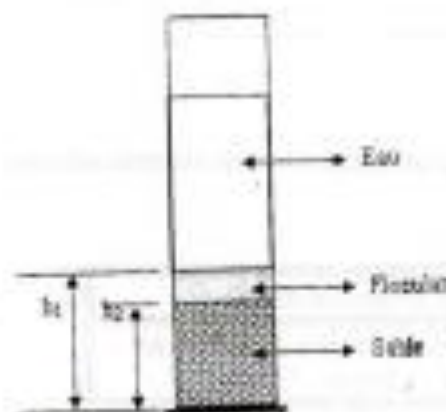
Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon à l'aide d'une solution lavante, puis on laisse reposer durant 20 min. Ensuite on mesure les éléments suivants :

- h1 : sable propre + éléments fins
- h2 : sable propre seulement

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est égal à :

$$ES = \frac{h2}{h1} * 100$$

L'essai s'effectue sur 120 grammes de sable.



Mode opératoire :

- Verser la quantité de sable (120g) dans le tube pendant 10minute pour absorber l'eau.
- Fermer l'éprouvette et on met dans l'agitateur pendant 30minute.
- Laisser l'éprouvette 15 minute sans vibration.
- Lire la hauteur h_1 et h_2 par la règle.
- On refait la même expérience une autre fois.

Résultats :

Les résultats de l'essai sont donnés comme suit:

Équivalent de sable à vue Esv :

$$Esv = (h_2/h_1) \times 100\%$$

h_2 : hauteur de sable propre.

h_1 : hauteur de sable propre +hauteur des imputées.

	Essai 1	Essai 2
h_1 (cm)	3,6	2,7
h_2 (cm)	2,7	2,2
Esv		
moy Esv		

Classification de sable:

D'après les résultats obtenus on classe le sable comme suivant:

Esv	Nature et qualité de sable
<65	sable argileux n'est pas utilisable au béton
65<Esv<75	sable argileux utilisable au béton
75<Esv<80	sable propre utilisable au béton
Esv< 85	sable trop propre utilisable au béton

Annex G



FICHE DE MANIPULATION

FOISONNEMENT DU SABLE ET TENEUR EN EAU

> Foisonnement de sable :

◆ Principes :

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau.

Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

◆ Matériel utilisé :

Le même matériel utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente d'un agrégat.

◆ Mode opératoire :

Peser 2 kg de sable sec ($w = 0\%$) et mesurer sa masse volumique apparente (système de 3 essais). Ajouter 1% d'eau soit 20 g à l'échantillon sec (2000 g) et bien mélanger.

Mesurer la nouvelle masse volumique apparente, refaire l'opération pour les valeurs de teneur en eau suivantes : 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9%.

> Teneur en eau :

◆ Définition :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport de poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec,

$$w = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

E = Poids d'eau dans le matériau

P_s = Poids du matériau sec

P_h = Poids matériau humide

Si W est exprimé en % :

$$W\% = 100 \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

◆ Principes :

Trois procédés peuvent être utilisés pour la mesure de la teneur en eau in situ et/ou au laboratoire.

1. Flambage à l'alcool à brûler :

C'est le procédé couramment désigné sous le nom de "la pelle à frire".


• Peser l'échantillon humide, soit M_h .

• Le placer dans un récipient métallique plat, et l'arroser d'alcool à brûler (1/2 l pour 2kg de sable).

• Allumer et agiter avec une tige métallique. Quand l'alcool est éteint, laisser refroidir.

• Répéter l'opération jusqu'à ce que le matériau soit sec, le peser soit M_s . Déterminer la W .


Annex H



Faculté des Sciences et de la Technologie

Centre International d'Aut Automatique

Département de génie civil



FICHE DE MANIPULATION

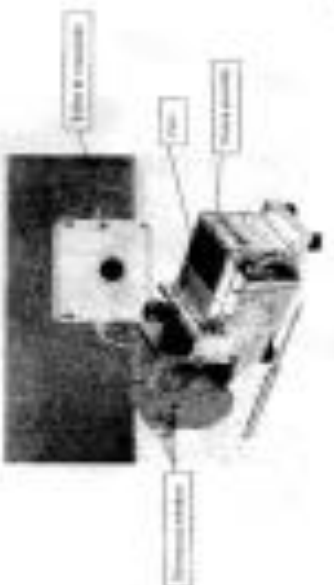
Mesure de la consistance des mortiers

→ **Objectif :**

C'est une mesure qui est faite pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il consiste donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance ; c'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 012 et NF P 18 - 017.

→ **description de l'appareil :**

- **MANIPULATEUR A MORTIER**



1 **Le cône :**

Elle se compose :

- d'un bûche verticohélaire (ØH est à 30 cm x 30cm) monté sur patin de caoutchouc et scapé en 2 parties distinctes par une cloison amovible.
- Cette cloison peut verticalement dans des positions fixes sur la face externe de la cône.
- Et un vibrateur constitué par un moteur électrique, fixé à l'extrémité du bûche. Il entraîne un axe sur lequel sont fixés des masses excentrées assurant une vibration de l'ensemble lors de leur rotation.

2 **Le boîtier de commande :**

Le boîtier de commande comporte un bouton ON, OFF, assurant la commande à distance de la mise sous tension de l'appareil et de son extinction.

3 **Le type de péage :**

Elle est lors du remplissage de la cône.

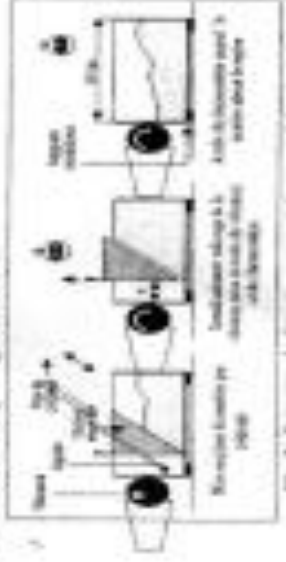


Fig. 2 - Principe de fonctionnement de manipulateur 2

Fiche descriptive principale de manipulateur de consistance pour l'essai 28 (3/2014)

Page 1

➤ mode opératoire.

• **Mise en place du mortier dans la cuve :**

- 1 / Introduire dans la cuve, en 2 couches, le mortier après la fin de malaxage.
- 2 / Appliquer 10 corps de tige de compactage à chaque couche, réglés uniformément sur la surface du mortier.
- 3 / Abaisser le mortier au niveau du bord supérieur de la cuve à l'aide d'une règle métallique à faces biseautées, avec un mouvement de sciage, et nettoyer le bord du récipient avec une éponge.

• **Exécution de l'essai :**

- 1 / Mettre en place le couvercle sur la cuve. Le filer en bloquant les attaches rigides diamétralement opposées.
- 2 / Ouvrir les vannes rouges sur le couvercle.
- 3 / Par la vanne de gauche, au moyen d'une poussoir, remplir l'écoumètre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air et que l'eau parvienne à la vanne de droite. A la fin du remplissage, incliner légèrement l'appareil de façon à ce que la vanne de droite se trouve plus haut que la vanne de gauche.
- 4 / Fermer les 2 vannes. La cuve peut être mise sous pression.
- 5 / A l'aide de la perçe à main, amener l'aiguille du manomètre en face du repère rouge sur le cadran. Laisser s'équilibrer la pression (qui peut retomber) et pointer de nouveau pour dépasser légèrement le repère. Ajouter alors précèlement la position de l'aiguille à l'aide du bouton poussoir noir (6).

6 / Tapoter légèrement le manomètre et l'admetteur pour s'assurer que la pression ne change pas.

7 / Appuyer sur le bouton poussoir vers quelques secondes jusqu'à ce que les pressions entre cuve et chambre de pression s'équilibrent.

8 / Le manomètre indique alors directement en pourcentage le volume d'air occlus dans la mortier. **Noter la valeur de la teneur en air à 0,5 % près.**

9 / A la fin de la mesure, appuyer simultanément sur les touches noire et verte

pour faire chuter la pression.

10 / Ouvrir les vannes et rajuster le niveau de l'eau.

11 / Répéter la mesure.

12 / Le même essai doit être recommencé sur un autre échantillon de la même gâchée. Le pourcentage d'air noté est la moyenne arithmétique des lectures effectuées.



Annex I

Qu'est ce que la perlite ?

La perlite est une roche volcanique siliceuse contenant de l'eau, elle est expansée industriellement dans des fours spéciaux à une température de 800° à 1100°.

Après extraction, les roches de perlite sont concassées, séchées et séparées par taille (granulométrie).



Roche de Perlite



Perlite expansée

Origine de la Perlite

Notre perlite est importée de la Grèce (deuxième pays producteur au monde) à l'état brut, puis nous lui faisons subir divers traitements pour devenir expansée.

Les atouts



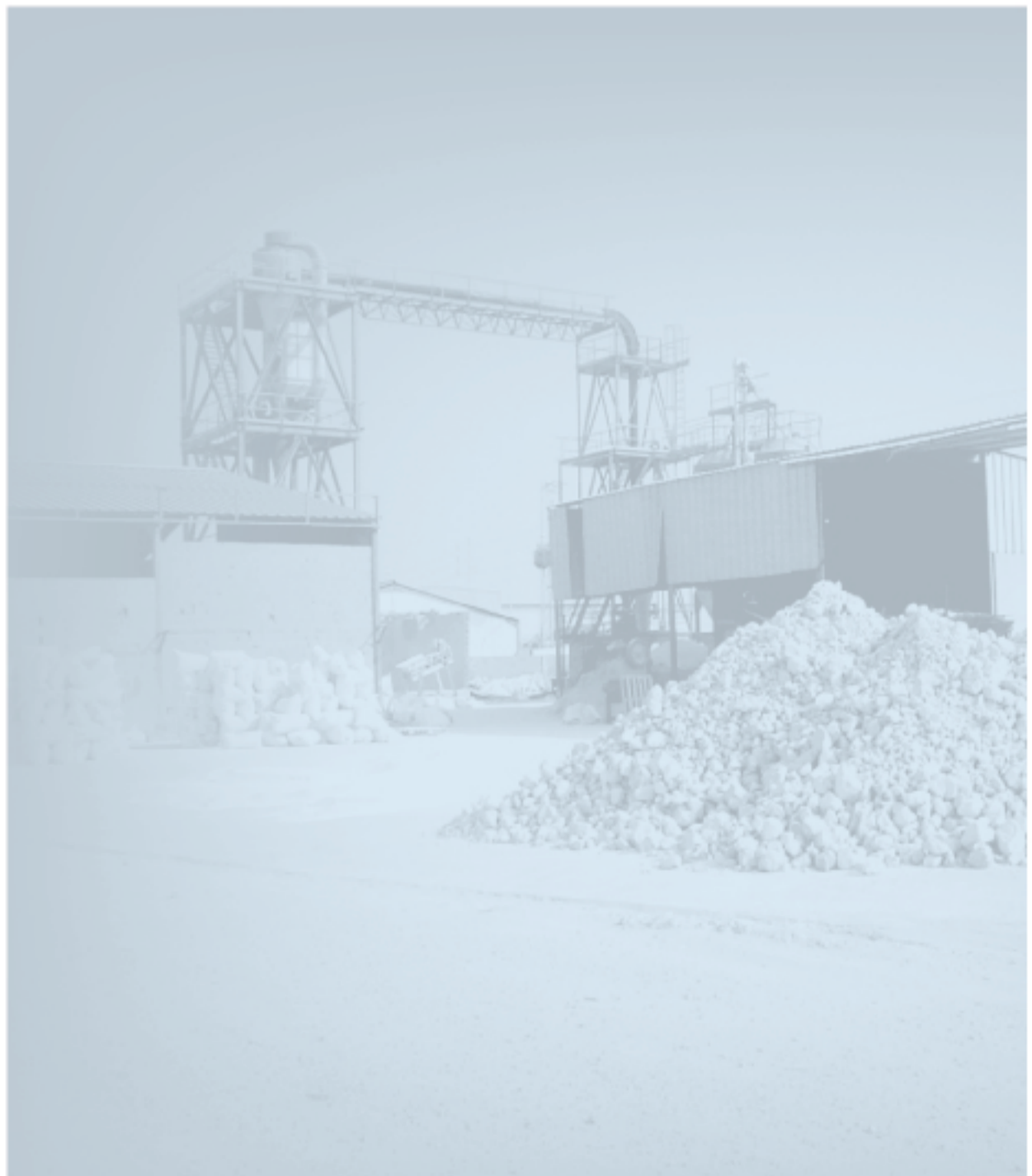
- **Isolant thermique :**
Grâce à l'air emprisonné dans les granulats de perlite expansée.
- **Légèreté extrême :**
Sa densité est particulièrement faible (<100 kg/m³) par rapport aux matériaux traditionnels.
- **100 % Incombustible :**
Roche minérale, expansée à chaud, elle est insensible au feu (classification A1).
- **100 % Ecologique :**
D'origine minérale, la Perlite est un produit entièrement naturel. Aucun risque d'irritations.
- **Toxicité 0 :**
La Perlite est 100 % neutre. Pas de dégagement de gaz toxiques ni fumées sous l'effet de la chaleur.
- **100 % Inaltérable :**
La Perlite est d'origine minérale. Elle est extrêmement stable dans le temps.
- **100 % Imputrescible :**
Stable et inerte, la Perlite n'attire ni rongeurs ni insectes.
- **100 % Simple :**
Comme un béton traditionnel, il suffit de mélanger ciment, sable et Perlite, pour obtenir un béton léger de premier choix.

**“Béton à base de Perlite,
le béton léger par excellence”**

Propriétés

Propriétés physiques de la perlite expansée

Forme	Granulat
Granulométrie	0 à 2 mm
Couleur	Blanche
Odeur	Sans odeur
Masse volumique	100 ± 20 kg/m ³
Humidité libre	0.5 % (max)
pH	6.5 - 7.5
Solubilité dans l'eau	0.08%
Solubilité dans 1:3 HCl chaud	1.6%
Porosité totale (V%)	95.6
Capacité de rétention d'air	74.5
Eau facilement utilisable	5.2
Capacité de Tampon (V%)	1.4



Béton léger, un éventail de possibilités

Le béton léger est caractérisé par une masse volumique sèche à l'étuve ($500 - 1200 \text{ kg/m}^3$), il est entièrement ou partiellement constitué de Perlite.

Les différents types de béton de Perlite permettent d'obtenir une variété infinie de mélanges, en fonction des besoins spécifiques de chaque client. Suivant la granulométrie de la Perlite, des agrégats utilisés, du type de ciment et des adjuvants intégrés ; la formulation du béton léger varie pour répondre aux spécificités et exigences de chaque chantier.

Utilisations

- **Forme de pente**
- **Rattrapage de niveau**
- **Remplissage**
- **Chape sous carrelage**
- **Toutes formes de chapes**

Avantages



- **Faible masse volumique**
- **Isolation thermique durable**
- **Excellent coefficient d'absorption acoustique**
- **Excellente résistance au feu**
- **Facilement façonnable**
- **Faible coefficient de dilatation thermique**
- **Faible module d'élasticité**

LÉGÈRETÉ

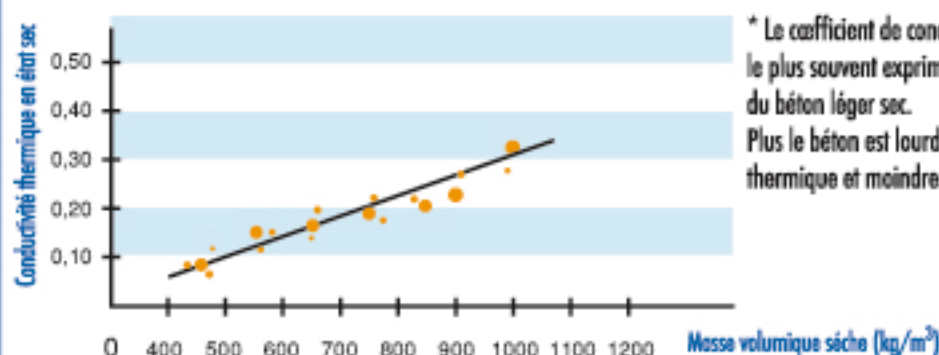
ISOLATION

Caractéristiques du béton léger

Isolation thermique

La présence des granulats légers dans le béton réduit sensiblement le **coefficient de conductivité thermique***: comparé aux granulats lourds, l'air occlus dans la Perlite freine en effet sensiblement le transfert de chaleur.

C'est pourquoi les professionnels utilisent aujourd'hui du béton léger pour optimiser l'isolation thermique des bâtiments.



* Le coefficient de conductivité thermique λ (w/mK) est le plus souvent exprimé en fonction de la masse volumique du béton léger sec.

Plus le béton est lourd, plus grande sera sa conductivité thermique et moindre la capacité isolante.

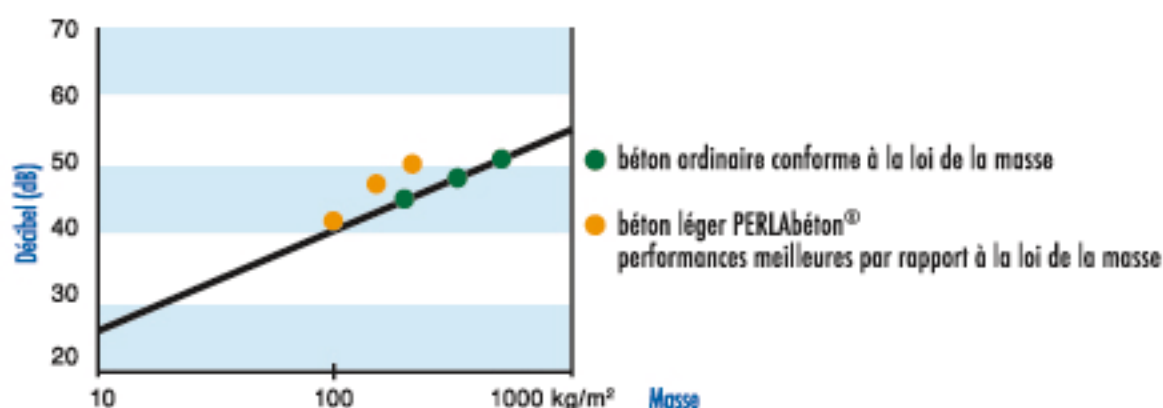
Confort acoustique

Le **confort acoustique** d'une pièce dépend :

- des caractéristiques acoustiques de la pièce elle-même (absorption acoustique et durée de résonance)
- de la protection contre le bruit extérieur de la pièce (isolation acoustique)

En raison de leur structure microporeuse, les granulats de Perlite expansée absorbent le bruit de manière tout à fait remarquable. Une fois mélangés avec le sable et le ciment, ils transmettent au mélange leur capacité d'absorption acoustique.

Le tableau ci-dessous illustre les performances acoustiques du béton léger.



● béton ordinaire conforme à la loi de la masse

● béton léger PERLABéton® performances meilleures par rapport à la loi de la masse

Résistance à la compression

Influence de la densité du béton

La corrélation entre la densité du béton et la résistance à la compression pour les bétons de Perlite est présentée dans le graphique. (au verso)

La résistance à la compression du béton augmente en principe avec sa masse volumique.



Les valeurs en matière de résistance à la compression sont purement indicatifs.
En adaptant le mélange, vous obtenez le béton qui répondra au mieux à vos besoins :
par exemple l'apport d'additifs, l'emploi de différents types de ciment,...

Nos produits

PERLABéton®

Le béton allégé à doser soi même !

Le béton léger **PERLABéton®** peut être préparé manuellement, dans une bétonnière traditionnelle ou une pompe à béton.

Les granulats de Perlite expansée **PERLABéton®** prémouillés et le ciment doivent être bien mélangés avant d'ajouter de l'eau. Le béton léger est coulé sur une construction propre et sèche.

Les éventuelles canalisations et fourreaux présentes dans les sous-chape doivent être recouvertes d'une couche de béton léger **PERLABéton®** d'épaisseur minimale de 4 cm.



PERLABéton® et PERLABéton-S® sont des isolants thermiques et acoustiques. En une intervention, ils permettent à la fois de réduire les pertes de chaleur et d'atténuer les bruits entre les étages.

PERFORMANCES THERMIQUES ET ACOUSTIQUES

Isolation thermique

Coeff. conductivité thermique

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| • Béton seul | de 1,9 à 2,2 W/(m.k) |
| • PERLABéton®
et PERLABéton-S® | de 0,15 à 0,2 W/(m.k) |

Isolation acoustique

Aux bruits aériens PERLABéton® respecte la loi de masse et absorbe, suivant sa formule de calcul, une moyenne de 2 db (A) par cm mis en œuvre

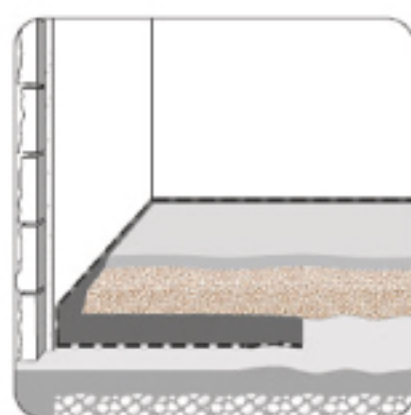
Aux bruits d'impact Niveau acoustique de réception db (A)

- | | |
|--|-----------|
| • Plancher seul | 97 dB (A) |
| • Avec dalle de
6 cm de PERLABéton® | 69 dB (A) |
| • Avec dalle de
6 cm de PERLABéton-S® | 71 dB (A) |

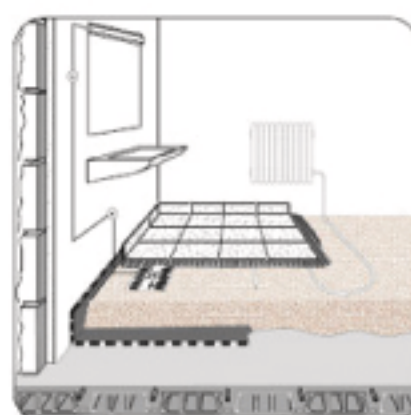
2 Dosages

		Caractéristiques	Valeurs		
PERLABéton®	PERLABéton®	Densité Béton durci (kg/m ³)	550 - 750		
		Début de prise / accès circulation piéton	12h - 24h		
		Coeff. Conductivité thermique du béton (W/m.K)	0,15 - 0,19		
		Résistance mécanique (MPa)	3 J	7 J	28 J
			compression	0,5	0,9
	Traction par flexion	0,42	0,52	0,63	
	Dosage pour 1 m ³	PERLABéton®	10 sacs (-100 L)		
		Ciment	200 - 325 kg		
		Sable 0-4 mm*	100 - 190 kg		
		Eau	230 litres +/- 30		
* module de finesse : 2,5 à 3,0 % fines +/- 20 %					
PERLABéton-S®	PERLABéton-S®	Densité Béton durci (kg/m ³)	800 - 1000		
		Coeff. Conductivité thermique du béton (W/m.K)	0,27 - 0,31		
		Résistance mécanique (MPa)	3 J	7 J	28 J
			compression	2,4	3,2
		Traction par flexion	0,47	0,82	1,2
	Dosage pour 1 m ³	PERLABéton®	10 sacs (-100 L)		
		Ciment	200 - 325 kg		
		Sable 0-4 mm	240 - 330 kg		
		Eau	230 litres +/- 30		
	* module de finesse : 2,5 à 3,0 % fines +/- 20 %				

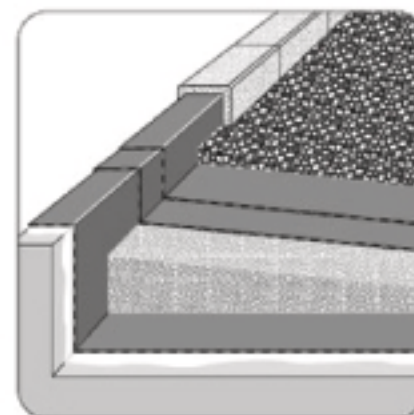
POUR TOUTS RENSEIGNEMENT TECHNIQUES, VOUS POUVEZ VOUS RENSEIGNER
AUPRÈS DE VOTRE DISTRIBUTEUR OU APPELEZ LE **71 469 621**



Chape de rattrapage



Chape sous-carrelage



Forme de pente