

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

**Université de TLEMCEM
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil**



**Mémoire d'Obtention du Diplôme
de MASTER en Génie civil
Option : Ingénierie des structures.**

Thème:

**Fabrication des agglomérés des bétons légers avec la pouzzolane
concassée**

Présenté et soutenu septembre 2012 par :

ZENAGUI Zahra

BENYOUCEF Hadjer

Devant le Jury composé de :

**M.F.GHOMARI
M.H.BOUKLI
M.N. HASSAINE
M.A.BAGHLI**

**Président
Examineur
Examineur
Encadreur**

REMECIMENTS

*Nous tenons à remercier énormément le directeur de ce travail, Monsieur **A.BAGHLI** pour son aide et ses précieuses orientations le long de ce projet.*

Nous présentons également toute notre gratitude et reconnaissance :

- ✓ *Au directeur de **FERPHOS** Monsieur **BGHIT**, et spécialement Monsieur **WAHA**.*
- ✓ *À la directrice de l'usine du parpaing à Chetouane et toute l'équipe de travail.*
- ✓ *A Madame **M.Sahi** responsable de laboratoire de génie civil et les ingénieurs **MUSTAPHA, HAKIM** et **Omar**.*
- ✓ *A tous qui nous ont aidés de près ou de loin.*


Nous remercions également :

- ✓ *Mr **F.GHOMARI** pour l'honneur qu'il nous fait en président des jurys.*
- ✓ *Mrs **N.HESSAINE** et **H.BOUKLI** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Dédicaces

Tout d'abord je remercie "Allah" qui m'a donné le courage pour arriver à ce stade de fin d'étude.

Je dédie ce modeste travail à:


 *En premier lieu: A mes chers parents "**Si Bachir Fatima**" et "**Zenagui Mohamed**" qui m'ont donné la vie pour profiter et qui m'ont permis d'arriver à ce stade de formation.*

 *A mes chers frères : "**kadi**", "**Meliani** ", et "**Bachir** ".*

 *A mon binôme: **Benyoucef Hadjer** et Sa Famille.*

 *A mes Chers amies: **Mouloud Achouri** , **Oussama** , **Soufiane**, **Ilhem**, **Fifi**, et **Asma**.*

 *A toutes **la promotion** de génie civil.*

 *A tout ce qui m'aime et que j'aime.*

 *zenagui zahra* 

DEDICACES

Tout d'abord je remercie Allah qui m'a donné le courage pour arriver à achever ce projet de fin d'étude.

Je dédie ce modeste travail à :



Mes très chers parents pour tout l'amour et le soutien qu'ils m'ont apporté en toutes circonstances.



*Mes chers frères **MOHAMED, ABD EL ILLAH, ISMAIL et AHMED.***



*Ma très chère sœur **SOUHILA** et ses enfants **AMIRA, MOHAMED** et mon cher **CHARAF EDDINE.***



*Mon binôme **ZENAGUI ZAHRA** et sa famille.*



*Tout les gents qui m'ont beaucoup aidé et m'ont donné de la confiance et de l'amour: **HADJER, BACHIR, ILYES, FATIMA, AMINA, ASMA, HASSIBA, SIHAM, NADIA, FIFI, ASMA, HOUDA, EL AMIN, HACHEMI et NABIL.***



*Toutes personnes de la famille « **SIDI YAKOUB et BENYOUCEF** ».*



Benyoucef Hadjer



LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Origine du matériau pouzzolanique.....	15
Figure I.2 : le gisement et la pouzzolane naturelle de Beni Saf.....	16
Figure I.3 : Courbe de la teneur en hydroxyde de Calcium en fonction de l'âge de maturation d'une pâte pure et une pâte renfermant 40% de pouzzolane.....	19
Figure I.4 : Murs cyclopiens	23
Figure I.5 : la tour de Babel et la muraille de Chine.	23
Figure I.6 : Machine « l'unique » n° 1 à bras de Vincent vers 1918.....	24
Figure I.7 : Machine à bras «Rosacometta » vers 1920.....	25
Figure I.8 : Premières presses vibrantes fixes vers 1950.....	26
Figure I.9 : Agglomérés de béton (hourdis et parpaing).....	26
Figure I.10 : Machine mobile « Pondeuse » plate-forme Chetouane	27
Figure I.11 : Plan de chaîne de fabrication.....	28
Figure I.12 : La presse mécanique.....	29
Figure I.13 : dimensions de blocs (L*l*h).....	29
Figure II.1 : Gisement de Béni-Saf.....	36
Figure II.2 : dispositif de flexion par trois points.....	39
Figure II.3 : dispositif pour l'essai de flexion (appareil didactique universelle).....	40
Figure II.4 : essais de compression.....	40
Figure II.5 : essais de compression sur la machine didactique universelle.....	41
Figure II.6 : machine didactique universelle.....	42

Figures II.7 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 01).....	44
Figures II.8 : Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 01).....	45
Figures II.9 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 02).....	45
Figures II.10 : Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 02).....	46
Figures II.11 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 03).....	46
Figures II.12 : Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 03).....	47
Figure III.1 : bétonnières pour malaxage.....	52
Figure III.2 :pondeuse électrique.....	54
Figure III.3 :L'organigramme de procédé de fabrication.....	55
Figure III.4 : principe de fabrication des blocs sur machine.....	56
Figure III.5 : compactage sous vibration au moment du remplissage des moules.....	56
Figure III.6 : compactage par vibration..... ;	57
Figure III.7 : décompression et démoulage des blocs sur plate-forme..... ;	58
Figure III.8 : arrosage à l'eau et stockage pour durcissement.....	59
Figure III-9 :l'essai d'écrasement sur la machine universelle traction.....	60
Figure III-10 : l'essai de traction par flexion sur la machine didactique universelle (Premier et troisième échantillon).....	61
Figure III-11 : Evolution de la force de flexion en fonction de l'âge pour l'hourdis à base de granulats de pouzzolane et l'hourdis avec le gravier normal)....	62

Figure III-12: Evolution de la force de compression en fonction de l'âge pour le parpaing à base de granulats de pouzzolane et parpaing avec le gravier normal.....62

Figure III-13: Evolution de la force de flexion en fonction de l'âge pour l'ourdis à base de granulats de pouzzolane et l'ourdis avec le gravier normal.....63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs de parements).....	30
Tableau I.2: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs à enduire).....	30
Tableau 1.3: Classification des blocs en béton selon NF EN 1996 Euro code 6.....	31
Tableau I.4: les classes selon le complément français NF 12-023-2 pour réaliser des ouvrages conformes aux DTU.....	31
Tableau II.1 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane du gisement de Bou Hamidi.....	37
Tableau II.2 : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane du gisement de Bou Hamidi.....	37
Tableau II-3 : Compositions des mortiers.....	38
Tableau II.4 : Poids total du matériau manuellement compacté par moule.....	38
Tableau II.5 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges (Premier échantillon).....	43
Le tableau II.6 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, (deuxième échantillon).....	43
Tableau II.7 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, (troisième échantillon).....	43
Tableau III.1: Masses volumiques des granulats des pouzzolanes.....	51
Tableau III.2 : Compositions des agglomérés de béton léger.....	51
Tableau III.3 : Masses et forces appliquées (composition mélange pour l'hourdis)..	61

Tableau III.4: Masses et forces appliquées (composition mélange pour Parpaing)...62

Tableau III.5: Masses et forces appliquées (composition mélange pour l'hourdis)...63

Table des matières

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE	13
I.1 Objectif du mémoire.....	13
I.3 Introduction à la pouzzolane.....	14
I.3.1 Définition de la pouzzolane.....	14
I.3.1.1 Historique.....	14
I.3.1.2 Définition.....	15
I.3.2 Réaction et effet pouzzolanique.....	16
I.3.2.1 Effet pouzzolanique.....	16
I.3.2.2 Mécanisme de la réaction pouzzolanique.....	17
I.3.2.3. Etude de l'action chimique et physique de l'effet pouzzolanique.....	19
I.3.3 Recherche bibliographique et travaux antérieurs.....	20
I.4 Agglomérés de béton léger.....	22
I.4.1 Introduction.....	22
I.4.1.1 Historique de la maçonnerie.....	23
I.4.1.2 La naissance du bloc béton	24
I.4.1.3 Définition.....	26
I.4.2 L'industrie de bloc de béton.....	26
I.4.2.1 le développement de l'industrie de bloc de béton.....	26
I.4.2.2 Description générale d'une fabrication automatisée pour une usine.....	27
I.4.3 Normes et règles en vigueur.....	29
I.4.3.1 modèles et dimensions de bloc selon les normes françaises NF.....	29
I.4.3.2 classification de béton selon NF EN 1996-1-1 Euro code 6.....	31
I.4.4 Performances et classes de résistance.....	31

I.4.4 Domaines d'emplois et avantages.....	32
I.4.5 Recherche bibliographique et travaux antérieurs.....	32
I.5 CONCLUSION.....	34
Chapitre II : Identification de la pouzzolane de Béni-Saf.....	35
II.1 Nature du gisement des pouzzolanes de BeniSaf.....	36
II.2 Caractéristiques de la pouzzolane utilisée.....	36
II.2.1 Gisement de Bou Hamidi (nord ouest algérien).....	36
II.2.2 La teneur en verre.....	37
II.3 Etude des mortiers compactés à base de sable de pouzzolane.....	38
II.3.1 Préparation et confection des échantillons de mortier.....	38
II.3.2 Essais mécaniques.....	39
II.3.2.1 Essais de traction par flexion.....	39
II.3.2.2 Essais de compression.....	40
II.3.3 Interprétation des résultats.....	42
II.3.3.1 Essais de traction par flexion et de compression pour les différents mortiers..	42
II.3.3.2 Interprétation des résultats.....	47
II.3.4 conclusion.....	49
Chapitre III : Fabrication des agglomérés de béton léger.....	50
III.1 Introduction.....	51
III.2 Préparation des échantillons de granulats de pouzzolane.....	52
III.3 Les matériaux et matériels utilisés pour la fabrication du bloc de bétons.....	53
III.3.1 La matière première.....	53
III.3.2 Matériels utilisés.....	53
III.4 Organigrammes de production des blocs de béton.....	54
III.5 Types d'essais et résultats.....	59
III.5.1 Types d'essais.....	59

III.5.2 Les résultats concernant l'hourdis et le parpaing.....	61
III.6 Interprétation des résultats	64
III.7 Conclusion.....	65
Chapitre IV : Conclusion générale et recommandations.....	66
IV.1 Conclusion générale.....	67
IV.2 Recommandations.....	68

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I

Introduction Générale

1.1 Introduction :

L'Algérie fait face actuellement à une demande en agglomérés de béton, du fait de l'évolution démographique et du besoin sans cesse accru en matériaux de construction.

La présence de gisements importants de pouzzolane dans la région a permis de lancer plusieurs voies de recherche.

Le présent travail concerne une étude qualitative des pouzzolanes concassées de carrière de la région de BENI SAF et leurs utilisations dans le domaine de la fabrication des agglomérés de béton léger (parpaings et hourdis).

Notre étude est une contribution à la connaissance des caractéristiques mécaniques des agglomérés à base granulats de pouzzolane concassés.

Notre travail est divisé en trois parties :

La première partie de notre mémoire est une présentation générale concernant l'étude des caractéristiques des matériaux pouzzolaniques et des agglomérés de béton léger.

La deuxième partie illustre les principales caractéristiques de la pouzzolane de la carrière de Bou Hamidi, et montre les essais mécaniques (traction par flexion et compression simple) qui sont appliqués sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ au niveau de notre Laboratoire de MDC.

La troisième partie présente la fabrication des agglomérés de béton léger, ainsi des essais d'écrasements (compression) et de traction par flexion ont été réalisés au niveau de notre laboratoire.

I.2 Objectif du mémoire :

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche ; il est principalement axé sur la fabrication des agglomérés avec de la pouzzolane concassée de Béni Saf en étudiant ses propriétés physiques et son influence sur le comportement mécanique des agglomérés.

Ce projet a pour objectifs d'apporter quelques améliorations concernant :

L'économie, la résistance, le comportement mécanique ; les propriétés physiques et la durabilité.

L'identification des caractéristiques physiques et mécaniques des agglomérés avec de la pouzzolane concassée passe par la réalisation d'un ensemble d'essais au niveau de notre laboratoire.

I.3 Généralités sur la pouzzolane :

Les matériaux pouzzolaniques sont employés d'une manière globale comme additifs (les cendres volantes, le laitier de haut fourneau 'la fumée de silice, le calcaire et les pouzzolanes naturelles) avec les liants aériens et hydrauliques dans le but d'améliorer certaines caractéristiques des mortiers et des bétons. Ces ajouts en proportions bien définies permettent d'exploiter au mieux les propriétés des bétons et mortiers.

I.2.1 Définition de la pouzzolane :

I.2.1.1 Historique :

Pour la construction d'aqueducs, des ponts, d'édifices et de murs de soutènement de quai, les Romains se servaient beaucoup d'un tuf zéolithique, qui est le résultat d'une transformation dans des conditions hydro thermiques des cendres volantes (produit de l'éruption volcanique) qu'ils trouvaient au pied du mont VESUVE, à Pouzzoles, d'où le nom de « pouzzolane » sous lequel était alors connu ce matériau [9] .

Lorsque des matériaux semblables furent découverts en Allemagne en France, en Espagne et dans d'autres parties du monde, le terme « pouzzolane » fut employé pour désigner : tout matériau, quelque soit son origine géologique, qui formait par mélange avec de la chaux un produit liant [12].

Les grecs et les romains avaient remarqué que les matériaux de dépôts volcaniques, lorsqu'ils sont moulus et mélangés avec de la chaux, donnent un mortier avec une bonne tenue à l'action de l'eau et une résistance mécanique très élevée [8].

Les grecs employaient le tuf volcanique de l'île de Santorin, par contre les romains se servaient d'un tuf volcanique rouge de la région de Naples. les romains ont beaucoup plus préférés un type de roche qui se trouve aux environs de la ville de Pozzuoli, d'où le nom de pouzzolane sous lequel etait alors connu tout matériau ayant des propriétés comparables [8].

Aujourd'hui cette dénomination s'étendue et s'applique à un grand nombre de matériaux d'origine diverses, selon la classification donnée par l'organigramme de la figure I.1 [8]

La poudre de tuile ou brique mélangé avec de la chaux en présence d'eau produit le même effet, les poudres de la terre cuite fabriquées spécialement pour cet usage, sont appelées aujourd'hui pouzzolane artificielles.

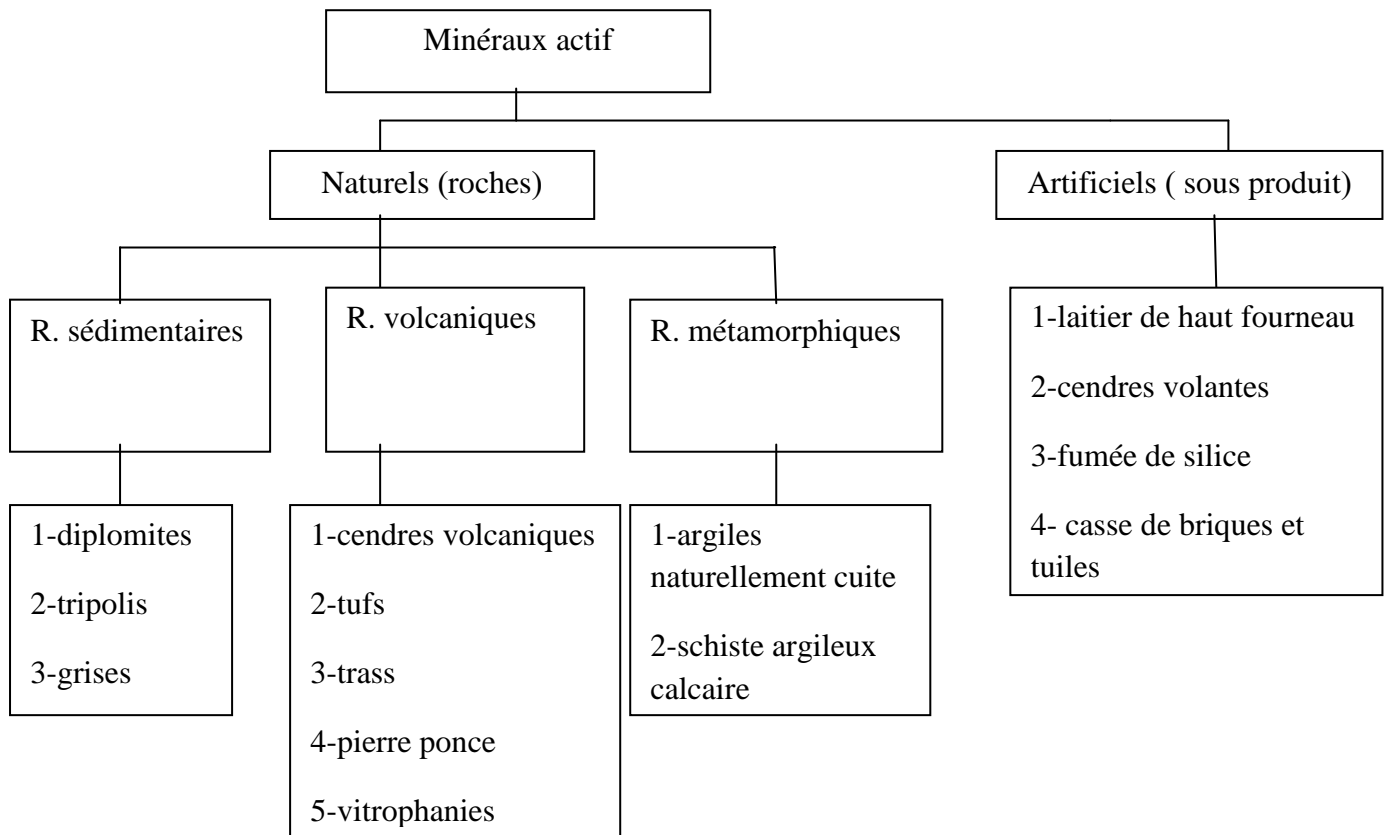


Figure I-1 :origine du matériau pouzzolanique.

I.2.1.2 Définition :

Le professeur ARNOULD précisa qu'au sens pétrographique du terme « les pouzzolanes » devraient plus justement s'appeler projections volcaniques scoriacées [12].

La norme française (NF P17 301) définit la pouzzolane comme une roche naturelle. Constituée par des scories volcaniques qui possèdent une structure scoriacée et alvéolaire.

Contrairement aux verres volcaniques, les minéraux argileux ne réagissent pas facilement avec la chaux. A moins qu'ils aient perdu leur structure cristalline sous l'action de la chaleur. D'autre part plusieurs sous produit industriels tels les cendres volantes, la cendre de balle de riz ou les fumées de silice condensées. Etc....., peuvent réagir avec la chaux à une température ordinaire et sont considérées comme des pouzzolanes artificielles.

Selon la norme de l ASTM C18, la pouzzolane se définit comme étant un matériaux siliceux ou alumineux qui ne possède lui-même aucune ou peu de valeur liante mais qui sous

forme de poudre très fine et en présence d'humidité réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) à des températures ordinaires pour former des composés possédant des propriétés liantes [12].

D'après cette définition, le sable de quartzite ne constitue pas une pouzzolane car les mélanges de sable pulvérisé et de chaux ne peuvent former un produit liant à une température ordinaire et en présence d'eau. Notons aussi que la réaction chimique entre la chaux et la Silice, représente le principal effet pouzzolanique et il est utile d'indiquer que des produits liants se formaient aussi, par suite des réactions chimiques se produisant entre la chaux et l'Alumine ou l'oxyde de Fer (c'est-à-dire une activité pouzzolanique basée sur un échange de base) [13].

La pouzzolane naturelle utilisée dans notre projet est extraite du gisement de la région de « Béni Saf » de l'ouest de l'Algérie. (**Figure I.2**).



Figure:1.2.a- le gisement de Beni Saf.



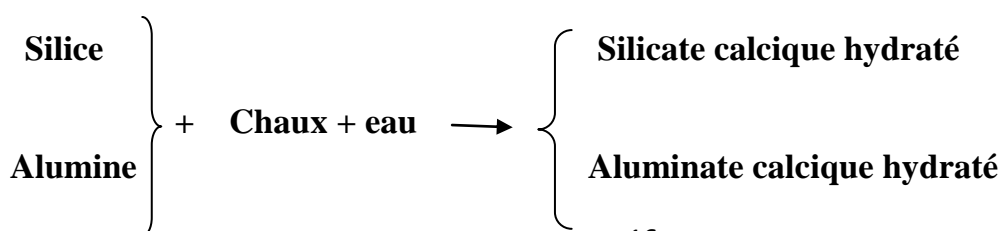
Figure:1.2.b-la pouzzolane naturelle de Beni Saf

Figure I.2 : le gisement et la pouzzolane naturelle de Beni Saf.

I.2.2 Réaction et effet pouzzolanique :

I.2.2.1 Effet pouzzolanique [12]:

On sait que c'est à leur haute teneur en constituants acides silice et alumine, que les pouzzolanes naturelles doivent cette propriété, la réaction pouvant s'écrire de façon très schématique :



Cette écriture est simpliste dans la mesure où elle pourrait faire croire que des formes à haute cristallinité, comme le Quartz et le Corindon, sont susceptibles de réagir avec la chaux.

La réaction pouzzolanique n'est pas observable que sur des matériaux qui comportent des phases dans lesquelles la silice et l'alumine sont particulièrement mobilisables. C'est le cas de certaines structures amorphes et plus particulièrement des verres acides. L'activité pouzzolanique des argiles calcinées amorphes et des cendres volantes, essentiellement vitreuses, est liée à cette particularité [12].

Il a été admis que le même critère s'applique aux pouzzolanes naturelles et que seules la silice et l'alumine constitutives des phases vitreuses sont effectivement réactivées.

C'est en grande partie aux réactions acides bases se produisant entre la chaux et les oxydes Acides contenus dans une pouzzolane que sont attribuables les améliorations techniques observées dans le béton renfermant cette pouzzolane [12].

L'effet pouzzolanique est relativement lent, il peut être accéléré par un apport thermique ou en introduisant des adjuvants chimiques ; tels les alcalis et les sulfates.

Une exception doit cependant être faite pour certains minéraux structure est zéolithique.

I.2.2.2 Mécanisme de la réaction pouzzolanique :

Les feldspaths qui sont les constituants essentiels des pouzzolanes appartiennent à la classe des tectosilicates.

Leur structure cristalline résulte d'un arrangement de tétraèdres :



L'édifice est un assemblage de silice neutre SiO_2 et d'ions aluminates AlO_2 . Les tétraèdres sont organisés en un édifice complexe laissant des cavités où se logent les cations alcalins et alcalino-terreux. Les verres pouzzolaniques sont constitués de mêmes tétraèdres, mais l'arrangement de ceux-ci est désordonné [14].

Les Silicates et les Aluminates de Calcium hydratés sont également formés d'un arrangement de tétraèdres, mais ceux-ci sont indépendants, étant constitués d'ions tels que AlO_4H_4 et SiO_4H_3 . Le passage de l'état anhydre, où les tétraèdres sont oxygène commun, aux phases hydratées où ils sont indépendants se fait donc nécessairement par l'intermédiaire d'une individualisation de ces entités sous une forme qui ne peut être que ionique [12].

Dans l'hypothèse d'un mécanisme suivant le modèle de LE CHATELIER, on distinguera trois étapes :

i) Etape d'attaque [12]:

Les travaux de WYART et AL sur la réaction de l'eau sur les tectosilicates et ceux de STRUILLU sur le lessivage des roches Feldspathiques par l'eau suggèrent le mécanisme suivant : considérons un assemblage tétraédrique à oxygènes communes et intéressons nous à un tétraèdre superficiel.

Celui-ci peut comporter un sommet libre, occupé, non comme les autres sommets par un ion O^{2-} , auquel cas il présenterait un excès de charge égale à -1 , mais par un ion OH^- . Ce tétraèdre peut être desserti par une solution basique de la façon suivante :

Un ion OH^- est attiré par l'ion central (Si^{4+} ou Al^{3+}) de l'un des tétraèdres supports. Il expulse l'oxygène de liaison, provoquant le basculement du tétraèdre superficiel qui n'est plus lié que par une arête autour de laquelle il peut pivoter, et qui présente maintenant un excès de charge égale à -1 , ce qui lui confère une forte affinité pour l'eau.

Le même processus pourrait provoquer la rupture des liaisons résiduelles, mais la présence d'une charge négative excédentaire tend à éloigner les ions OH^- .

L'hydrophile du site ionique créé va favoriser une coupure du même type, mais par des molécules H_2O et non plus par des ions OH^- libérant ainsi un ion tétraédrique qui serait soit l'ion SiO_4H^{3-} soit l'ion AlO_4H_4 .

ii) Etape de diffusion [12] :

L'ion libéré par l'attaque va diffuser dans la solution, c'est-à-dire que sous l'effet de l'agitation thermique il va s'éloigner progressivement de la surface originelle. Il tendra statiquement à se diriger vers les « puits » de concentration que constituent les germes de cristallisation d'hydrate.

iii) Etape de cristallisation des hydrates [12] :

La présence dans la solution d'ion Ca^{2+} provoque à partir d'une certaine concentration d'ions silicate et aluminate déterminé par les produits de solubilité des hydrates, une instabilité thermodynamique qui va entraîner la cristallisation de ces derniers.

Cette cristallisation va s'amorcer sur les surfaces minérales présentes, les recouvrant d'une couche liante qui est à l'origine du développement de la cohésion.

La matière pouzzolanique se recouvrant au même titre que les surfaces inertes, ce phénomène va avoir tendance à freiner de plus en plus l'attaque, jusqu'à inhibition pratiquement totale.

I .2.2.3. Etude de l'action chimique et physique de l'effet pouzzolanique :

Après calcination, le kaolin et l'hydroxyde de calcium redissent à des températures ordinaires et se transforment en Géhénite hydratée (C2ASH8) et le silicate de calcium hydraté (CSH) dont le rapport CaO/SiO_2 varie entre 0.8 et 1.5 [10].

Toutefois ; MASSAZA et COSTZA utilisé plusieurs variétés de pouzzolanes Italiennes et ils sont arrivés à la conclusion que les rapports respectifs CaO/SiO_2 et $\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ dans le produit de réaction à 90 jours atteignant 1.2 à 1.68 et 1.67 à 2.61 ,valeurs qui se situent dans le champs de composition du CSH formé par l'hydratation du C3S (composé principal du ciment portland).

Si on compare une pâte pure de ciment portland bien hydraté avec une pâte renfermant 40% de pouzzolane, on aura le résultat porté sur le graphe de la **figure I.3** [12].

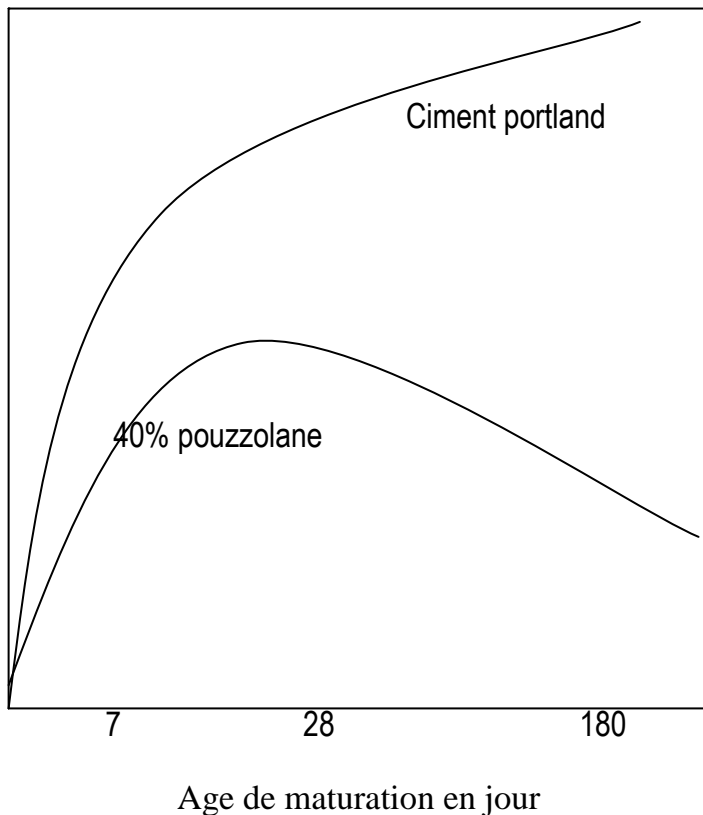


Figure I.3 : Courbe de la teneur en hydroxyde de Calcium en fonction de l'âge de maturation d'une pâte pure et une pâte renfermant 40% de pouzzolane.

En outre, selon certains auteurs, le rapport CaO/SiO_2 dans le CSH que contient un mélange de ciment portland/pouzzolane hydraté est largement inférieur au CSH dans les ciments portland hydratés, ce qui peut contribuer en partie à la résistance chimique supérieure que présente le mélange de ciment portland pouzzolane hydraté [11].

Les travaux récemment effectués par de nombreux chercheurs confirment que ce n'est pas l'action chimique de l'effet pouzzolanique mais bien plutôt l'action physique donnant lieu à l'affinage des pores de la pâte que revêt probablement la plus grande importance en ce qui a trait à l'augmentation de la durabilité chimique et de la résistance mécanique [12].

I.2.3 Recherche bibliographique et travaux antérieurs.

M.Benkaddour et al ; Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle, Revue Nature et Technologie.

Ce travail expérimental a porté sur l'utilisation des matériaux locaux de la région ouest, ont étudié l'effet de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf (gisement de Bouhmidi) et la pouzzolane artificielle à base de la vase calcinée de barrage Ferrgoug (Mascara) sur les résistances mécaniques et les performances de durabilité vis-à-vis des milieux acides des mortiers confectionnés.

L'étude a montré une amélioration des propriétés mécaniques et de la résistance aux agressions chimiques par rapport au mortier sans ajout 2009. [4].

N.Kaid et al, étude de la durabilité des mortiers pouzzolaniques face aux milieux agressifs, SBEIDCO_1st International conférence on sustainable built environment in developing ENSET Oran (algérien).

L'objectif de cette recherche répond au souci de valorisation des ressources naturelles abondants et économiques, que constituent les pouzzolanes naturelles de beni-saf en Algérie, et ont l'utilisation n'est encore que partielle dans la fabrication des ciments et bétons.2004. [6].

N. Kaid et al, caractéristiques mécaniques de bétons contenant une pouzzolane naturelle face aux attaques à l'eau de mer et aux sulfates, SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria).

Ils ont présenté les résultats d'une étude expérimentale portant sur l'évolution de l'effet de la pouzzolane naturelle de la région de Béni-Saf sur l'évolution des résistances à la compression des bétons vis-à-vis d'une eau de mer méditerranéenne et d'une solution des sulfates de sodium. La particularité de cette étude est d'utiliser une pouzzolane en remplacement d'un ciment CEM II/A.

Les résultats des résistances à la compression montrent que le comportement des bétons pouzzolaniques à l'action de l'eau de mer et les sulfates reste comparable à celui des bétons témoins. Ces résultats permettent ainsi de montrer que l'utilisation de la pouzzolane de Béni-Saf, utilisée en remplacement d'un ciment composé, permet de conserver les propriétés mécaniques des bétons et conduit à l'obtention d'un nouveau matériau économique et Ecologique.2009. [2].

R.Mohamed Krachaïl et al, influence de la pouzzolane de Béni-saf sur les performances mécaniques des bétons autoplaçant, SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria).

L'objet de cette étude est d'utiliser cette pouzzolane comme substitution d'une partie de ciment dans un béton autoplaçant et ils ont étudié l'influence de la pouzzolane naturelle de béni-saf sur les performances mécaniques des bétons autoplaçant. Pour cela, ils ont confectionné six bétons à base de différentes teneurs en pouzzolane (10, 15, 20,25, 30, 35 %), dont ils ont mesuré les résistances à la compression et à la flexion à différentes échéances et un béton témoin de référence pour besoin de la comparaison.2009. [1].

A.Ali Aichouba et al, effets de la pouzzolane naturelle de Béni-saf sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire. Colloque CMEDIMAT.

L'objectif de ce travail consiste en l'étude des effets de l'incorporation de la pouzzolane naturelle sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité d'un ciment à la base de calcaire. Les résultats obtenus confirment que l'utilisation des ciments ternaires contribue d'une façon positive à l'amélioration des résistances mécaniques des ciments. La durabilité est aussi améliorée où une meilleure résistance aux acides et à la perméabilité aux ions chlore a été prouvée. 2005. [7].

M.Z.Bessenouci, Impact et contribution thermo énergétique des matériaux de construction à base pouzzolanique dans l'habitat, Mémoire de Magister en physique énergies renouvelable, Université de Tlemcen, Département de physique (URMER).

Ce travail est une étude des pouzzolanes naturelles en tant que composants de base dans les matériaux de construction. Il est destiné à mettre en relief l'avantage thermique de ces matériaux. Il est économiquement intéressant d'utiliser la pouzzolane en substitution d'une partie du clinker comme ajouts hydrauliquement actives, et dans les compositions de bétons légers sous forme de mélange de granulats de pouzzolane, qui offrent des résistances mécaniques conformes aux normes en vigueur.

A démontré d'une manière générale les différentes méthodes de mesures des propriétés thermo physiques, notamment de la conductivité thermique, en régime stationnaire et in stationnaires. 2010. [5].

M Z Bessenouci, et al ; Approches théoriques de la conductivité thermique apparente du béton de pouzzolane à l'aide d'une modélisation des matériaux poreux. Revue des Energies Renouvelables.

Ce travail est une étude des pouzzolanes naturelles en tant que composants de base dans les matériaux de construction.

Dans cette étude, sont exposés des résultats expérimentaux de mesures de la conductivité thermique apparente du béton de pouzzolane à l'aide d'une approche, qui considère que le béton est composé de deux phases solides, une matrice liante (la pâte du ciment hydratée), et l'ensemble des granulats. Ont appliqué une deuxième approche théorique, comparative, où le béton est constitué d'une phase solide et d'une phase fluide (l'air).

Une approche théorique est menée de la conductivité thermique apparente des matériaux de construction, en occurrence le béton à base de pouzzolane. Une modélisation thermique, apparente à celle utilisée habituellement pour les matériaux poreux, a été adoptée aux bétons de pouzzolane. 2009. [3].

I.3 Agglomérés de béton léger

I.3.1 Introduction:

Il existe une très grande variété de maçonnerie en raison du nombre de matériaux utilisés, pierres naturelles, brique en terre cuite perforé ou non, blocs de béton (agglomérés), etc. La construction en maçonnerie est la juxtaposition de cette dernière avec d'autres matériaux de construction (mortier de chaux ou de ciment, pâte, ...etc.) liés entre eux et formant un ensemble de forme et dimensions déterminées. Dans une construction, l'ensemble des matériaux d'un ouvrage doit se comporter comme un monolithe, c'est-à-dire que ses éléments doivent être en équilibre sous l'action des différentes forces qui les sollicitent [18].

I.3.1.1 Historique de la maçonnerie :

Dans sa forme la plus primitive la maçonnerie est presque aussi ancienne que l'homme. Il faut arriver toute fois au 2^e et au 1^{er} millénaire avant notre ère, c'est-à-dire au seuil des grandes civilisations, orientales, pour voir utiliser rationnellement des matériaux comme la pierres, la brique, le pisé à des fins constructives [17].

Les égyptiens sont les premiers à élever des édifices imposants en pierre tels leurs temples et les pyramides dont les blocs énormes sont hissées à des hauteurs surprenantes. En Assyrie, les nombreuses poteries découvertes au cours des fouilles effectuées principalement depuis le milieu du XIX^e siècle, témoignent d'un usage courant de la pâte cuite. Sur les rives limoneuses du tigre (à Ninive) et de l'Euphrate (à Babylone) ont été trouvés des briques et des carreaux de terre cuite de fabrication déjà presque industrielle, au moins dans les dimensions (briques de 0.05m d'épaisseur, 0.08m de largeur ; 0.10 à 0.12m de longueur et briques carreaux de 0.072m d'épaisseur, 0.32m de largeur et 0.35m de longueur) dont les valeurs principales se rapprochaient du pied Babylonien qui était de 0.315m en moyenne [16].

A Ninive, la fabrication des briques va même jusqu'à développer des possibilités de décoration puisque certaines briques comportent des parements émaillés composant des figures.

Dans les parties de l'Assyrie, les habitations courantes sont montées en briques cuites au soleil [16].

Les peuples installés dans les îles et sur les rives de la mère Egée réalisent également des constructions importantes dont l'exemple le plus frappant qui nous reste est l'ensemble des remparts de Mycènes construits en blocs de pierre tellement volumineux qu'ils ont été dénommés murs cyclopéens, figure (I.4).

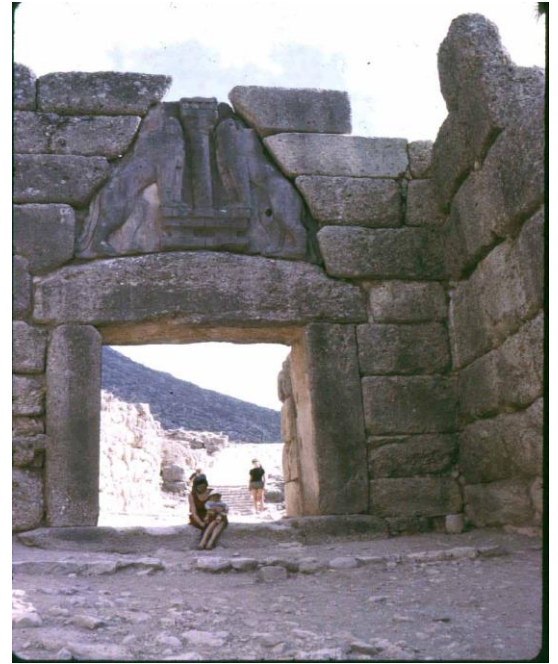


Figure I.4 : Murs cyclopiens.

Nous pouvons encore citer d'autres exemples fameux du génie constructeur de l'homme de ces époques, tels le temple de Salomon en Palestine et ses murs en pierres, la tour de Babel, en brique près de Babylone, figure : au II^e siècle avant Jésus-Christ « la muraille de Chine », **figure (I.5)**, ouvrage gigantesque de 8m de haut, 5m de large et une longueur de plus de 6000km. Cette muraille était constituée par un soubassement en granit, des parements en briques et un remplissage intérieur en terre et graviers [16].



Figure I.5.a : La tour de Babel



Figure I.5.b : La muraille de Chine

Figure I.5 : la tour de Babel et la muraille de Chine.

I.3.1.2 La naissance du bloc béton [16].

Les témoignages photographiques les plus anciens montrent une fabrication manuelle de blocs par pilonnage du béton dans un moule métallique que l'on peut situer vers la fin du XIX^e siècle. (**Figure I.6**).

On procède déjà à la fabrication de blocs, probablement exclusivement pleins, par démoulage immédiat. Le stockage nécessite donc un espace important.

Les premières machines à bras (**figure I.7**) et apparaissent aux environs de la première guerre mondiale ; elles sont d'origine italienne et américaine.



Figure I.6: Machine « l'unique » n°1 à bras de Vincent vers 1918

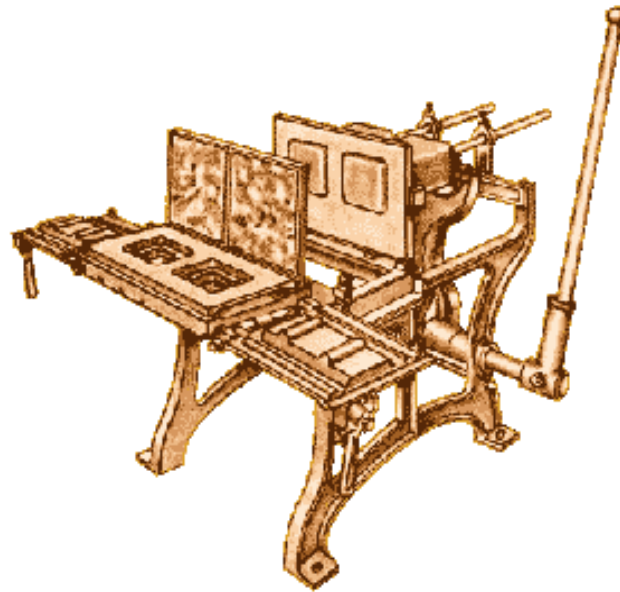


Figure I.7: Machine à bras «Rosacometta » vers 1920.

La fabrication est assurée, dans certains pays, directement sur le site de construction des ouvrages (en Angleterre, par exemple), ce qui ne devait pas simplifier les choses surtout en hiver, les premières usines apparaissent alors dans le but de résoudre le problème du stockage, environ 250 blocs par poste de huit heures [16].

Les premières presses vibrantes fixes apparaissent aux environs des années 50 du XX siècle. (Figure I.8).

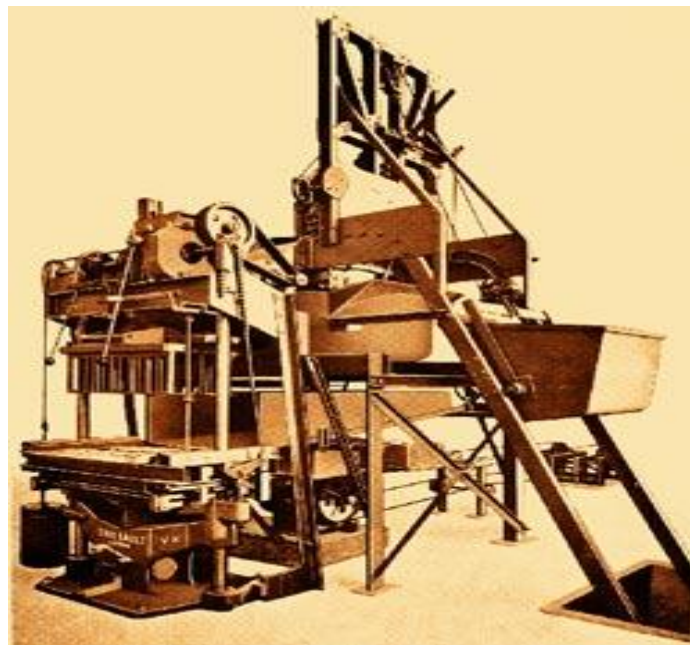


Figure I.8 : Premières presses vibrantes fixes vers 1950.

I.3.1.3 Définition:

Les agglomérés de béton léger c est un produit en béton homogène, non armé de granulats courants ou légers de forme générale parallélépipédique de fabrication industrielle, possédant des caractéristiques régulières et contrôlées montés à joint de mortier et éventuellement à joint secs servant à la construction des murs et des cloisons [17].

La **figure I.9** montre deux types d'agglomérés.



Figure I.9.a: Hourdis



Figure I.9.b: Parpaing

Figure I.9: Agglomérés de béton (hourdis et parpaings).

I.3.2 L'industrie du bloc de béton :

I.3.2.1 le développement de l'industrie du bloc de béton :

Le développement de l'industrie de bloc béton fait apparaître une nouvelle génération de machines mobiles ; dites pondeuses (**figure I.10**); dont le principe est de démouler au sol le ou les blocs fabriqués par vibration et compression ; puis d'avancer de quelques mètres afin de démouler les suivants. Ce mode de fabrication a pour intérêt essentiel ; de limiter au maximum la manipulation des blocs frais et donc les risques d'endommagement [16].



Figure I.10: Machine mobile « Pondeuse » plate-forme Chetouane.

Les presses automatiques apparaissent dans les pays industrialisés. La machine est dorénavant fixe et les blocs fraîchement démoulés sur les planches (en bois ou en acier) sont transportés dans des cellules de durcissement ou ils séjournent environ 24 heures avant leur palettisation [18].

Les usines utilisent actuellement ce principe de fabrication dans des versions améliorées et optimisées. Ils ont ainsi vu l'automatisation complète de la production depuis l'asservissement de la centrale à béton jusqu'à la palettisation en passant par la machine et ses équipements la manutention des planches et des produits durcis. La sécurité et la maintenance ont été considérablement améliorées [16].

I.3.2.2 Description générale d'une fabrication automatisée pour une usine [16] :

La chaîne de fabrication décrite dans la **figure I.11** produit des blocs en béton. Elle est constituée de sept parties principales :

i. Une centrale à béton qui élabore la matière constitutive des blocs à partir d'agrégats (sable et graviers) ; de ciment, d'eau ; etc.....

ii. Une presse qui moule les blocs et les dépose sur une planche de séchage,

(Figure I.12)

iii. Un ascenseur qui empile les planche.

iv. Un transbordeur, constitué de deux chariots a mouvements croisés, sur rails, qui assurent le transfert des piles de planches fraîches vers le magasin temporaire et ressort les planches séchées vers le descenseur

v. Un magasin temporaire dans lequel séjournent les blocs et qui assure prise et début de séchage .sa capacité est telle qu'ils y séjournent environ 24 heures.

vi. Un descenseur qui dépile les planches.

vii. Un palettiseur qui décharge les planches et empile les blocs, en les croisant, afin de constituer les lots de commercialisation. Les palettes ainsi constituées sont acheminées par chariot élévateur vers u ne zone de stockage. L'alimentation en énergie électrique est réalisé au moyen d'un poste de transformation HT/BT.

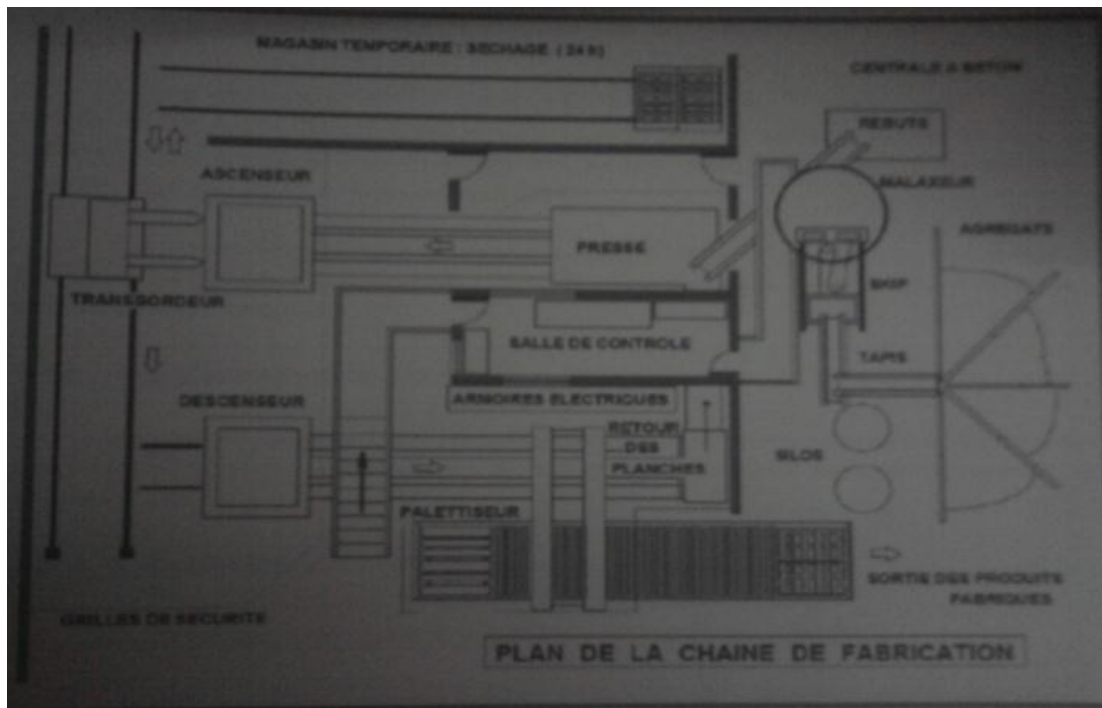


Figure I.11: Plan de chaîne de fabrication.



Figure I.12 : la presse mécanique.

I.3.3 Normes et règles en vigueur :

On note dans ce paragraphe les différentes exigences concernant la géométrie, la résistance mécanique et thermique ainsi que d'autres exigences de stabilité selon les normes.

I.3.3.1 modèles et dimensions de bloc selon les normes françaises NF:

Dimensions du bloc (Longueur*Largeur*Hauteur en mm) dans une appellation structure et classe de résistance visée, (**figure I.13**).

La norme Européenne NF EN 771-13 Compil (P12-023-1 Compil) n'impose pas de dimensions de fabrication .Par contre, elle modifie le mode de désignation des produits [17] :

Auparavant : largeur*hauteur*longueur, en cm (EXP : 15 *20*40).

Actuellement : longueur*largeur*hauteur en mm (EXP : 400*150*200).

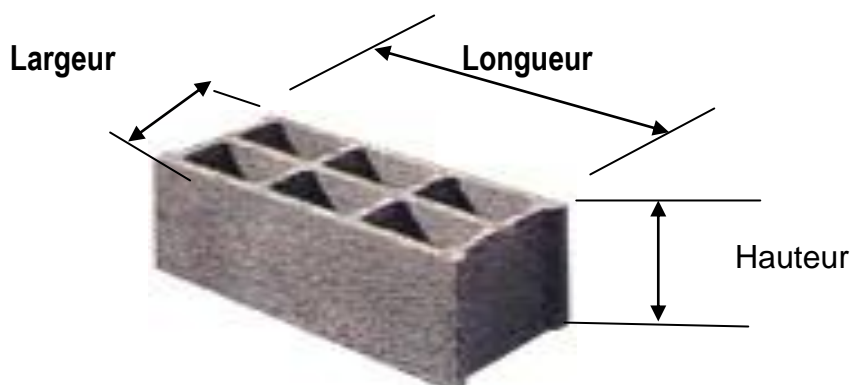


Figure I.13: dimensions de blocs (L*l*h) .

Le complément de la norme française NF P 12-023-2 (**tableaux I.1**) définit les dimensions de fabrication permettant de respecter les dimensions de coordination modulaire. Ces dimensions sont garanties par la marque NF [16].

BLOCS DE PAREMENT	
Dimension de coordination modulaire (mm)	
Longueur	100-150-200-250-300-350-400-450-500-550-600
Largeur (épaisseur du bloc)	50-150-200
Hauteur	100-150-200-300
Dimensions de fabrication correspondantes (mm) : elles sont identiques aux dimensions de coordination ci-dessus, réduites de 10 mm, que les blocs soient à maçonner ou à coller	

Tableau I.1: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs de parements).

BLOCS A ENDUIRE					
	Dimensions de coordination modulaire	Dimensions de fabrication correspondantes			
		Blocs à maçonner			Blocs à coller
		Blocs courants	Blocs à Emboitement	Blocs non Parallélépipédiques	
Longueur (mm)	400	400	396	Longueurs de fabrication déclarées	396
	500	500	496		496
Largeur (mm)	100	100	100	100	/
	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200
Hauteur (mm)	200	200	190	190	196 ou 198
	250	250	240	240	246 ou 248
	300	300	290	290	296 ou 298

Tableau I.2: Les dimensions de fabrication en fonction de dimensions de coordination modulaire (Blocs à enduire).

Les dimensions de coordination modulaire sont celles du volume du bloc dans le mur fini. Pour les obtenir, il convient d'ajouter aux dimensions de fabrication du bloc, l'épaisseur des joints éventuellement celle de l'enduit si les blocs sont destinés à être enduit sur une face

Les dimensions de coordinations sont déterminantes pour l'assemblage des blocs entre eux ou avec des éléments voisins [16].

I.3.3.2 classification de béton selon NF EN 1996-1-1 Euro code 6 :

Pour le calcul des murs de maçonnerie et leur tenue au feu, l’Euro code 6 classe les produits selon leur structure : épaisseur minimale des parois et cloisons, pourcentage de matière en volume, (**tableau I.5**) [16].

Classement selon NF EN 1996 1-1 « Euro code 6 »	Appellation des produits correspondants selon NF EN 771-3 et NF P 12-023-2
Groupe 1	Bloc plein ou perforé à enduire ou de parement (à maçonner, à coller)
Groupe 2	Blocs creux de parement (à maçonner ou à coller
Groupe 3	Blocs creux à enduire (à maçonner ou coller)

Tableau 1.3: Classification des blocs en béton selon NF EN 1996 Euro code 6.

I.3.4 Performances et classes de résistance :

Les blocs, qui par définition servent à construire des murs, doivent assurer une fonction de portance .il en résulte que résulte que l’une de leurs propriétés essentielles est la résistance à lé écrasement [18].

La classe représente la contrainte de rupture exprimée en bars (B40=40bars=4MPa) .

Rapporté à la section brute minimale du bloc. Quatre vingt quinze pour cent des blocs fabriqués dans une classe donnée doivent présenter une résistance à l’écrasement égale ou supérieure à cette valeur (fractile 0.05) et aucun résultat ne doit être inférieur à 90% de la valeur de la classe [16].

Les classes de résistance des blocs destinés à être enduits et de ceux destinés à rester apparents sont indiquées dans le **tableau I.6**.

	Blocs destinés à être enduit		Blocs destinés à rester apparents	
	Granulats courants	Granulats légers	Granulats courants	Granulats légers
Blocs creux	B40-B60-B80	L25-L40	P60-P80-P120	LP40-LP55
Blocs pleins ou perforés	B80-B120-B160	L35-L45-L70	P120-P160-P200	LP45-LP70

Tableau I.4: les classes selon le complément français NF 12-023-2 pour réaliser des ouvrages conformes aux DTU.

B : blocs en béton de granulats courants.

L : blocs en béton de granulats léger.

P : blocs apparents en béton de granulats.

LP : blocs apparents en béton de granulats légers.

I.3.4 Domaines d'emplois et avantages :

Le bloc de béton de largeur nominale de 20cm avec un enduit extérieur est devenu la référence, qui a détrôné tous les autres procédés de construction .Par exemple en Europe(France) plus de 7 maisons individuelles construites sur 10, possédant des murs en blocs de béton (ou parpaing).

C'est le matériau le moins cher pour construire et qui présente de nombreux avantages :

Le coût de transport est beaucoup plus faible par rapport aux autres matériaux à cause de la large répartition des plates formes de production sur le territoire ,un chantier propre avec une nuisance moindre et limitée dans le temps , la résistance minimale à la compression est de 4MPa à 16MPa avec certains blocs béton et la facilité à mettre en œuvre.

Le parpaing existe en plusieurs épaisseurs ce qui permet de concevoir des murs à différentes géométrie. Le respect des recommandations de construction limite beaucoup les risques de fissuration pour un matériau sujet à la dilatation et au retrait.

Du point de vue écologique, il ne nécessite que très peu d'énergie pour sa fabrication (moins de 12 watts) et en plus il est à 100% recyclable.

L'empilement de plusieurs blocs, hourdés par mortier, permet la construction de structure légère.

I.3.5 Recherche bibliographique et travaux antérieurs :

S.DJEMAI.2000.(Etude qualitative des sables concassés de quelques carrières locales. Application à la fabrication d'agglomérés).Ce projet consiste en une étude qualitative des sables concassés de certaines carrières de la région de TLEMCEN et leur utilisation dans la fabrication de mortier et d'agglomérés (corps creux et parpaing).

L'étude concerne douze carrières situées dans les régions de Koudia, Zeddiga et Ouchba pour le sable concassé et la carrière de Terga pour le sable roulé. Il s'agit ici en un premier temps de déterminer les caractéristiques physiques et physico-chimiques des échantillons de sables prélevés et rechercher en suite une composition optimale de mortier de béton pour une meilleure résistance mécanique.

En fin, nous proposons avec une étude comparative restreinte et sur la base résultats obtenus, un choix optimum de sable pour la fabrication traditionnelle d'agglomérés comme le parpaing et le corps creux [19].

P.MEUKAM.2004.(valorisation des briques de terre stabilisée en vue de l'isolation thermique de bâtiments). ce travail se met au point des briques de terre avec incorporation de matériaux à faible masse volumique et dont les conductivités thermiques sont suffisamment faibles pour que le béton de terre obtenu soit judicieux pour une isolation thermique .le choix est d'incorporer dans les briques de terres stabilisée(BTS) soit de la pouzzolane naturelle soit de la sciure [20].

M.SOGBOSI .1992.(CONCEPTION DE QUELQUES UTILISATIONS DE STRUCTURES ENGEOBETON)Ce projet bien que prétendant trouver des utilisations pour le géo béton, connaît tout de même des limites , étant données les caractéristiques du matériau. En effet la latérite ne pourrait remplacer entièrement des matériaux modernes étant donné que ceux-ci ont été conçus pour avoir de bonnes caractéristiques. Aussi, spécifierons-nous les conditions d'utilisation, les performances à atteindre ainsi que les conditions de réalisation des ouvrages que nous avons à dimensionner. Il nous serait donc difficile par exemple d'envisager de construire une piste d'avion ou un immeuble à 5 étages avec uniquement du géo béton [21].

S. PATTOFATTO.2004.(COMPORTEMENT DYNAMIQUE DUBÉTON FRAIS APPLICATION AU PROCÉDÉ DE FABRICATION DES PARPAINGS)Cette étude a permis de présenter les enjeux industriels et scientifiques de la production industrielle de blocs, à l'origine de ce travail de thèse. Le bloc est un produit de très grande consommation mis en forme sur une seule machine : la presse vibrante. Celle-ci bénéficie d'une productivité très importante, due essentiellement à la mise en vibration des éléments assurant la conformation du béton frais. La vibration est donc une sollicitation d'assistance au compactage réalisé par le pilon. Les solutions de conception et de réglage sont souvent basées sur le concept du "qui peut le plus peut le moins". L'énergie dissipée est donc très importante, pour un résultat qui est parfaitement concluant : la production de blocs conformes en très grandes séries. Les partenaires industriels de ce travail de thèse ont souhaité adopter une démarche scientifique centrée autour de la problématique de l'interaction entre la vibration et le matériau. L'objectif final étant une meilleure conception du procédé, adaptée à la loi de comportement du matériau à mettre en forme [8].

2001.(L'entreprise Coeck fournit des blocs de béton neutres en CO2 pour des projets de construction dans la région du Rupel). L'entreprise Coeck fournit 825m³ de blocs de béton neutres en CO2 pour la construction du complexe de services Den Brandt à Boom et pour la transformation des dépôts communaux de Hemiksem en une salle des fêtes polyvalente. Le béton est le produit phare dans l'assortiment des produits de qualité proposé par le fabricant de béton Coeck, situé à Niel. La durabilité est le fer de lance de sa stratégie de gestion, mais aussi de sa politique de qualité des produits finis. Pour cette raison, elle vise constamment des produits durables toujours plus performants [15].

I.4 CONCLUSION :

Cette partie a permis de présenter une revue bibliographique sur la pouzzolane et les agglomérés de béton léger.

Le bloc en béton est un produit de très grande consommation mis en forme sur une seule machine : la presse vibrante. Celle-ci bénéficie d'une productivité très importante, due essentiellement à la mise en vibration des éléments assurant la conformation du béton frais.. La pouzzolane se définit comme étant un ajout minéral actif d'origine naturelle ou artificielle riche en silice et en Alumine. Dans notre cas, elle est utilisée surtout en tant que granulats.

Chapitre II
**Identification de la pouzzolane
de Béni-Saf**

2.1 Nature du gisement des pouzzolanes de Béni-Saf

L'Algérie possède une quantité de matériaux appréciables comme les matériaux pouzzolaniques d'origine volcanique qui s'étend le long de la frontière Algero-Marocaine et le sahel d'Oran.

La pouzzolane naturelle d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi situé à 2 km 500 de Béni-saf, dans l'ouest algérien. Ce gisement se présente sous forme d'une montagne conique appelée El-kalcoul dont la côte absolue est de 236 m, (**figure II-1**).

Les pouzzolanes naturelles sont des roches habituellement constituées de scories volcaniques basaltiques, de couleur variant du rouge au noir. Elles sont essentiellement composées de silice et d'alumine.

Elles sont assez largement utilisées dans les matériaux de construction. Principalement à cause de leurs propriétés physico-chimiques intéressantes qu'elles peuvent développer dans les matériaux cimentaires, une réduction en poids qui peut assurer une économie considérable en argent et en main d'œuvre.



Figure II-1 : Gisement de Béni-Saf

2.2 Caractéristiques de la pouzzolane utilisée (gisement de Bou Hamidi Béni-Saf)

2.2.1 Gisement de Bouhamidi (nord ouest algérien)

La détermination des caractéristiques physiques et chimiques des pouzzolanes naturelles et artificielles a été réalisée en collaboration avec le laboratoire national des travaux d'ouest (LTPO).

Les résultats de ces analyses sont reportés sur les **tableaux II-1 et II-2**

Pour la pouzzolane utilisée dans notre travail, c'est la pouzzolane naturelle.

Caractéristiques	valeurs
Surface spécifique BLAINE de poudre (cm ² /g)	3560
Masse volumique absolue (g /cm ³)	2,75
Masse volumique apparente (g /cm ³)	1,02
Porosité (%)	57,1
Absorption (%)	32
humidité(%)	2,5
Pouzzolanité (%)	85

Tableau II-1 : caractéristiques physiques de la pouzzolane gisement de bou hamidi

Les composants	symbole	unité	Teneurs
La silice	SiO ₂	%	46,60
L'alumine	Al ₂ O ₃	%	17,50
L'oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	%	9,52
La chaux	CaO	%	10,10
La magnésie	MgO	%	2,40
Les sulfates	SO ₃	%	0,40
Les chlorures	Cl	%	0,0
Les oxydes de potassium	K ₂ O	%	1,47
Les oxydes de sodium	Na ₂ O	%	3,23

Tableau II.2 : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane gisement de bou hamidi

2.2.2 La teneur en verre :

La qualité d'une pouzzolane est liée à sa teneur en verre. Pour cela, il suffit de calculer, à partir de la composition chimique, la différence entre les teneurs brutes en silice et en chaux (silice-chaux). Lorsque cette différence est inférieure à une valeur seuil de 34%, les pouzzolanes ne comportent pas de phase vitreuse, selon les compositions chimiques des **tableaux II-2**, cette différence est supérieure à 34%, cela veut dire que nos pouzzolanes sont acides et contiennent une phase vitreuses.

L'analyse chimique montre que la pouzzolane contient plus de 46,6% de silice et environ 10,10% de chaux (**tableau II-2**). La pouzzolane naturelle de Béni-Saf possède donc une structure vitreuse, de plus la différence entre la silice et la chaux est d'environ 36,5% est supérieure à 34%, ce qui veut dire que la teneur en verre est appréciable.

2.3 Études des mortiers compactés à base de sable pouzzolane

2.3.1 Préparation et confection des échantillons de mortier

Des mélanges de mortiers ont été réalisés à partir du ciment portland de béni-saf, de sable pouzzolane, et l'eau.

Le mortier se compose en masse d'une partie de liant, de sable pouzzolanique et d'une partie d'eau. Les différentes compositions sont présentées sur le (tableau II-3).

	Sable pouzzolanique (g)	Sable normale (g)	Ciment (g)	Chaux (g)	Rapport E/C
Echantillon 1	1350	-	450	-	(0.4, 0.5, 0.6, 0.7)
Echantillon 2	675	675	450	-	(0.4, 0.5, 0.6, 0.7)
Echantillon 3	1350	-	225	225	(0.4, 0.5, 0.6, 0.7)

Tableau II-3 : Compositions des mortiers

Tous les mélanges ont été gâchés dans un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 litre, ces mélanges ont été malaxés pendant 4 minutes conformément à la norme.

Les mortiers ont été coulés dans des éprouvettes prismatiques (4×4×16 cm³) et compactés manuellement à l'aide d'une pièce en bois. Le poids compacté varie d'un échantillon à un autre. Le tableau II-4 donne le poids total du matériau compacté manuellement dans le moule à 3 compartiments. Les moules contenant les mortiers ont été stockés dans l'environnement du laboratoire et après 24 heures les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à l'âge de l'essai.

E/C	0.4	0.5	0.6	0.7
Echantillon 1 (g)	1372,5	1460,6	1539,2	1698,8
Echantillon 2 (g)	1329,3	1468,4	1666,3	1646,8
Echantillon 3 (g)	1347	1390,5	1230,2	1548,7

Tableau II-4 : Poids total du matériau manuellement compacté par moule

$$\text{Le poids compacté} = \text{le poids total} - \text{le reste.} \quad (2.1)$$

2-3-2 Essais mécaniques :

- Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportements des matériaux. La loi de comportement établit une relation entre les contraintes (pression=force/surface) et les déformations.
- Les essais mécaniques (flexion et compression simple) sont appliqués sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$.
- Les essais d'écrasements à la compression et de la flexion par traction sont effectués à 7,14,28,90 jours.

2.3.2.1 Essais de traction par flexion :

La mesure de la force ou la charge à la traction par flexion est effectuée sur la machine didactique universelle (laboratoire de structure Tlemcen) pourvu d'un dispositif de flexion par trois points tels que schématisés sur la figures (II-2 et II- 3).

On peut calculée la résistance à la traction par flexion selon la formule :

$$R_f = (1,5 \times F_f \times l) / b^3 \quad (2.2)$$

F_f : la force à la traction par flexion.

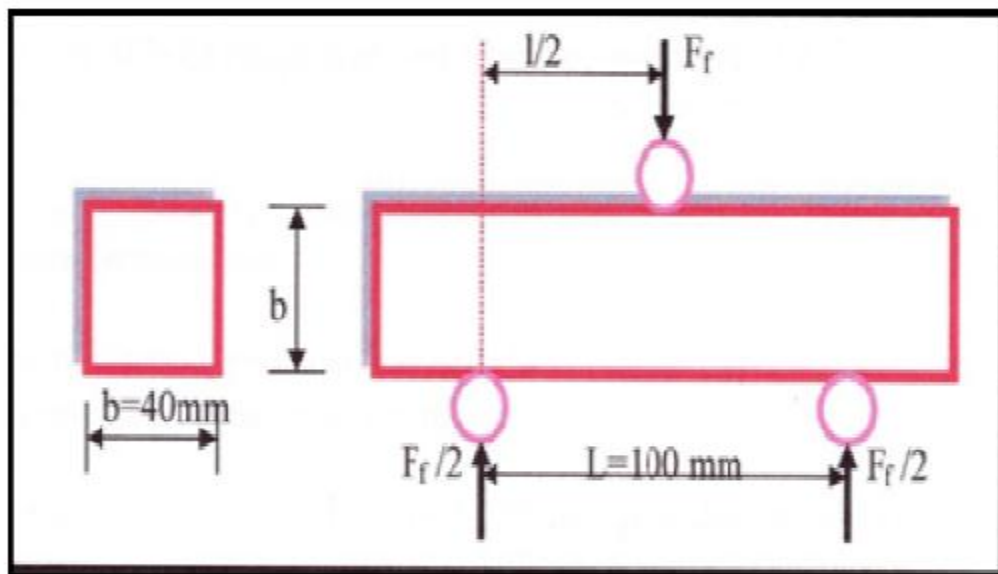


Figure II-2 : dispositif de flexion par trois points.



Figure II-3: dispositif pour l'essai de flexion (appareil didactique universelle).

2.3.2.2 Essais de compression :

Les demi-prismes obtenus après rupture en flexion de l'éprouvette ont été rompus en compression au moyen d'une presse d'écrasement. (Figure II-4 et II-5)

On peut calculée la résistance à la compression selon la formule :

$$R_c = F_c / S \quad (2.3)$$

F_c : la force de compression.

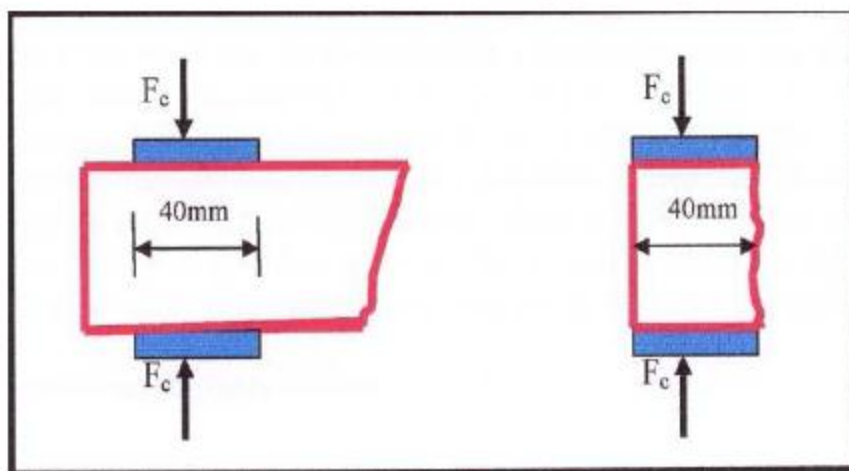


Figure II- 4 : essais de compression.



Figure II- 5 : essais de compression sur la machine didactique universelle

L'essai de compression consiste à soumettre une briquette à une charge de compression jusqu'à ce qu'on atteigne la charge de rupture.

La machine d'essai utilisée pour les écrasements des briquettes au sein de notre laboratoire des structures est la machine didactique universelle (**figure : II-6**), c'est une presse pour matériaux durs, conforme aux normes NF P18-411 et NF P18-412. elle est étalonnée dans les conditions de ces normes. En particulier, planéité des plateaux, le chargement et le centre d'application des forces ont été vérifiés au moment des essais.



Figure II-6 : machine didactique universelle

Les essais des compressions et des flexions sont réalisés suivant les étapes ci-après :

- Conserver les briquettes dans l'air de laboratoire jusqu'à la date d'essais.
- Positionnement des briquettes sur la machine d'essais.
- Appliquer la charge d'une manière continue et sans choc, à vitesse constante.
- Poursuivre le chargement jusqu'à la rupture des briquettes.
- En registrer la charge maximale supportée par les briquettes au cours de l'essai.

2-3-3Interprétation des résultats et conclusion

2-3-4 Essais de traction par flexion et de compression pour les différents mortiers

Les essais à (la flexion et de compression simple) sont effectués à 7, 14 et 28 jours, sont appliqués sur des éprouvette prismatiques de dimensions 4 x 4 x 16 cm. Les résultats obtenus des Forces de flexion F_f et de compression F_c sont donnés par **les tableaux II.5 à II.6.**

Le tableau II-5 présente les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, concernant le premier échantillon.

F E/c	7 j		14j		28j		90 j	
	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)
0,4	1,17	4,37	1,40	5,62	1,71	15	2,17	15,62
0,5	1,64	6,25	2,25	16,25	4,68	20,62	6,56	21,25
0,6	2,81	16	3,04	17,5	6,32	24,37	8,67	25,12
0,7	4,21	22,5	6,56	23,75	7,03	31,25	9,37	37,5

Tableau II-5 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, (premier échantillon).

Le tableau II-6 présente les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, concernant le 2eme échantillon.

F E/C	7j		14j		28j		90j	
	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)
0,4	1,17	4,37	1,40	8,12	1,87	8,12	2,27	11,87
0,5	2,10	8,75	3,04	15	7,03	16,25	9,37	21,25
0,6	3,75	12,5	6,56	21,87	8,20	24,37	11,01	25,18
0,7	5,86	20	6,8	25	8,43	28,75	12,18	31,25

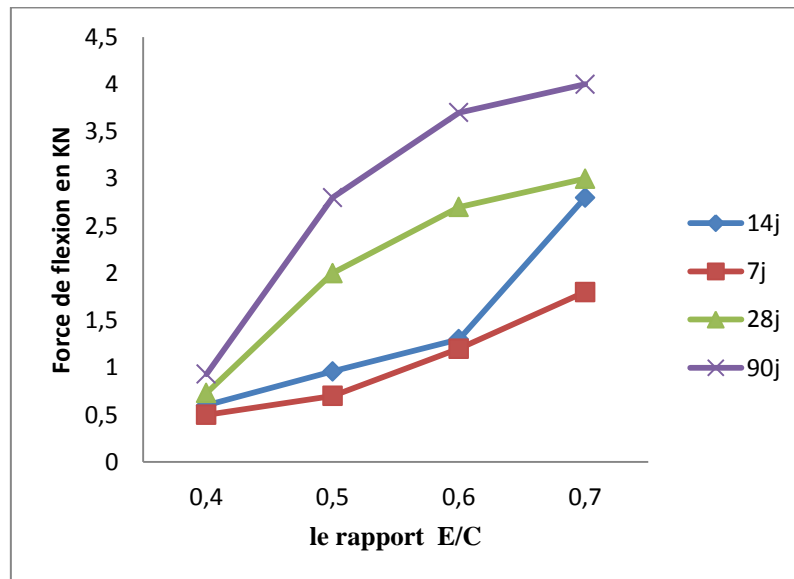
Le tableau II-6 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, (deuxième échantillon).

Le tableau II-7 présente les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, concernant 3eme échantillon.

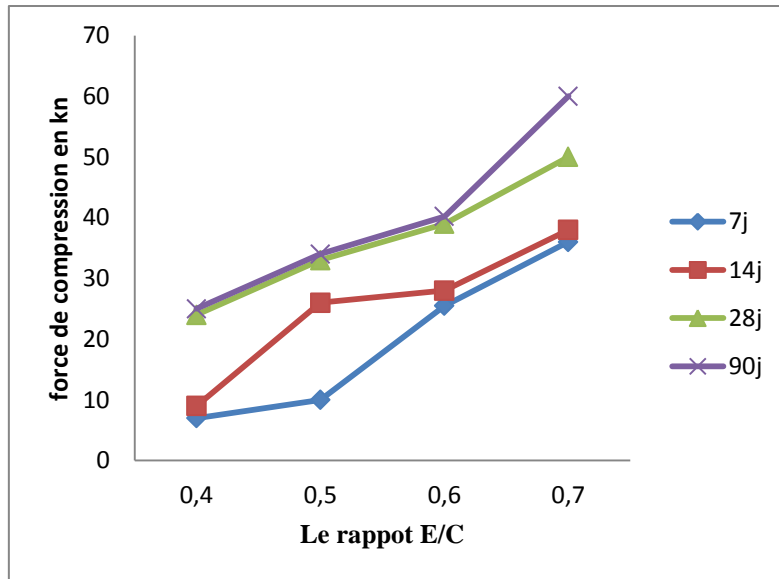
F E/C	7 j		14j		28j		90j	
	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)	F _f (Mpa)	F _c (Mpa)
0,4	1,00	4,66	1,57	4,18	1,71	3,87	1,64	3,20
0,5	2,34	2,66	7,17	4,58	7,03	4,43	6,32	3,75
0,6	2,81	8,85	5,46	8,43	6,56	8,18	5,62	7,5
0,7	17,10	11,18	4,45	17	4	16,7	2,57	16,37

Tableau II-7 : Les forces de flexion F_f et de compression F_c à différentes âges, (troisième échantillon).

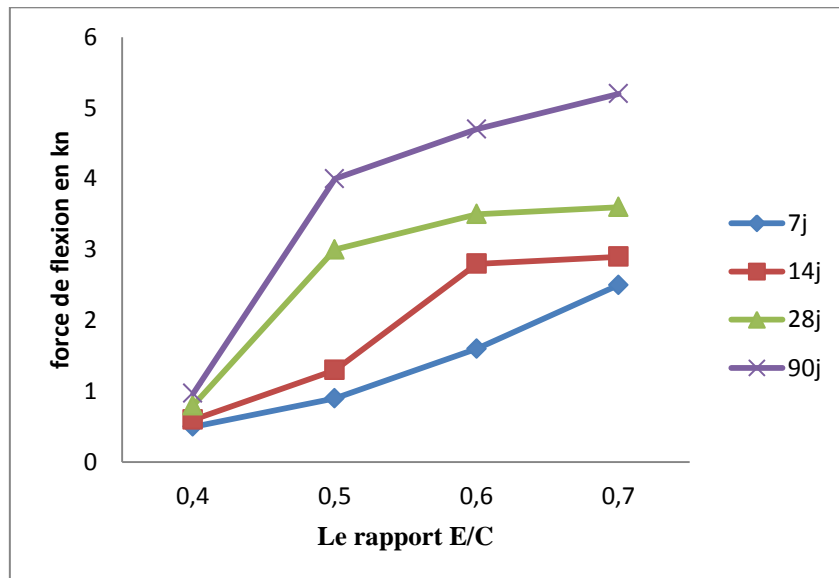
Les différents résultats sont représentés par les figures II-7 et II-8 pour l'échantillon 1, les figures II-9 et II-10 pour l'échantillon 2, et les figures II-11 et II-12 pour l'échantillon 3.



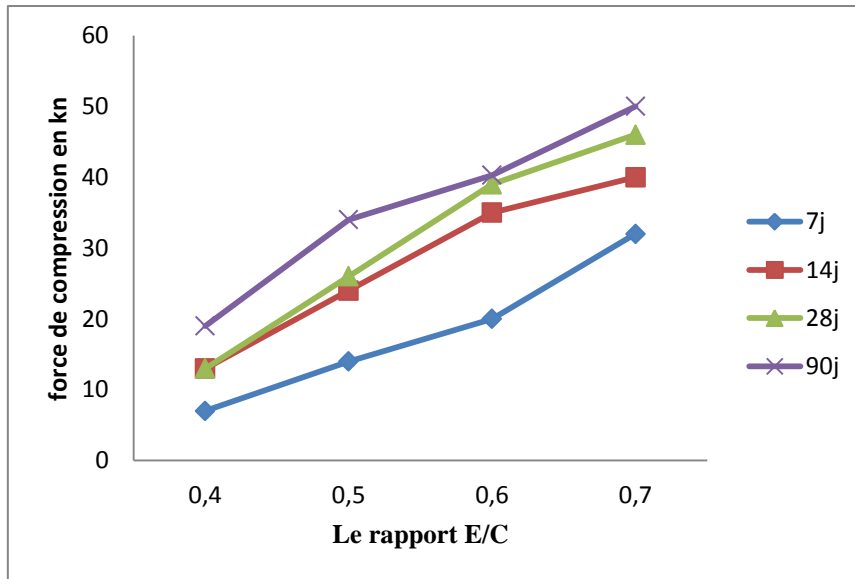
Figures II-7 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 01).



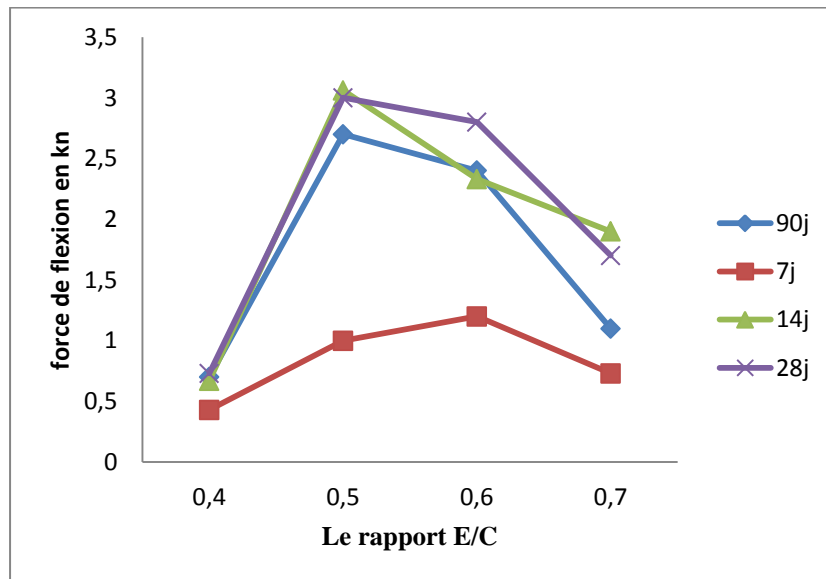
Figures II-8 : Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 01)



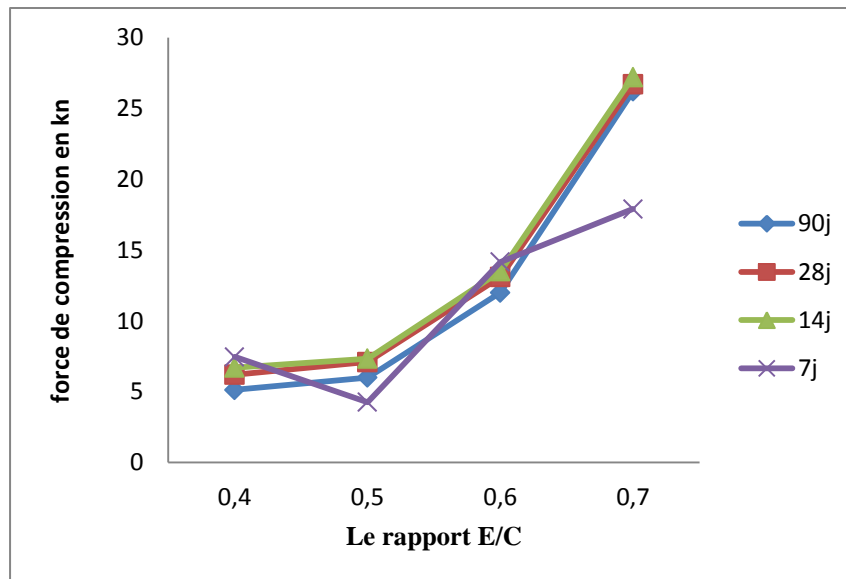
Figures II-9 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 02)



Figures II-10: Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 02)



Figures II-11 : Evolution de Force de flexion F_f en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 03)



Figures II-12 : Evolution de Force de Compression F_c en fonction du rapport E/C. aux différents âges (Echantillon 03)

2.3.5. Interprétation des résultats

L'analyse des différents graphes permet d'apporter les commentaires suivants :

Les **figures II.7 à II.12**, montrent l'évolution des force de compression et de la flexion en fonction du rapport E/C les trois mélanges. Ainsi que les effets de la combinaison de la pouzzolane avec les différents dosages du ciment, le sable normale et l'ajout d'une quantité de la chaux.

Comme on peut le constater, le premier et le deuxième mélange donne les plus grande charges de rupture à la flexion et à la compression par rapport au troisième mélange qui donne les plus faibles valeurs.

Pour un rapport de $E/C = 0.7$ et à 28 jours la force de rupture à la compression pour le premier échantillon est inférieure de 10 % par rapport au deuxième échantillon. Par contre, la force à la traction du premier mélange est de 20% supérieure à celui du premier échantillon.

D'après le tableau II.4, le poids total des différents échantillons augmente avec l'augmentation du rapport E/C. Ceci nous permet de dire que l'eau de gâchage joue un rôle très important concernant le poids des échantillons et en même temps elle influe sur la résistance mécanique.

L'évolution des forces de compression et de flexion des mélanges de la pouzzolane naturelle, suivant des dosages variant à hauteur de (1350 et 675).

On remarque l'augmentation de ces forces aux différents âges de durcissement pour tous les mélanges pouzzolaniques. A long terme, ces différents mortiers donneront des performances mécaniques pratiquement analogues à celle d'un mortier témoin.

Cela prouve que l'effet pouzzolanique a joué un rôle et que l'activité pouzzolanique est le principal paramètre responsable de l'augmentation des résistances.

Enfin, on constate que pour dosage 250 kg/m^3 en ciment et l'ajout de la chaux provoquent la diminution de la résistance.

2.3.6. Conclusion

-les résultats de cette recherche montre que la pouzzolane naturelle de la région de Béni-Saf contribuent à l'amélioration de la résistance de compression et de flexion en fonction de rapport E/C et de l'âge des mortiers contenant différentes pourcentages de la pouzzolane naturelle, les résistances de tous les mortiers augmente régulièrement avec l'âge et ne présente aucune chute de résistance.

-la résistance à la flexion diminue pour le dosage 250 kg/m^3 en ciment et l'ajout de la chaux (échantillons 3), le remplacement du ciment par de la chaux provoque une diminution de la résistance.

-le choix d'utiliser la pouzzolane comme substituant aux matériaux de construction usuels est avantageux du point de vue économique et écologique, et offre une possibilité pour améliorer la résistance des mortiers.

Chapitre III

Fabrication des agglomérés de béton léger

II.1 Introduction :

Le matériau de construction est déterminant car il recouvre la totalité de la construction et représente la barrière entre l'intérieure habitable et le milieu extérieur.

Classiquement, on utilise des matériaux qui présentent des qualités remarquables telles que le bois, la brique ainsi que des produits à base de ciment comme l'ourdis ou parpaing.

III.2 Préparation des échantillons de granulats de pouzzolane :

Ce Tableau présente les différentes masses volumiques concernant les granulats de la pouzzolane

	Mv app kg/m ³	Mv abs kg/m ³
16—25	1082	1500-1689
8—16	1148	1730-1764
3—8	1192	1718-2000
Sable	1548	1587-2000

Tableau III.1:Masses volumiques des granulats des pouzzolanes.

Nous avons confectionné 3 types de béton du bloc à base de granulats de pouzzolane: échantillons 1,2et 3.ces béton sont donc formulés avec les même compositions.les différentes composition sont récapitulées dans le tableau 3.2.

	Granulats de Pouzzolane 3/8 (g)	Granulats de Pouzzolane 8/16 (g)	Sable pouzzolanique (g)	Ciment (g)	Eau (l)
Echantillons 1 (L'hourdis)	62222,4	-----	53870,4	11600	25000
Echantillons 2 (parpaing)	-----	82656	74304	24000	30000
Echantillons 3 (l'hourdit)	-----	82656	74304	24000	20000

Tableau III.2 : Compositions des agglomérés de béton léger.

Tous les mélanges ont été gâches dans une bétonnières (figure III-1) avec un cuve en acier à l'intérieur de laquelle se trouve deux ou trois pales de malaxage la cuve tourne sur son axe central au moyen d'un étrier par biais d'un moteur électrique ou à carburants et présente une capacité de l'ordre de 350 à 400 litres.

L'introduction des constituants du béton léger se font selon l'ordre suivant :

1. La moitié d'eau de gâchage.
2. Les granulats de pouzzolane, le sable et en même temps le ciment.
3. Enfin le reste d'eau.

Après la préparation des mélanges de granulats pouzzolane nous avons fait tous le mélange dans une pondeuses électrique contient des moules de 4 à 8 blocs selon le types de bloc désirés (hourdis, parpaing).

Les blocs de béton légers ont été stockés dans l'air de stockage sur le plate-forme et après 24 ont été transportés les blocs à l'laboratoire de structure pour les conservés jusqu'à l'âge de l'essai.



Figure III-1: bétonnières pour malaxage.

III.3 Les matériaux et le matériel utilisés pour la fabrication du bloc de béton :

III.3.1 La matière première :

Les matériaux utilisés par le plate –forme de production visitée sont

- **Les granulats**

Les granulats (gravier 3/8et un sable de carrière) proviennent des carrières de koudia, ouchba, etc. et sont stockés à même le sol ou sur la plate-forme, à l'aire libre.

- **Le ciment**

Le ciment courant est le CEMII 42.5 qui provient de l'usine de béni saf, stocké dans des chambres soit en vrac.

- **L'eau**

L'eau utilisée provient soit de puits, des rivières ou du réseau urbain selon la disponibilité et le coût du transport, La consommation d'eau par journée est environ de 1000 litre par jour.

L'eau est consommée plus l'été que l'hiver à cause de la variation de température.

III.3.2 Matériel utilisé :

Un chantier, pour qu'il puisse fabriquer des blocs de béton avec des quantités importantes, doit disposer au moins d'une bétonnière et d'une pondeuse (machine de moulage des blocs).

- **Bétonnières pour malaxage**

Les bétonnières sont caractérisées par :

- ❖ Une cuve en acier l'intérieur de laquelle se trouve deux ou trois pales de malaxage du produit. son ouverture en forme d'entonnoir inversé permet de maintenir les matériaux à l'intérieur de la cuve pendant sa rotation. la cuve tourne sur son axe central au moyen d'un étrier par biais d'un moteur électrique ou à carburants et présente une capacité de l'ordre de 350 à 400 litres.
- ❖ Le chargement des agrégats dans la cuve se fait à l'aide d'une benne relevable par vérin hydraulique ou câble.
- ❖ Les pales assurant un mélange régulier et homogène des composants du béton. la durée de malaxage comprise entre 5 et 10 min, elle est fonction du type de granulats et de la qualité d'eau ajoutée.

L'introduction des constituants du béton se font selon l'ordre suivant :

4. La moitié d'eau de gâchage.
5. Le gravier 3/8, le sable et en même temps le ciment.
6. Enfin le reste d'eau.

▪ **Pondeuse électrique :**

La fabrication des blocs par la pondeuse se fait mécaniquement, la pondeuse est mobile, contient des moules de 4 à 8 blocs selon les types de bloc désirés (hourdis, parpaing)

La machine se déplace dans l'aire de fabrication après chaque pose voir figure (III.2).



Figure III.2 : pondeuse électrique.

Il existe d'autres outils légers utilisés comme moyen de transport et de remplissage (brouettes, pelles, seaux, raclettes, etc.)

La machine se déplace dans l'aire de fabrication après chaque pose.

III.4 Organigrammes de production des blocs de béton :

Le bloc de béton comme tous les matériaux de construction passe par plusieurs phases dans sa vie de fabrication jusqu'à sa destruction

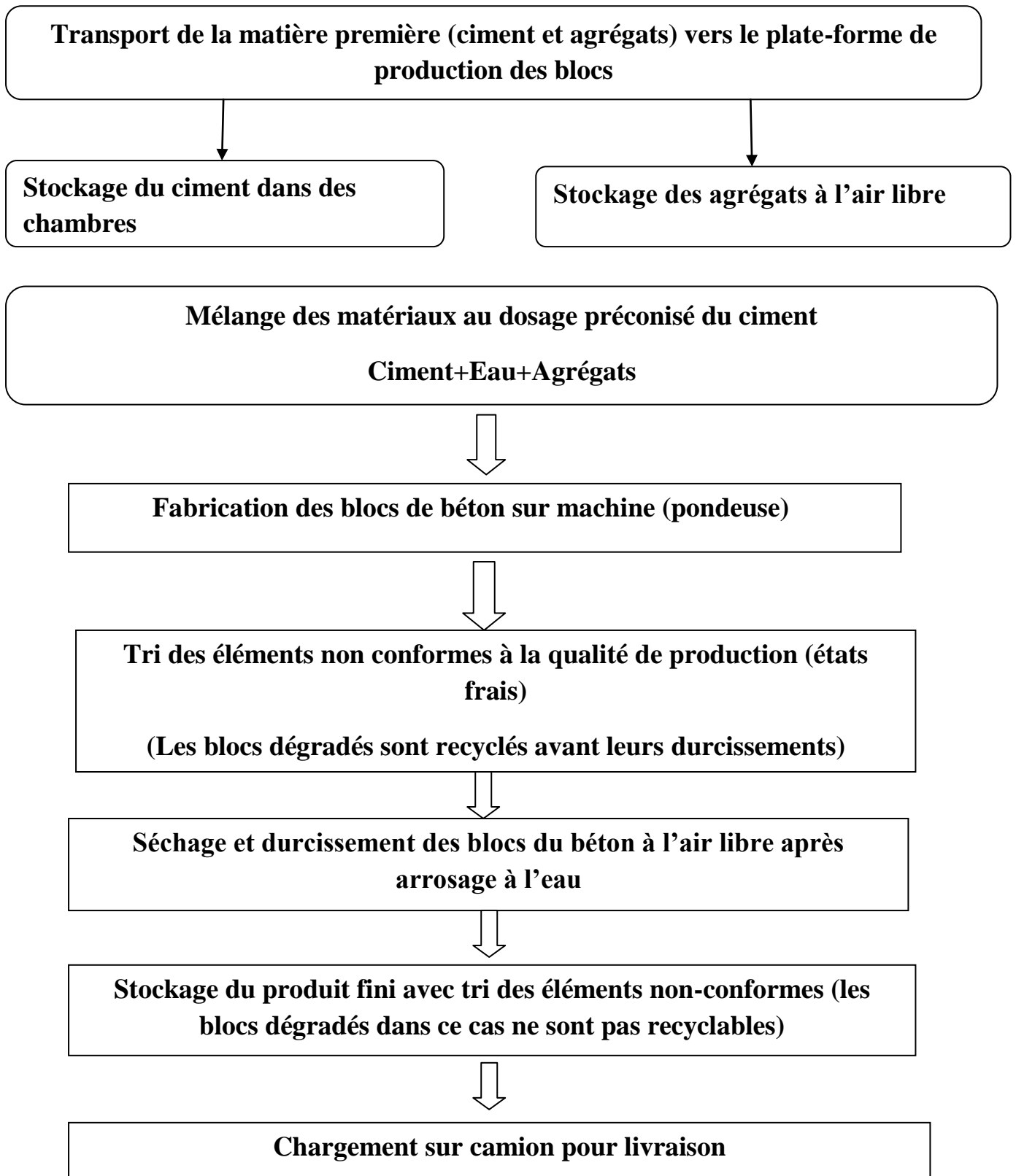


Figure III.3:L'organigramme de procédé de fabrication.

Les installations de fabrication de blocs en béton sont constituées dans leurs majorités par des presses mobiles à démoulage immédiat utilisant un principe de compactage du béton basé sur une vibration combinée avec une compression.

La figure III.4 montre un schéma de principe de fabrication de bloc de béton sur pondeuse, de l'alimentation en électricité de la machine jusqu'au démoulage des blocs.

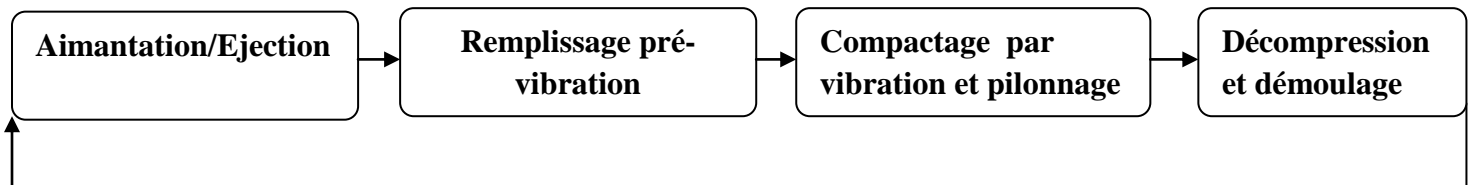


Figure III.4: principe de fabrication des blocs sur machine.

- **Alimentation :**

Les machines sont alimentées en électricité avec un courant de 380V, 2,2 KW/H et une fréquence moyenne de 5000 tr/min.

- **Remplissage et pré-vibration**

C'est la phase de remplissage du moule. Elle se fait sous vibration d'une raclette afin d'assurer un bon remplissage des cavités, sans formation de bouchons, jusque sous les noyaux (figure : III.5).



Figure : III.5: compactage sous vibration au moment du remplissage des moules.

- **Compactage par vibration et pilonnage :**

C'est la phase de mise en forme du produit, toujours sous vibration. Le pilon est actionné par le vérin piloté en pression constante, figure III.6 :



Figure III.6: compactage par vibration.

- **Décompression et démoulage :**

La décompression suite au compactage, est nécessaire au bon démoulage du produit.

Le pilon est maintenu en position, toujours sous vibration. Le terme de «décompression» fait référence à l'action de la vibration afin de relâcher les contraintes internes de pression dans le béton. la vibration est arrêtée. Le pilon est toujours maintenu en position et le moule se relève. Puis le pilon est relevé à son tour, et les produits sont envoyés hors de la machine. la tenue du produit, encore frais au démoulage, dépend de l'efficacité des opérations précédentes. ces presses sont accompagnées par des systèmes de manutention qui assurent l'évacuation des blocs démoulés sur le plate-forme, voir figure III.7.



Figure III.7: décompression et démoulage des blocs sur plate-forme.

Après démoulage des blocs, la machine mobile pour répéter la même opération. la surface de démoulage des presses simple permet la fabrication de quatre blocs de type $40 \times 20 \times 20$ par pose, cinq unités pour hourdis de type $52 \times 12 \times 20$ et huit blocs par pose de type $40 \times 10 \times 40$, et $40 \times 5 \times 20$ pour durée de cycle de 30 secondes. la production peut ainsi atteindre 2600 à 3000 unités par jour pour durée de travail de 8 heures.

- **arrosage à l'eau et durcissement**

Après toute une série de production, les blocs doivent être arrosés à l'eau pour éviter les effets de séchage et donc de retrait qui peuvent engendrer des fissures dans le bloc et rendre ce dernier fragile et cassant.

L'arrosage se fait manuellement et pendant la durée de stockage, estimée à deux jours et plus, le nombre et le temps d'arrosage dépendent de la température et de l'humidité du milieu de stockage :

- Un nombre de 3 à 4 fois par jour et d'une durée de 20 à 30 minutes dans le cas d'une température élevée, par exemple pendant l'été ou la température peut atteindre 30 à 40 °C.
- Il est de l'ordre de 2 à 3 fois par jour avec une durée de 20 à 30 minutes pour une température moyenne de 20 à 25 °C.



Figure III.8 : arrosage à l'eau et stockage pour durcissement.

III.5 Types d'essais et résultats :

L'optimisation des caractéristiques physiques et mécaniques d'un échantillon nécessite un soin particulier notamment au niveau des prélèvements et stockage avant d'entamer les essais au laboratoire.

III.5.1 Types d'essais :

Les essais que nous avons réalisés sur les trois échantillons sont les essais d'écrasements (compression) et de traction par flexion.

La machine d'essai utilisée pour les écrasements des blocs (échantillons 2) au sein de notre laboratoire de structure est la machine universelle traction compression 600 KN figure III-9 et pour l'essai de traction par flexion la machine utilisée c'est la machine didactique universelle pour l'échantillon 1 et 3 figures III-10.



**Figure III-9:l'essai d'écrasement sur la machine universelle traction
Compression 600 KN pour Le deuxième échantillon.**



Figure III.10: l'essai de traction par flexion sur la machine didactique universelle (Premier et troisième échantillon).

III.5.2 Les résultats concernant l'hourdis et le parpaing :

Dans le cadre des essais de flexion et de compression concernant les blocs de parpaings et de l'hourdis, les trois compositions et les mesures effectuées de la résistance à la compression et à la flexion à différentes échéances, par rapport à un mélange témoin de référence pour les besoins comparaison sont reportées dans les: **Tableau III.2, tableau III.3, Tableau III.4 le tableau III.5.**

1ere composition : (l'hourdis Echantillon 1)

	7jours	14 jours	28jours	90jours
M (gravier)	13,55	13,05	13	12,8
M (pouzzolane)	9,2	8,8	8,5	8,3
F (gravier)	2,1	2,49	3,1	3,2
F (pouzzolane)	0,9	1	1,1	1,3

Tableau III.3 : Masses et forces appliquées (composition mélange pour l'hourdis).

M : la masse de la pièce en kg.

F : la force de la flexion appliquée sur la pièce en KN

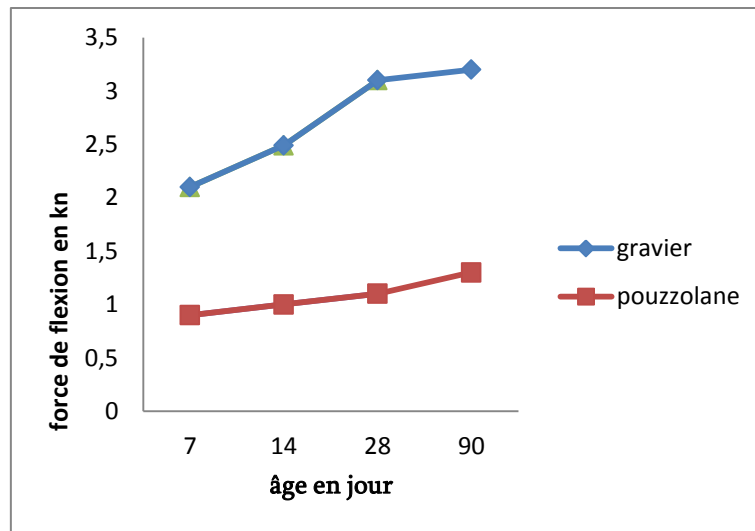


Figure III-11: Evolution de la force de flexion en fonction de l'âge pour l'hourdis à base de granulat de pouzzolane et l'hourdis avec le gravier normal).

2eme composition : (parpaing échantillon 2)

	7jours	14 jours	28jours	90jours
M (gravier)	14,5	13,8	13,5	13
M (pouzzolane)	9,8	9,6	9,3	9,2
F (gravier)		96	110	112
F (pouzzolane)		16,5	22	22

Tableau III.4: Masses et forces appliquées (composition mélange pour Parpaing).

F : la force de compression appliquée sur la pièce en KN

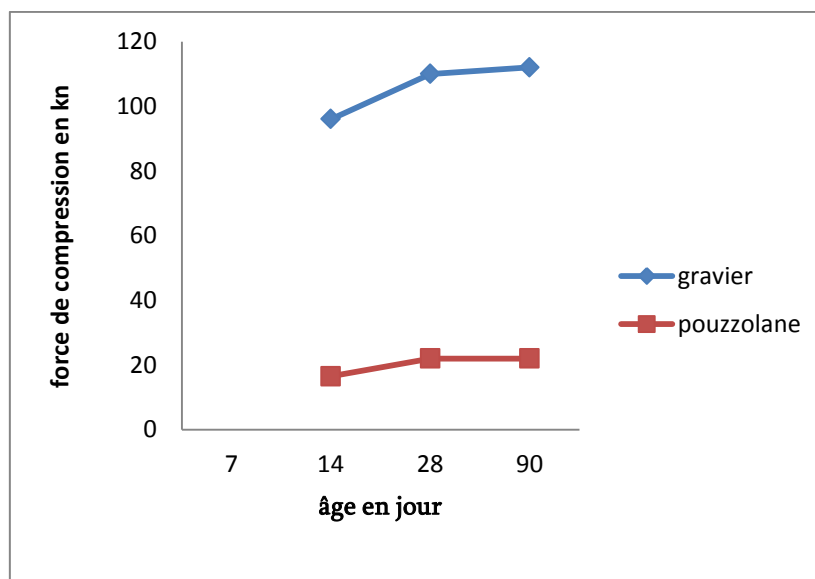


Figure III-12: Evolution de la force de compression en fonction de l'âge pour le parpaing à base de granulat de pouzzolane et parpaing avec le gravier normal).

3eme composition : (l'hourdis Echantillon 3)

	7jours	14 jours	28jours	90jours
M (gravier)	13,1	13,03	12,8	12,8
M (pouzzolane)	10	9,8	9,5	9
F (gravier)	0,9	2,1	2,9	2,9
F (pouzzolane)	0,9	1,9	2,3	2,7

Tableau III.5:Masses et forces appliquées (composition mélange pour l'hourdis).

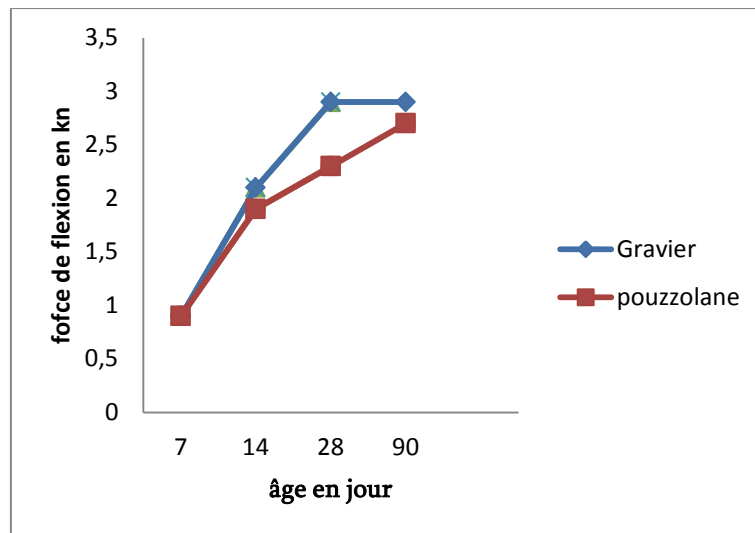


Figure III-13: Evolution de la force de flexion en fonction de l'âge pour l'ourdis à base de granulat de pouzzolane et l'hourdis avec le gravier normal).

III.6 Interprétation des résultats :

Les figures III.11. Et III.13, montrent l'évolution des forces de flexion pour les mélanges de l'hourdis à différents âges, on constate que seule la 3ème composition (échantillon3) qui donne des résultats assez proches par rapport à l'hourdis témoin. L'hourdis au granulat pouzzolanique possède des valeurs à la résistance en augmentation à long terme. Donc L'évolution de la résistance est liée au phénomène de l'hydratation. Toujours est il que le choix du granulat 3/8 dans le mélange donne peut être une meilleure compacité donc de meilleurs résultats.

La figure III.12, montrent l'évolution des forces de compression pour le mélange de parpaing à différents âges, Dans le cas du parpaing et pour l'essai de compression les résultats obtenus sont aux dessous des valeurs souhaitées, comparer aux résultats du parpaing témoin.

III.7 Conclusion :

-Cette étude présente les résultats de l'effet du remplacement du matériau de construction usuels par la pouzzolane naturelle de beni-saf sur la résistance des bétons de blocs (parpaing et l'hourdis), les résultats obtenus aux cours de cette étude montrent que les matériaux pouzzolaniques utilisés sont aptes à jouer le rôle de substitution par rapport aux matériaux de construction usuels. Ils offrent une assez bonne résistance.

-A partir de la Figure III.13et du Tableau3.1, on constate que les granulats 3/8, de plus forte masse volumique possèdent bien le coefficient d'absorption assez acceptable par rapport aux autres mélanges. Le critère de légèreté ne semble pas être le seul paramètre régissant l'absorption d'eau puisque les valeurs diminuent pour des granulats 8/16 de masse volumique plus petite.

- Ainsi que le choix d'utiliser la pouzzolane comme substituant aux matériaux de construction usuels est avantageux du point de vue économique et écologique, et offre une possibilité pour améliorer la résistance.

CHAPITRE IV

Conclusion générale et recommandations

IV.1 Conclusion générale

L'étude expérimentale a montré l'influence de la fraction volumique des granulats sur la résistance. Les comparaisons entre les différents granulats montrent que les différences de propriétés mécaniques des mélanges sont également dues au pourcentage de grains introduit dans les différents mélanges.

Finalement, l'intégration des matériaux à base de pouzzolane parmi les matériaux locaux de construction est d'un intérêt économique et écologique certain.

Pour pouvoir utiliser les matériaux dans la construction des bâtiments, il est nécessaire de s'assurer qu'ils possèdent des propriétés mécaniques suffisantes. Les résultats sur les performances des contraintes à la compression pour les parpaings ne sont pas satisfaisant et nécessitent d'autres essais similaires sur un plus grand nombre d'échantillons. Il apparaît clairement que la maîtrise du dosage en eau ne peut conduire qu'à de meilleurs résultats.

Il est possible d'approcher les performances mécaniques d'un mélange de référence, c'est-à-dire d'un mélange sans pouzzolane, mais toutefois des essais complémentaires sont nécessaires pour assurer une large utilisation de ce matériau, ainsi que le contrôle de sa durabilité.

L'emploi de bloc léger pour la construction des maisons présente ainsi de nombreux avantages notamment:

La grande légèreté des éléments, ce qui constitue une qualité très appréciable pour la main d'œuvre et permet des économies sur les transports et les engins de manutention.

Enfin, et avec toute l'évolution qui a connu le domaine de génie civil, le présent travail ne présente qu'une boucle dans une longue chaîne d'étude qui est indispensable dans ce domaine, afin d'améliorer nos connaissances et de nous mettre dans un niveau convenable.

IV.2 Recommandations pour des futures études :

- Proposition et étude d'une forme géométrique nouvelle pour les corps-creux et son influence sur les caractéristiques mécaniques de ces derniers.
- Etudier les propriétés physiques et mécaniques des matériaux pouzzolaniques des différents massifs du Tell Oranais ainsi que les propriétés des ciments, agglomérés et bétons à base de ces ajouts.
- Développer ce type d'étude en mettant l'accent sur le dosage en eau et le dosage en ciment pour une bonne optimisation de la composition des parpaings et Hourdis.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **R.Mohamed Krachai et al**, « *Influence de la pouzzolane de Beni-Saf sur les performances mécaniques des bétons auto plaçant* », *SBEIDCO – 1st International Conférence on Sustainable Built Environnent Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) – October 12- 14, 2009.*

[2] **N. Kaid et al**, « *Caractéristiques mécaniques de bétons contenant une pouzzolane naturelle face aux attaques à l'eau de mer et aux sulfates* », *SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environnent Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Alegria)-octobre 12-14,2009.*

[3] **M Z Bessenouci, et al ;** « *Approches théoriques de la conductivité thermique apparente du béton de pouzzolane à l'aide d'une modélisation des matériaux poreux* ». *Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°3 (2011)427-440.*

[4]**M.Benkaddour et al ;** « *Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle* », *Revue Nature et Technologie. n° 01/Juin 2009. Pages 63 à 73.*

[5]**M.Z.Bessenouci**, « *Impact et contribution thermo énergétique des matériaux de construction à base pouzzolanique dans l'habitat* », *Mémoire de Magister en physique énergies renouvelable, Université de Tlemcen, Département de physique (URMER), janvier 2010.*

[6] **N.Kaid et al**, « *étude de la durabilité des mortiers pouzzolaniques face aux milieux agressifs* », *faculté d'architecture et de génie civil, département de génie civil, université des sciences et de technologie Mohamed Boudiaf d'Oran,(Algérie).2010.*

[7] **A. Ali Aichouba**, « *effets de la pouzzolane naturelle de beni-saf sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire* », Colloque CMEDIMAT 2005, Université des sciences et de technologie de Mohamed Boudiaf d'Oran et Hssiba Ben Bouali de Chleff, (Algérie), 06 et 07 décembre 2010.

[8] **S. PATTOFATTO**, « *COMPORTEMENT DYNAMIQUE DUBÉTON FRAIS APPLICATION AU PROCÉDÉ DE FABRICATION DES PARPAINGS* », Université des sciences et de technologies Hassiba Ben Bouali de Chleff, 2004.

[9] **M. BENKADDOUR, Fatiha KAZI AOUAL, Abdelaziz SEMCHA** « *Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle étude pouzzolane artificielle* » PFE .Université des sciences et de la technologie de Mohamed Boudif ORAN.2005.

[10] **ENSET** « *CARACTERISTIQUES MECANQUES DE BETONS CONTENANT UNE POUZZOLANE NATURELLE FACE AUX ATTAQUES A L'EAU DE MER ET AUX SULFATES* »2009.

[11] **S. Boumediene** « *effets de la pouzzolane naturelle sur les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers et la perméabilité des bétons* », PFE, université de Blida.1999.

[12] **S.CHERIF, B.BENTALHA** « *Mortiers à base de ciment de pouzzolane. Etude des caractéristiques mécaniques et de durabilité* » université de technologie Abou Berk Belkaid TLEMCEN.1996.

[13] **A. Moudjahid, Y.BOUHAFFS** « *INFLUENCE DES AJOUTS (POUZOLANE –CALCAIRE SABLEUX) SUR LE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DU IMENT DE BENI SAF* » P F. université de technologie Abou Belkaid TLEMCEN.2008.

[14] : **A. ALI AICHOUBA, M.CHIRICI, A. BEISSA** , « *EFFETS DE LA POUZZOLANE NATURELLE DE BENI SAF SUR LES PROPRIETES D'UN CIMENT A BASE CALCAIRE* » PFE. Université de technologie Mohamed Boudif Oran, 2005.

[15] **Enterprise Coecke** « *L'entreprise Coecke fournit des blocs de béton neutres en CO2 pour des projets de construction dans la région du Rupel* »2001.

[16]BELMAHI Samir : « IDENTIFICATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES AGGLOMERES DE BETONS LOCAUX ». PF, Université ABOU BAKR-BELKAYED TLEMCEN(2009).

[17] A.TAHARI, D.SIDI MOHAMED, « Etude qualitative des sables concassée de quelques carrière à la fabrication d'agglomérés », PFE, Université de technologie MOHAMED BOUDIAF ORAN Université de technologie Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2000.

[18] “ www.saint-lambert.org/fichiers/cours “, PDF « Les MURS EN MACONERIE »

[19] S.DJEMAI, « Etude qualitative des sables concassés de quelques carrières locales. Application à la fabrication d'agglomérés » PFE. Université de technologie Mohamed Boudif Oran, 2000.

[20] P.MEUKAM, « valorisation des briques de terre stabilisée en vue de l'isolation thermique de bâtiments », PFE, Université de technologie Mentouri, 2004.

[21] M.SOGBOSI, (CONCEPTION DE QUELQUES UTILISATIONS DE STRUCTURES ENGEOBETON),PFE, Université de technologie Mohamed Boudif, Oran, 1992.

SUMMARY

The aggregates containing pozzolana extracted the career of Bou Hamidi of the area of Beni Saf constitute, from their physical and mechanical characteristics, a good substituent with the aggregates natural limestones using the clothes industry of concrete agglomerates.

The study was undertaken on samples of agglomerates to aggregates limestones taken in situ and others to aggregates containing pozzolana manufactured under the same conditions.

The results obtained in terms of mechanical resistance and voluminal weight are very interesting on the economic plan. Indeed for the same resistance or almost one can obtain up to 30% of profit in weight.

This study also showed the effect of report/ratio E/C and the age of the mortar on the compressive strength and to traction by inflection on test-tubes 4x4x16 made starting from two types of sands (rolled Terga and crushed Pozzolana) and two types of binders (cement and lime) with various proportions.

RESUME

Les granulats à base de pouzzolane extraits de la carrière de Bou Hamidi de la région de Beni Saf constituent, de par leurs caractéristiques physiques et mécaniques, un bon substituant aux granulats calcaires naturels entrant dans la confection d'agglomérés de béton.

L'étude a été menée sur des échantillons d'agglomérés à granulats calcaires prélevés in situ et d'autres à granulats à base de pouzzolane fabriqués dans les mêmes conditions.

Les résultats obtenus en termes de résistance mécanique et poids volumique sont très intéressants sur le plan économique. En effet pour une même résistance ou presque on peut obtenir jusqu'à 30% de gain en poids.

Cette étude a montré aussi l'effet du rapport E/C et de l'âge du mortier sur la résistance à la compression et à la traction par flexion sur des éprouvettes 4x4x16 cm³ confectionnées à partir de deux types de sables (roulé Terga et concassé de Pouzzolane) et deux types de liants (ciment et chaux) avec différentes proportions.

Les mots clés: pouzzolane, bloc de béton, résistance, mortier, maçonnerie.

المخلص

الحبيبات التي اساسها البوزولان المستخرجة من المحاجر بو حميدي من بني صاف بحكم خصائصها الفيزيائية و الميكانيكية تمثل بديلا جيدا لحبيبات الحجر الجيري الطبيعي المستخدم في تصنيع كتل الخرسانة.

وقد أجريت الدراسة على عينات من الركام الجيري المكمل التي تم جمعها من الموقع ومن الحبيبات من اساس البوزولان المصنوعة في نفس الظروف.

النتائج المتحصل عليها من حيث المقاومة الميكانيكية و الوزن الحجمي مهمة جدا في المخطط الاقتصادي.

في الواقع من اجل مقاومة مماثلة او بالتقريب نستطيع التحصل على نسبة 30 من الربح في الوزن.

هذه الدراسة بينت ايضا تاثير العلاقة ماء/اسمنت و عمر الصفائح على المقاومة في الضغط و في الانثناء على انابيب الاختبار 16 x 4x4

المتكونة من نوعين من الرمال (رطب تارقة و مسحوق من البوزولان) و نوعين من الاضبارات (الاسمنت و الكلس) مع مخلف النسب.