

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : VOIS ET OUVRAGES D'ARTS
Thème

**FABRICATION DES BRIQUES POUZZOLANIQUES A BASE
DES DECHETS NATURELS {VASE ET FINE CALCAIRE}**

Présenté Par :

- 1) Boudia Abdelaziz
- 2) Khatir Samir

Devant les jurys composés de :

M ^{me} Derbel	Encadreur
M ^{me} belabaci	Président
M ^{me} abdelalem	Examineur

Année universitaire 2017/2018

Remerciements



Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. La première personne que nous tenons à

*Remercier très chaleureusement est notre encadrant de mémoire de fin d'étude M^{me} **DERBAL AHLEM** pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche. la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Et ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Nos remerciements les plus sincères s'étendent également aux équipes de laboratoire **LTPO ET** laboratoire de centre **d'université BELHADJ BOUCHAIB A.T** pour l'excellent accueil, les conseils avisés et la bonne humeur et leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Et pour les bons moments que nous avons passés*

*ensemble, et plus particulièrement : M^r **GHALI** & M^{elle} **KAWTAR** & M^m **NADJAT** pour tout soutien, aide et des conseils, ils ont fait un grand travail avec nous. Merci beaucoup.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail . A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles. Je remercie enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici

merci

Résumé

Ce travail consiste à la réalisation des briques par la valorisation d'un produit naturelle qui est la pouzzolane et le recyclage des déchets industriels comme la poudre de marbre et les fines calcaires.

Notre but est de fabriquer une brique qui a les caractéristiques d'une brique silico calcaire d'habitude fabriqué à base de sable et de la chaux dans un autoclave.

On a varié les pourcentages des différents constituants afin de voir leur comportement.

L'utilisation de la vase issue de dragage nous permet de réduit d'une façon significative leur rejet dans la nature

L'utilisation de la pouzzolane réduit le cout de production de la brique.

L'association entre la pouzzolane et la vase donne des bons résultats.

Mots clés : briques silico calcaire- pouzzolane – vase de dragage- chaux- fine calcaire- four.

Abstract

This work consists of the realization of bricks by the valuation of a natural product that is pozzolan and recycling industrial waste such as marble powder and fine limestone.

Our goal is to make a brick that has the characteristics of a silico-limestone brick usually made from sand and lime in an autoclave.

The percentages of the different constituents were varied in order to see their effect.

The use of dredged mud allows us to significantly reduce their rejection in nature

The use of pozzolana reduces the cost of production of the brick.

The association between pozzolana and mud gives good results.

Key words: silico limestone-pozzolana bricks – dredged silt- lime- limestone- oven

المخلص

يتكون هذا العمل من تحقيق الاجور من خلال تقييم منتج طبيعي هو البوزولان وإعادة تدوير النفايات الصناعية مثل مسحوق الرخام والحجر الجيري الناعم.

هدفنا هو تصنيع لبنة لها خصائصالاجور الصخري الجيري الذي يصنع عادة من الرمل والكلس في الأوتوكلاف.

تم تنويع النسب المئوية لمختلف المكونات من أجل رؤية سلوكهم.

إن استخدام الطمي المصنوع من الحفرة يسمح لنا بتقليل الرفض بشكل كبير في الطبيعة

استخدام البوزولان يقلل من طعم تكلفة الاجور.

العلاقة بين البوزولان والطين يعطي نتائج جيدة.

كلمات مفتاحية: الاجور الصخري - الحجر الجيري - البوزولاني - جرف الحفر - الجير - الحجر الجيري - الفرن

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	2
CHABITRE I :FABRICATION DES BRIQUES SILICO CALCAIRE	
I.1- INTRODUCTION.....	1
I.2-DEFINITION BRIQUE SILICO CALCAIRE.....	5
I.2.1-BRIQUE SILCO CALCAIR :	5
I.2.2-Silico- calcaires denses.....	5
I.2.3-SILICO- CALCAIRES LEGERS	6
I.2.4- LES PHENOMENES PHYSIQUES DE PROCESSUS	6
I.2.5-Propriétés de brique silico-calcaire	6
I.3-LA FABRICATION.....	7
I. 3.1- La production	8
I.3.2-GAMME PRODUIT	9
I.3.2.1- Briques normales	9
I.3.2.2- Briques spéciales	9
I. 3.2.3- Briques grand format.....	9
I.4- Caractéristiques environnementales	9
I.4.1- Le gravier, matière première locale.....	9
I.4.2- Production de la chaux	10
I.5-LES AVANTAGE.....	10
I.5.1- PROTECTION ACOUSTIQUE.....	10
I.5.1.1- Aspects économiques	10
I.5.1.2- Isolation acoustique des maçonneries en briques silico-calcaires.....	10
I.5.2- PROTECTION CONTRE L INCENDIE :.....	11
I.5.3- CLIMAT AMBIANT :.....	12
I.5.3.1- Une climatisation intégrée.....	12
I.5.3.2 - Un climat de bien-être	13
I.5.4 - LA SECURITE PARASISMIQUE	14
I.6 - LA CONSTRUCTION.....	14

I.6.1- Paroid portantes :	14
I.6.2- Parois non portantes	15
I.6.3 - REVETMENT DE SURFAC	16
I.6.3.1- Aménagement des locaux intérieurs	16
I.6.3.2- Maçonnerie peinte :	16
I.6.3.3 -Maçonnerie lissée	16
I.6.3.4- Parois intérieures en briques silico-calcaires crépies	17
I.6.4 - AMENAGEMENT DES CONDUITES	17
I.7- CONCLUSION	18

CHAPITRE II:UTILISATION DE LA POUZZOLANE DANS LA FABRICATION DES BRIQUES

II .1-Introduction	20
II.2 -Qu'est-ce que la pouzzolane au sens du terme ?	20
II .3-Définition	20
II .4-Origine et formation des gisements	21
II .5 -Extraction et traitement :	22
II .6-Propriétés physiques et chimiques	23
II .7-Types de pouzzolane	24
II .7.1- Les pouzzolanes naturelles	24
II .7.2- Produits pyroclastiques	24
II .7.3- Pouzzolane artificielle	26
II .8- L'utilisation de La pouzzolane	27
II .9-conclusion	31

CHPITREIII: VALORISATION DES DECHET DE DRAGAGE LA VASE

III .1- Introduction	32
III .2- Définition	33
III .2.1- Impact environnemental	33
III .2.2- Le principe de l'Impact environnemental	34

III .3- Provenance.....	34
III .3.1- Nature des déchets	35
III .3.2- Catégorie des déchets	35
III .3.2.1- LES DECHETS INERTES (DI) :	35
III .3.2.2- Déchets Industriels Banals (DIB)	35
III .3.2.3- Déchets Dangereux (DD) ou Déchets Industriels Spéciaux (DIS).....	35
III .4- Utilisation	36
III .4.1- La vase	36
III .4.2- La Valorisation des vases	36
III .4.3 - Schéma du Procédés de valorisation.....	37
III .5- Utilisation dans la fabrication des briques.....	37
III .5.1- L'Envasement des Ouvrages	38
III .5.2- Les propriétés remarquables des vases	38
III .5.3- TRAITEMENT DE LA VASE DU BARRAGE DE BOUHANIFIA.....	40
III .5.4- Etude des caractéristiques de la vase	40
III .5.4.1- Analyses physiques et géotechniques	41
III .5.4.2- Analyses chimiques	42
III .5.4.3- Analyses minéralogiques	43
III .5.5- Valorisation de la vase pour la fabrication de la brique	43
III .6- CONCLUSION.....	44

CHAPITRE IV: LES FINES CALCAIRES

IV.1- Introduction	47
IV.2-le calcaire.....	49
IV.2.1- Définition.....	49
IV.2.2 -Historique	49
IV.2.3- Types	50
IV.2.4- Le calcaire et l'eau	50
IV.2.5- Caractéristiques physiques	51

IV.2.6- Caractéristiques chimiques	51
IV.2.7- Composition minéralogique et couleur	51
IV.2.8- Formation du calcaire :	52
IV.2.9-Utilisations.....	53
IV.2.10-Les productions	54
IV.3-Granulat	56
IV.3.1-Définition.....	56
IV.3.2-Production.....	56
IV.3.3-Les caractéristiques physiques sont.....	56
IV.3.4-Caractéristiques chimiques	57
IV.4-Les fines calcaire	57
IV.4.1-Définition.....	57
IV.4.2- Effet « filler »	58
IV.5- Provenance	60
IV.6-fines Calcaire et Environnement	63
IV.6.1-Ciment portland au calcaire.....	65
IV.6.1.1-Définition.....	65
IV.6.1.2-HISTOIRE DU CIMENT PORTLAND	66
IV.6.1.3-CRÉATION ET FABRICATION :	66
IV.6.1.4-Domains d'application.....	66
IV.6.1.5-Influence des fines calcaire sur le ciment portland	66
IV.6.2-les bétons autoplaçants (BAP).....	67
IV.6.2.1-Définition.....	67
IV.6.2.2-INFLUENCE DES FILLERS CALCAIRES SUR LES PROPRIETES DES BETONS	68
IV.6.2.3-Les additions calcaires et leurs utilisations dans les bétons « BEP ».....	68
IV.6.2.4-INFLUENCE DU FILLER SUR L'ETAT FRAIS	69
IV.6.2.5-Influence du filler sur l'état durci	72
IV.6.2.6-Action sur la porosité et la surface spécifique.....	74

IV.7-conclusion.....	75
----------------------	----

CHAPITRE V: FABRICATION DU BRIQUE POZZOLANIQUE

V.1- INTRODUCTION	77
V.2- Caractérisation des matériaux entrant dans la composition.....	77
V.2.1- Pouzzolane	77
V.2.2- la vase	80
V.2.3-SABLE DE DUNE	83
V.2.3.1-Les essais utilisés dans le sable de dune	84
Mode d'opération :.....	90
Lire le nouveau volume V2.....	90
• La masse volumique absolue est donnée par la formule suivante :.....	90
V.2.4-La chaux.....	91
V.2.5-L'eau	91
V.2.5-Les fin de calcaire	92
V.3-Réalisation	92
V.3.1- Lieu des essais	92
V.3.2- Confection des éprouvettes	93
V.3.3-Procédure de confection des éprouvettes.....	93
V.4-Résulta et Interprétation.....	94
V.4.1-Examen visuel.....	95
V.4.2-Essais de Resistance mécanique par la compression	98
V.5 Conclusion.....	100
Conclusion générale.....	102

LISTE DES FIGURES

<i>Figure1 brique silico -calcaire</i>	6
<i>Figure 2 :Production des briques silico-calcaires</i>	9
<i>Figure 3 : Brique silico calcair contre l incendie</i>	12
<i>Figure 4 :Parois silico-calcaires en été : chaud dehors, frais dedans et en hiver : froid dehors, chaud dedans.....</i>	13
<i>Figure 5 :Les parois en briques silico-calcaires: plus de confort thermique grâce à des temps de refroidissement allongés</i>	14
<i>Figure 6 :Paroid portantes</i>	15
<i>Figure 7 :Maçonnerie peinte</i>	16
<i>Figure 8 : Maçonnerie lissée</i>	17
<i>Figure 9 : Maçonnerie crépie</i>	17
<i>Figure 10 : Aménagement des conduites</i>	18
<i>Figure 11: le gisement et la pouzzolane naturelle</i>	22
<i>Figure 12 : Pierre ponce [7]</i>	25
Figure 13: <i>bombe volcanique en fuseau</i>	26
Figure 14: <i>bombe en croûte de pain</i>	26
<i>Figure 15 : bombe volcanique en fuseau et en croûte de pain</i>	26
<i>Figure 16 : répartition de la consommation française de pouzzolanes par acteurs d utilisation</i>	28
<i>Figure 17: représente nos déchets et environnement</i>	32
<i>Figure 18: Représente l'impact sur l'environnement</i>	33
<i>Figure 19 : la provenance des déchets</i>	34
<i>Figure 20: représente le procédé de valorisation</i>	37
<i>Figure 21 : Schéma général du processus de fabrication des briques</i>	38
<i>Figure 22 : Situation géographique du barrage de Bouhanifia</i>	41
<i>Figure 23: Calcair blanc</i>	52
<i>Figure 24:Schéma d une carrière en exploitation</i>	55
<i>Figure 25: Effet granlaire</i>	59
<i>Figure 26:Les étapes provenance</i>	62
<i>Figure 27:Relation entre la demande en eau d un filler er sa surface spécifique BET</i>	71
<i>Figure 28:Evolution du degré d hydratation en fonction du dosage en filler (0,10,20%)</i>	74
<i>Figure 29 : Pouzzolane du Bouhmidi</i>	78
<i>Figure 30:la courbe granulométrique et sédimentométrique de la pouzzolane du gisement de Bou-Hamidi</i>	80
<i>Figure 31: La vase de OULED FODDA</i>	80

Figure 32: <i>La courbe granulométrique finale de la vase de l'Oued Fodda</i>	82
Figure 33: <i>Carte d'Algérie (wilaya de NAAMA)</i>	84
Figure 34: <i>vibreuse de tamis</i>	85
Figure 35: <i>tamis en mm</i>	85
Figure 36: <i>Résultat d'équivalent de sable</i>	87
Figure 37: <i>Les matériaux de la masse volumique apparente</i>	89
Figure 38: <i>Graphe Granulométrie par tamisage de sable de dune</i>	90
Figure 39: <i>Malaxeur MATEST</i>	92
Figure 40: <i>Moule cylindrique</i>	93
Figure 41: <i>Compacteur manuel</i>	94
Figure 42: <i>Autoclave</i>	94
Figure 43: <i>Four</i>	94
Figure 44: <i>Démoulage</i>	94
Figure 45: <i>Brique silico calcaire</i>	95
Figure 46: <i>Eprouvette G1</i>	95
Figure 47: <i>Préparation Eprouvette G2</i>	96
Figure 48: <i>Eprouvette G3</i>	96
Figure 49: <i>Gâchée G4 et G5 à la sortie de l'autoclave</i>	97
Figure 50: <i>Eprouvettes G6 et G7 après cuisson a four</i>	97
Figure 51: <i>Machine de compression</i>	98
Figure 52: <i>Les Résultats des gâchées</i>	99
figure 53: <i>Le graphe résistance mécanique par la compression</i>	100

Liste des tableaux

Tableau 1 : <i>Propriétés de brique silico-calcaire.[2]</i>	7
Tableau 2 : <i>Indice d'insonorisation $R'w$ pour mur simple en briques silico-calcaires</i>	11
Tableau 3 : <i>Indice d'insonorisation $R'w$ pour mur double en briques silico-calcaires sans transmission secondaire</i>	11
Tableau 4: <i>Epaisseurs de parois minimales t F (en mm)</i>	12
Tableau 5: <i>Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle</i>	23
Tableau 6 : <i>Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle</i>	23
Tableau 7: <i>Secteurs d'utilisation</i>	30
Tableau 8: <i>Caractéristiques des vases.</i>	39
Tableau 9: <i>Caractéristiques physiques et géotechniques de la vase.</i>	41
Tableau 10: <i>Dénomination des échantillons selon le L.C.P.C (ALVISET, 1987).</i>	41
Tableau 11 : <i>Résultats des analyses chimiques de la vase des échantillons 1 et 2</i>	42
Tableau 12: <i>Résultats des analyses minéralogiques de la vase de Bouhanifia</i>	43
Tableau 13: <i>Résultats des essais de compression.</i>	44
Tableau 14 : <i>Classification des additions selon leur réactivité</i>	48
Tableau 15: <i>Propriétés physiques de fin calcaire</i>	58
Tableau 16: <i>Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle</i>	78
Tableau 17: <i>Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle</i>	78
Tableau 18: <i>Composition minéralogique</i>	79
Tableau 19: <i>Composition chimique de la vase l'Oued Fodda</i>	81
Tableau 20: <i>Caractéristiques physiques et géotechniques de la vase de l'Oued Fodda</i>	82
Tableau 21: <i>Résultats de l'analyse granulométrique de la vase de l'Oued Fodda</i>	82
Tableau 22: <i>Résultats des analyses minéralogiques de la vase de l'Oued Fodda</i>	83
Tableau 23: <i>Analyse chimique de sable de dune</i>	84
Tableau 24: <i>tamissage de sable de dune</i>	86
Tableau 25: <i>Résultats Equivalent de sable de sable de dune</i>	88
Tableau 26: <i>Nature et qualité ES du sable</i>	88
Tableau 27: <i>Composition chimique de la chaux</i>	91
Tableau 28: <i>tamissage de la chaux</i>	91
Tableau 29: <i>Résultats des analyses minéralogiques</i>	92
Tableau 30: <i>les préparations des essais</i>	93
Tableau 31: <i>Les résultats de la Résistance mécanique par la compression</i>	98



INTRODUCTION générale
INTRODUCTION générale

INTRODUCTION GENERALE

A l'heure actuelle où la préservation de notre environnement est primordiale ; en génie civil, la recherche de nouveaux procédés de construction et éventuellement de nouveaux matériaux à faible impact environnemental est développée pour l'économie d'énergie et la préservation des ressources naturelles.

Le besoin de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs impose à l'Homme de trouver des matériaux durs et résistants. La pierre naturelle ou les troncs d'arbre peuvent remplir cet office dans les régions où ils peuvent être facilement prélevés. Dans les pays où la végétation est rare et notamment tous les pays méditerranéens, l'argile constitue l'un des premiers matériaux de construction utilisés: la brique est facilement réalisable à partir d'argile ou de terre crue. Cette brique de terre crue d'autre part, abandonnée au feu, acquiert solidité et dureté. On lui enlève surtout l'inconvénient de se délayer dans l'eau.

Les briques de structure et de cloisons traditionnelle assurent la pérennité de l'ouvrage et de l'habitation et permet des constructions de qualité et de faciliter la mise en oeuvre. À chaque époque, les bâtisseurs ont essayé d'adapter l'habitat à l'environnement pour rechercher le meilleur confort.

Devant la grande quantité de vase rejetée en aval de barrages, de sérieux problèmes d'environnement sont apparus.

L'étude des sédiments récupérés contribue dans la résolution de ces problèmes, d'un côté minimiser le coût élevé de l'opération de dragage et de l'autre côté régler les problèmes liés à l'environnement.

La méthode expérimentale de la formulation de cette brique est basée principalement sur l'optimisation des proportions des différents constituants (chaux, sable, pouzzolane, vase de dragage, fine calcaire). Ceci, dans le but d'obtenir une brique à caractéristiques convenables (l'isolation thermique, résistance mécanique, phonique et autres ...).

L'organisation du travail s'est faite de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente la fabrication des briques silico calcaire explique la matière première et la provenance et l'utilisation
- Le deuxième chapitre est consacré à l'utilisation de la pouzzolane dans la fabrication des briques
- Le troisième chapitre, quant à lui est consacré à la valorisation des déchets de dragage la vase explique l'impact sur l'environnement et provenance et l'utilisation dans la fabrication des briques
- Le quatrième chapitre présente les fines de calcaire leur provenance et l'impact sur l'environnement

-Le dernier chapitre expose La fabrication des briques pozzolaniques l'étape expérimentale de notre travail qui est divisée en deux parties,

la première partie consiste Caractérisation des matériaux entrant dans la composition et la réalisation et la réalisation

La deuxième partie est consisté résultats et interprétation qui conviens Examen visuel et Essais de Résistance mécanique par la compression

CHAPITRE I

2

fabrication des briques silico-calcaire
fabrication des briques silico-calcaire

I.1- INTRODUCTION

L'utilisation de la brique fabriquer par calcination en tant que matériau composé de roche concassée liée remonte à des temps reculés. Dans la région du Jura suisse en particulier, des produits provenant de sites de combustion datant de longtemps avant l'époque romaine subsistent encore aujourd'hui. Les Romains expérimentés ont affié et maîtrisé la technique du précieux mortier calcaire et en ont construit des villes entières. L'idée d'utiliser la chaux comme liant pour une brique de mur a été sérieusement exploitée seulement à partir de 1800. Ainsi, l'architecte suédois Rydina essayé de construire des maisons entières en mortier silico-calcaire coulé, tandis que Prochon s'est efforcé de développer des parois par damage avec le même matériau. En 1854, un médecin allemand, le Dr Bernhardi, a commencé à produire les premières briques de mur en mortier calcaire durcies à l'air sur une presse à levier en bois actionnée manuellement.

I.2-DEFINITION BRIQUE SILICO CALCAIRE

I.2.1-BRIQUE SILCO CALCAIR :

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée $\text{Ca}(\text{OH})_2$ appelée chaux grasse (ou ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave .Deux catégories de produits sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction .

I.2.2-SILICO- CALCAIRES DENSES

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique) , mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression . Les premier brevets , qui furent pris en 1880 par l'Allemand Michaelis ,en 1886 par l'Anglais VAN Derburgh ,étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaire obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et de silice ,broyé puis moulé par pression et traité à la vapeur . La première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894. Les pays qui ont les plus fortes productions de produits silico-calcaires denses sont : Russie, l'Allemagne ,la France .[1]

I.2.3-SILICO- CALCAIRES LEGERS

Les silico-calcaires légers sont à partir des même matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermés ,sous forme de bulles gazeuses obtenues par réaction chimique .Ils appartiennent à la classe des matériaux appelée Improprement béton cellulaire ou béton gaz . Les premiers brevets datent de 1890 ,mais on considère souvent le Suédois J.A Eriksson comme le père de ces produits ; ses brevets datent de 1923 et il utilisa en 1929 le traitement à l'autoclave .Ces produits furent d'abord commercialisées en Suède en 1924 Danemark en 1928 en URSS en 1930 . Les principes producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne, la Grande-Bretagne. [1]

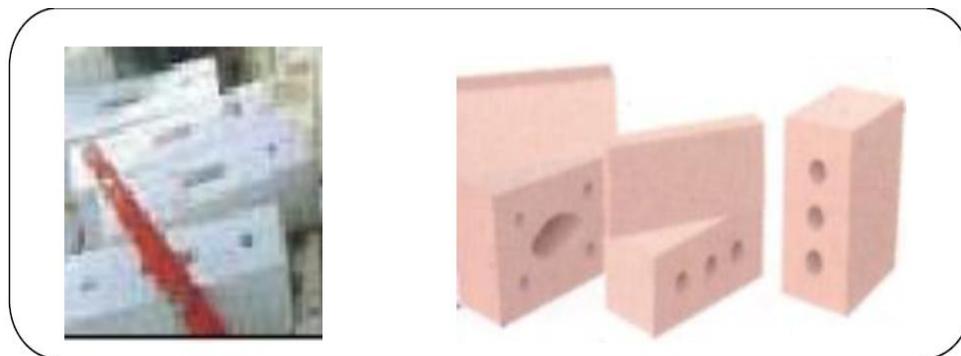


Figure1 brique silico -calcaire

I.2.4- LES PHENOMENES PHYSIQUES DE PROCESSUS

D'autoclave En conditions normales, la chaux mélangée avec le sable durcit très lentement. Les éléments obtenus après durcissement sont de résistance mécanique (de 1-2 MPa) et sont facilement détrempe en présence d'eau .Mais en présence d'une vapeur saturée (100% d'humidité) à une température de 170°C et plus la silice du sable devient chimiquement active et commence à réagir rapidement avec la chaux, suivant la réaction , formant un hydrosilicate de calcium : un produit solide et résistant à l'eau .



Au fur et à mesure que la température s'élève la vitesse de réaction (I. 1) croit. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa) L'augmentation de température et pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux .La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire , la dissolubilité de Ca(OH)₂ diminue avec l'augmentation de la température et celle du SiO₂ , H₂O (H₄SiO₄) augmente .[2]

I.2.5-PROPRIETES DE BRIQUE SILICO-CALCAIRE

Les propriétés de brique silico-calcaire sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Propriétés de brique silico-calcaire.[2]

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m ³)	600 – 2200	300 - 800
Résistance à la compression (Mpa)	6 – 60	1.5 – 7
Conductibilité thermique λ (w/m .°c)	pour un masse volumique enter1700-2100 (Kg /m ³) 1.16 -1.63	0.08 pour un masse volumique enter 300 (Kg /m ³)
Absorption d'eau	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 Db	-

I.3-LA FABRICATION

La brique silico-calcaire est composée de matières premières naturelles telles que le sable, la chaux et l'eau. En comparaison a des matériaux de construction similaires, la fabrication industrielle

- **Sable** : Le sable et le gravier sont issus soit des carrières soit des lacs et rivières. Pour la valorisation du produit, le matériau est achemine par camion ou tapis roulant a la centrale de production. En passant par le concasseur, le matériau est trie. Le sable doit avoir un teneur élevée en silice (Quartz) et une granulométrie optimale. Dans la plupart des cas, les endroits.
- **Chaux** : La chaux est extraite sous forme de pierres calcaires (CaCO₃). Le matériau extrait passe dans un concasseur qui le réduit mécaniquement. Ensuite la chaux est transportée dans les cuves de réaction ou elle est cuite à des températures allant jusqu'a 1200 °C. La chaux vive est éteinte et l'hydrate de chaux qui en résulte est entraine dans le malaxeur secondaire sur une presse.
- **L EAUX** : L'eau accompagne la fabrication de la brique silico-calcaire du début à la fin, du malaxeur primaire au déclenchement du processus de calcination; dans le malaxeur pour garantir l'humidité de compression idéale et enfin, sous forme de vapeur dans les autoclaves pour le durcissement des briques silico-calcaires.

- **Mélange des matières premières :** Un mélangeur commande par ordinateur appelle le sable, la chaux et l'eau selon une recette prédéfinie. Le sable arrive en premier en diverses granulométries et est mélangé avec l'eau et la chaux. Ensuite une réaction chimique s'opère dans le réacteur nécessite peu d'énergie et est respectueuse de l'environnement. La brique silico-calcaire isole du bruit et n'est pas dangereuse pour la santé.
- **Extinction de la chaux :** Dans le réacteur, la chaux est complètement éteinte. La chaux brûlée se transforme avec le mélange d'eau en hydrate de chaux Ca(OH)_2 ce qui produit de la chaleur. Par un mélangeur, le mélange chaux-sable arrive sur une presse entièrement automatisée.
- **Moulage des briques par compression :** La presse travaille en trois temps: remplissage du moule, compactage du produit et évacuation de la brique. Suite à ce processus, la brique a sa forme définitive, mais n'a pas la résistance voulue. Les modules sont transportés par wagon jusqu'aux cuves de durcissement (autoclaves).
- **Durcissement des briques** Les briques sont durcies dans de longues cuves cylindriques sous pression. Le durcissement se fait à des températures comprises entre 160 et 220 °C. Un processus chimique est initié sous pression de vapeur. Les briques atteignent la résistance requise après 6 heures environ.
- **Contrôle qualité :** Les contrôles qualité sont effectués par échantillonnage et portent sur les principales caractéristiques des briques, à savoir la résistance à la pression, les dimensions et la densité apparente. Les briques silico-calcaires doivent répondre à la norme SIA 266 [] et sont soumises à des contrôles permanents en usine .

I. 3.1- LA PRODUCTION

Comment les briques silico-calcaires sont-elles fabriquées ?

Les briques silico-calcaires sont fabriquées avec des produits naturels que sont le sable, la chaux et l'eau, selon le processus suivant:

1- La chaux et le sable, issus des propres sites d'exploitation, sont stockés dans des silos en usine. Les matières premières sont dosées au poids et mélangées intensivement puis transportées sur un ruban jusqu'aux cuves de réaction.

2- Dans les cuves de réaction, la chaux vive est éteinte et l'hydrate de chaux qui en résulte est entraîné dans le malaxeur secondaire sur une presse.

3- Les briques brutes sont modelées au moyen de presses entièrement automatiques.

4- Le durcissement des briques silico-calcaires intervient sous faible consommation d'énergie par des températures de 160 à 200° C et une pression de vapeur maximale de 6 bars. Ce processus permet une fabrication sans émissions polluantes.

5- Après le durcissement et le refroidissement, les briques sont prêtes à être palettisées et stockées avant leur livraison sur les chantiers.

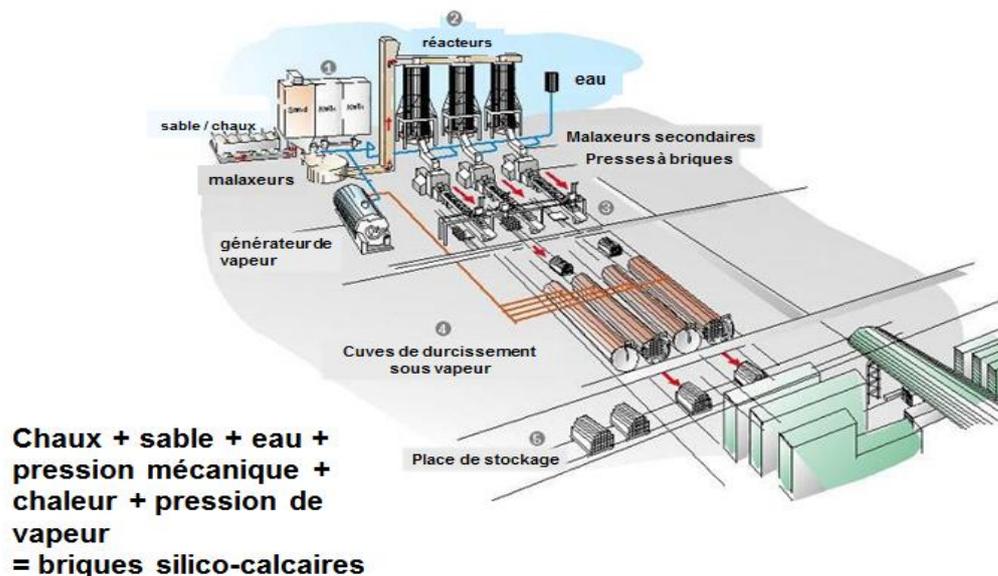


Figure 2 : Production des briques silico-calcaires

I.3.2-GAMME PRODUIT

I.3.2.1- BRIQUES NORMALES

De couleur gris naturel ou teintées

I.3.2.2- BRIQUES SPECIALES

Installation, prises, lourdes, pleines, d'angle et d'absorption acoustique

I.3.2.3- BRIQUES GRAND FORMAT

Duplo, Quattro, Q7, Profila

I.4- CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

I.4.1- LE GRAVIER, MATIERE PREMIERE LOCALE

Pour la production, on veille à ce que les ressources soient épargnées et l'environnement respecté. Cela signifie que de l'extraction des matières premières sur des sites nationaux à la

construction et au recyclage, en passant par la production et les transports, de très bonnes caractéristiques environnementales doivent toujours être observées.

I.4.2- PRODUCTION DE LA CHAUX

Dans les carrières, on récupère du calcaire pur avec une teneur en carbonate de calcium allant jusqu'à 98 %.

I.5-LES AVANTAGE

I.5.1- PROTECTION ACOUSTIQUE

la brique silico-calcaire assure un plus grand calme La protection contre le bruit est un élément central de notre confort. La façon dont les humains réagissent au bruit dépend d'un grand nombre de facteurs. A partir d'un niveau sonore d'environ 60 dB, des effets dommageables peuvent déjà apparaître. Les réactions à ces nuisances sont variables. Pour obtenir une forte isolation contre le bruit aérien, il faut opposer au son des obstacles les plus lourds possibles. La très haute densité de la brique silico-calcaire remplit parfaitement cette exigence, y compris pour des parois minces. La devise est «mieux vaut lourd qu'épais». Ainsi, pour une paroi avec un indice d'affaiblissement acoustique $R'w = 52$ dB, une masse surfacique d'environ 350 kg/m^2 est nécessaire. Les constructions en maçonnerie silico-calcaire, pour les parois intérieures et extérieures, ne nécessitent aucun dimensionnement particulier. Elles sont vérifiées sur le plan de l'isolation acoustique et ont fait leurs preuves depuis des décennies.

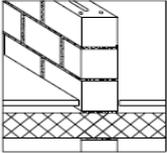
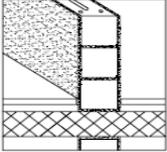
I.5.1.1- ASPECTS ECONOMIQUES

Grâce à leur masse superficielle importante, les briques silico-calcaires présentent un indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de 3 – 4 dB plus élevé que la plupart des maçonneries usuelles. Les murs en briques silico-calcaires sont extrêmement économiques. Aucune brique spéciale onéreuse n'étant nécessaire, la mise en œuvre en est ainsi facilitée.

I.5.1.2- ISOLATION ACOUSTIQUE DES MAÇONNERIES EN BRIQUES SILICO-CALCAIRES

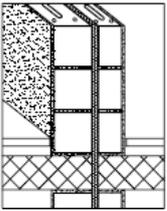
A la condition que l'exécution soit irréprochable, les indices d'insonorisation $R'w$ suivants peuvent être appliqués

Tableau 2 : Indice d'insonorisation $R'w$ pour mur simple en briques silico-calcaires

Paroi simple visible, maçonnerie à joints pleins Crépi sur deux côtés, couches de 10 mm chacune (\approx env. 35 kg/m ²)	Epaisseur de paroi (cm)	Masse superficielle (kg/m²)	Affaiblissement acoustique apparent pondéré $R'w$ (dB)
	12 cm	210 kg/m ²	46 dB
	14.5 cm	255/300* kg/m ²	48/50* dB
	18 cm	325/370* kg/m ²	51/53* dB
	20 cm	350 kg/m ²	52 dB
Paroi simple crépie des deux côtés Crépi sur deux côtés, couches de 10 mm chacune (\approx env. 35 kg/m ²)	Epaisseur de paroi (cm)	Masse superficielle (kg/m²)	Affaiblissement acoustique apparent pondéré $R'w$ (dB)
	12 cm	245 kg/m ²	48 dB
	14.5 cm	290/335* kg/m ²	50/52* dB
	18 cm	360/405* kg/m ²	53/55* dB
	20 cm	385 kg/m ²	54 dB

Valeurs pour exécution en briques silico-calcaires lourdes L'expérience montre une augmentation de l'isolation aux bruits aériens R de 6 à 7,5 dB à chaque fois que l'on double le volume construit en kg / m²

Tableau 3 :Indice d'insonorisation $R'w$ pour mur double en briques silico-calcaires sans transmission secondaire

Paroi double crépie Panneau insonorisant 30–40 mm (p. ex. fibres minérales, min. 100 kg/m ³)	Epaisseurs de parois brutes	12 cm	14.5 cm	18 cm	20 cm
	12 cm	65 dB 455 kg/m ²	66 dB 500 kg/m ²	68 dB 570 kg/m ²	69 dB 595 kg/m ²
	14.5 cm	66 dB 500 kg/m ²	67 dB 545 kg/m ²	69 dB 615 kg/m ²	71 dB 640 kg/m ²
	18 cm	68 dB 570 kg/m ²	69 dB 615 kg/m ²	70 dB 685 kg/m ²	71 dB 710 kg/m ²
	20 cm	69 dB 595 kg/m ²	70 dB 640 kg/m ²	71 dB 710 kg/m ²	72 dB 735 kg/m ²

Valeurs d'insonorisation max. atteignables $R'w$ sans transmission secondaire en dB: en-dessous, masse relative à la surface de toute la cloison de séparation du bâtiment en kg / m²

I.5.2- PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

La brique silico-calcaire appartient à la classe A1 des matériaux de construction non combustibles. La maçonnerie de brique silico-calcaire présente une très bonne résistance au feu, y compris pour de faibles épaisseurs de parois. Avec une paroi porteuse et fermée de 12 cm d'épaisseur seulement, sans crépi, la classe de résistance au feu REI 90 peut être atteinte.



Figure 3 : Brique silico calcair contre l incendie

Tableau 4: Epaisseurs de parois minimales t F (en mm)

Mur	Maçonnerie	Crépi*	Classe de résistance au feu					
			30	60	90	120	180	240
Portant, non cloisonnant R	MC	sans	115	125	150	175	225	275
		avec	115	115	125	150	200	250
Portant, cloisonnant REI	MC	sans	115	115	125	150	200	250
		avec	115	115	115	125	175	225
Non portant, cloisonnant E	MC	sans	75	100	125	150	175	200
		avec	50	75	100	125	150	175

Conditions pour les valeurs de murs crépis : crépi minéral des deux côtés, min. 10 mm par couche

I.5.3- CLIMAT AMBIANT

I.5.3.1- UNE CLIMATISATION INTEGREE

Les matériaux de constructions lourds et disposants de propriétés de stockage de l'énergie thermique ont un effet positif sur le comportement du bâtiment aux températures estivales. La brique silico calcaire se comporte, même pour des parois minces, comme une «climatisation» et soustrait à l'air ambiant sa chaleur excédentaire pour la stocker. Elle réduit ainsi le pic de température à l'intérieur et garantit, au cœur de l'été, une qualité de vie élevée dans l'habitat ou la place de travail. Pendant l'hiver, la forte densité de la brique silico-calcaire a également un effet positif sur le plan de sa capacité de stockage maximale de l'énergie thermique. Qu'il provienne du

chauffage, de l'éclairage ou encore gratuitement de l'ensoleillement des vitrages, le surplus de chaleur est absorbé par la brique silico calcaire puis restitué lorsque la température de la pièce baisse. Il est ainsi possible de réduire notablement les temps de chauffage. L'isolation extérieure de la paroi de briques silico-calcaires permet de s'assurer que la chaleur stockée est restituée à la pièce et ne s'échappe pas vers l'extérieur.



Figure 4 : *Parois silico-calcaires en été : chaud dehors, frais dedans et en hiver : froid dehors, chaud dedans*

I.5.3.2 - UN CLIMAT DE BIEN-ETRE

Les parois en briques silico-calcaires garantissent en tout temps un climat ambiant sain et une protection efficace contre l'humidité. Cet effet positif est obtenu grâce aux capillaires naturels de la brique silico-calcaire. Ils absorbent l'humidité en surplus dans l'air et, jouant le rôle de tampon, la restituent lorsque l'humidité de l'air a baissé. La brique silico-calcaire se comporte ainsi comme une régulation, à double sens, du taux d'humidité. D'une manière générale, les matériaux de construction ont une influence importante sur le niveau d'humidité dans une pièce. Un taux d'humidité relatif de 40 % à 60 % est idéal. Lorsque l'humidité passe brutalement de 50 % à 80 %, la brique silico-calcaire permet un stockage de vapeur d'eau en moins d'une heure¹⁾. Outre une humidité optimale, la température de surface influe également sur la sensation de bien-être. Plus la température de surface des parois est élevée et plus l'écart avec la température de la pièce est faible, plus le climat ambiant est ressenti comme confortable. Une habitation, en briques silico-calcaires, fortement isolée, retient la chaleur et équilibre parfaitement les variations de température.[3]

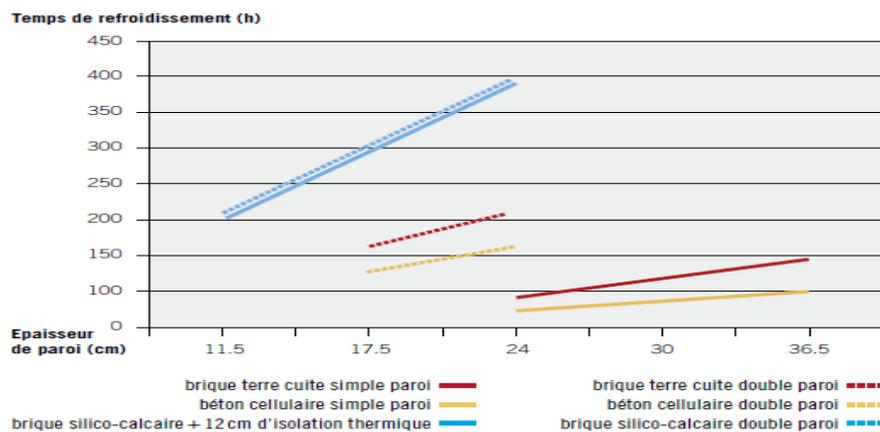


Figure 5 : Les parois en briques silico-calcaires: plus de confort thermique grâce à des temps de refroidissement allongés

I.5.4 - LA SECURITE PARASISMIQUE

Le comportement parasismique du matériau de construction silico-calcaire et son degré de protection ont été étudié, au printemps 2007 déjà, par la Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg et par l'EPFL de Lausanne. Les résultats de l'évaluation de maçonneries en briques silico-calcaires ont montré que des éléments de maçonnerie parasismiques peuvent contribuer de manière notable à la résistance. En raison de sa grande résistance, de sa durabilité et de sa précision dimensionnelle, la brique silico-calcaire, correctement mise en œuvre, constitue la brique idéale pour les constructions parasismiques. Il est complexe de déterminer la résistance parasismique d'un bâtiment et il n'était, dans le passé, possible de le calculer qu'approximativement. La preuve globale de la résistance parasismique des bâtiments.

I.6 - LA CONSTRUCTION

I.6.1- PAROIS PORTANTES

L'épaisseur minimale des parois portantes est de 12 cm. Le choix des briques et de la qualité du mortier s'adapte aux exigences statiques. Lors de l'utilisation de différents types de maçonnerie (construction mixte) ou en présence de situations statiques particulières, telles que par exemple charges de parois à grandes variations, il est indispensable de tenir compte des différences de déformation, resp. des tensions d'effort qui en résultent au niveau des parois de maçonnerie.



Figure 6 :*Paroies portantes*

I.6.2- PAROIS NON PORTANTES

Les parois intérieures non portantes (cloisons, murs annexes) sont en général édifiées après la phase effective du gros œuvre. Selon leur mode de construction, elles assurent les fonctions de protection anti-feu, thermique et phonique. Leur capacité d'accumulation thermique élevée permet un climat ambiant équilibré. La stabilité de telles parois doit être garantie par des mesures appropriées (raidisseurs, étrésillons, raccords, etc.). Les influences des déformations d'éléments avoisinants, telles que p. ex. les fléchissements ultérieurs des plafonds à longues portées, sont à prendre en considération lors de l'exécution des raccordements.

Il y a lieu de tenir compte des charges des parois intérieures non portantes dues à des consoles, étagères, etc., en fonction des contraintes attendues.

Des effets extraordinaires supplémentaires sont à prendre en considération par des mesures adéquates dans la construction de bâtiments industriels, p. ex. en raison du trafic d'élévateurs (forces de chocs).

Les parois de séparation doivent être conçues de telle sorte que de légères charges de consoles ne contribuent pas au dépassement du coefficient 0.4 kN / m . La ligne d'action verticale ne doit pas s'étendre au-delà de 0.3 m de la surface de la paroi (p. ex. tableaux, bibliothèques, petites armoires murales).

I.6.3 - REVETMENT DE SURFAC

I.6.3.1- AMENAGEMENT DES LOCAUX INTERIEURS

Les revêtements sur les surfaces planes de maçonneries en briques silico-calcaires sont économiquement intéressants et d'un coût particulièrement faible. Il est recommandé de procéder à un essai.

Les briques silico-calcaires présentent une surface plane et propre et, grâce à leur base minéralogique, constituent un support idéal pour toute forme d'enduit. Par rapport à l'utilisation à l'air libre, les exigences du secteur intérieur sont plus simples et posent

Moins de problème, en relation avec les enduits utilisés et leur application. Le revêtement des surfaces de parois lisses en briques silico-calcaires est économique et extrêmement avantageux. Il est recommandé.

I.6.3.2- MAÇONNERIE PEINTE :

Les peintures (p. ex. dispersions ou couleurs minérales) dans les tons blancs, nuancés ou colorés doivent être lavables et bien couvrantes tout en restant perméables à l'air. Elles peuvent être appliquées au pinceau, au rouleau ou au pistolet sur une base sèche et propre. En outre, la maçonnerie à joints pleins ne doit présenter aucune brique défectueuse ou coulure de mortier.

Pour les parois intérieures, les joints peuvent être remplis à fleur.



Figure 7 :Maçonnerie peinte

I.6.3.3 -MAÇONNERIE LISSEE

Les parois à joints pleins sont lissées au moyen d'un mortier fin. La structure des briques et des joints doit rester visible. Le mortier fin pour le lissage est composé d'un mélange de chaux et de sable préparé sur le chantier. Il est plus courant

Aujourd'hui d'utiliser des produits prêts à l'emploi qui se laissent appliquer aisément. Une surface de paroi lissée présente un aspect décoratif du plus bel effet dans les locaux habitables, avantage très apprécié actuellement.



Figure 8 : *Maçonnerie lissée*

I.6.3.4- PAROIS INTERIEURES EN BRIQUES SILICO-CALCAIRES CREPIES

La brique silico-calcaire est également un support idéal pour le crépi. Pour les parois intérieures, aucune couche d'adhérence ne doit, en principe, être appliquée. Les enduits monocouches avantageux adhèrent facilement. Les fonctions principales d'un crépi de cloisons sont l'obtention de surfaces planes et uniformes et permettent le stockage temporaire de l'excédent d'humidité des locaux. En outre, le crépi améliore les protections phonique et antifeu .



Figure 9 : *Maçonnerie crépie*

I.6.4 - AMENAGEMENT DES CONDUITES

Les cheminements de conduites peuvent être réalisés avantageusement avec les briques électro et d'installations. Pour les prises et les interrupteurs, des briques spéciales sont disponibles. Lorsque ceci est possible, les conduites doivent être prises en compte en détail dès la planification. Le fraisage a posteriori et donc les ponts phoniques inutiles peuvent être évités. Les câbles électriques peuvent par exemple être posés dans les murs à double parois, sous l'isolation des parois, derrière les armoires intégrées et les doublages ainsi que dans les chapes et les dalles. L'utilisation de portes à huisserie simplifie le problème de la pose des câbles jusqu'aux interrupteurs.[3]



Figure 10 : *Aménagement des conduites*

I.7- CONCLUSION

Briques Silicate resteront pendant un long temps favori compris les matériaux de construction, en particulier dans la construction de logements privés, pour le remplacer par des propriétés et la durabilité du matériau similaire est en brique ou rien. Plus que la technologie développée dans le futur et vous permettent d'obtenir les matériaux de silicate moins cher et de qualité.[4]

CHAPITRE II

utilisation de la pozzolane dans la fabrication du brique

II.1-INTRODUCTION

Depuis une dizaine d'années on assiste à un regain d'intérêt pour la construction en terre crue et à une mobilisation des professionnels.

-Plusieurs activités de recherche sont orientées vers le remplacement partiel ou total de ciment Portland par le liant pouzzolanique.

-Les blocs de terre comprimée peuvent être stabilisés par l'addition de petits pourcentages en masse de chaux et de pouzzolane naturelle, pour améliorer certaines de ses propriétés.

-Sa disponibilité et son faible coût on fait de la terre dans la plupart des régions du globe, un des matériaux de construction les plus répandus et les plus anciens. La terre présente un intérêt écologique évident, où sa construction participe bien à la protection de l'environnement à l'industrie chimique (fabrication de ciment) où à l'économie énergétique (fabrication des briques cuites).

II.2 -QU'EST-CE QUE LA POUZZOLANE AU SENS DU TERME ?

-Le terme de pouzzolane provient de Pouzzoles, nom d'une ville italienne de la région de Naples. Il y désigne un matériau volcanique cendreux de composition trachytique, de couleur claire et friable, utilisé pour la fabrication de mortier et de ciment. Cette application en tant que ciment naturel remonte aux constructions romaines de l'Antiquité.

-Par extension, tout matériau naturel ou artificiel présentant des propriétés pouzzolaniques peut parfois être qualifié de "pouzzolane".

-Au sens français, le terme de pouzzolane est beaucoup plus restrictif et se différencie nettement de son homonyme italien, d'où une certaine ambiguïté quand une comparaison est faite d'un pays à l'autre.

-Il s'agit d'une roche naturelle correspondant à des projections volcaniques scoriacées, essentiellement stromboliennes et basiques, c'est-à-dire de composition basaltique.

II.3-DEFINITION

-La pouzzolane est une roche naturelle qui est formée de projections basaltiques volcaniques. Elle révèle une couleur allant du noir au rouge en passant par le gris et dispose d'une structure alvéolaire. [5]

-Ce matériau trouve son origine à Pouzzoles, d'où son nom, située près de Naples en Italie. Durant la période romaine, ce matériau était employé pour réaliser un mortier de chaux à la pouzzolane.

-Lorsqu'il est associé à des gravats de démolition ou du gravier, il sert à faire un coffrage embelli de stuc, de marbre ou encore de briques. Aujourd'hui encore, la pouzzolane est employée pour la fabrication de ciment à prise lente. Très fréquemment, elle est utilisée sous forme de pierre, par exemple, dans le cadre d'un assainissement non collectif.

- Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ceux sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes.[6]

-Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers. Ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques et la durabilité, à la réduction des réactions alcalins agrégats et du retrait au séchage.

-Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment. Les ciments aux pouzzolanes sont obtenus en mélangeant les produits pouzzolaniques finement broyés avec le portland.

II .4-ORIGINE ET FORMATION DES GISEMENTS

-Les pouzzolanes sont des roches pyroclastiques formées de fragments de magma (pyroclastites) projetés dans l'atmosphère lors d'éruptions volcaniques et refroidis au cours de leur parcours aérien.

-La vitesse de refroidissement relativement importante, qui applique un effet de trempe au magma, explique que le verre volcanique (matière amorphe, non cristallisée) soit un des composants majeurs des matériaux pouzzolaniques.

- Les autres constituants sont les minéraux magmatiques (feldspaths, pyroxènes, olivine, amphibole, oxydes de fer...) et les xénolites, roches étrangères au milieu car Arrachées aux formations géologiques antérieures au volcanisme.

-Les éléments constitutifs présentent une texture scoriacée, vacuolaire. D'après leur taille, on distingue

Les_cendres_(< 2 mm) des lapilli (2 à 64 mm) et des blocs ou des bombes (> 64 mm). Leur couleur est généralement noire ou rouge (rouge brique à brun foncé) selon le degré d'oxydation du fer

Magma générateur de ces produits est une masse en fusion qui contient en proportion notable des gaz dissous du fait de la pression. Le jeu des failles et des fissures permet dans un premier temps au magma de se vésiculer : il se produit une détente des gaz, qui se traduit par la formation de bulles.

-Dans un deuxième temps, ce jeu contribue à l'ascension vers la surface du magma, au sein duquel s'individualisent les gaz et la lave. La lave est expulsée en surface sous la forme de coulées ou de projections. Le dynamisme à l'origine de la formation des matériaux pouzzolaniques, faiblement explosif, est souvent qualifié de "strombolien". Il permet l'édification, sur une aire réduite autour du point d'émission, d'un cône de projections scoriacées comprenant un cratère sommital. Ces édifices

Volcaniques quaternaires, peu érodés, présentent des morphologies typiques



Figure 11: *le gisement et la pouzzolane naturelle*

II .5 -EXTRACTION ET TRAITEMENT

L'extraction de la pouzzolane en carrière se fait au moyen de pelles mécaniques ou au bouteur. Le matériau brut, toutes granulométries confondues, est ensuite acheminé à l'usine de traitement, où il subit une série d'opérations de criblage (dont le pré-criblage des gros blocs), concassage et broyage.

-Pour des applications spécifiques, qui nécessitent une humidité très réduite des matériaux et l'absence de fines, les matériaux pouzzolaniques sont soumis à un séchage et à un dépoussiérage

II .6-PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

La pouzzolanité, ou effet pouzzolanique, se définit comme la capacité qu'ont les matériaux, à température ambiante et en présence d'eau, de fixer l'oxyde de calcium (chaux) pour donner des composés stables possédant les propriétés hydrauliques du ciment.

-Ces matériaux peuvent être naturels, comme c'est le cas des pouzzolanes, ou artificiels (cendres volantes, laitiers, gaizes des Ardennes...).

-Trois paramètres principaux conditionnent la réactivité des matériaux :

1-leur composition chimique (silice, alumine, chaux),

2-leur degré de vitrosité (les éléments vitreux sont immédiatement disponibles lors de la solubilisation)

3- leur finesse (améliorée par broyage)

Tableau 5:Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle

Caractéristique physique	Valeur
Masse volumique apparent (g/cm ³)	0.98
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.75
Surface spécifique Blaine (g/cm ³)	3560
Pozzolanicité (%)	85
Absorption (%)	58.70
Porosité (%)	57.10
Humidité (%)	2.50
Perte au feu (%)	5.60

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs(%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	021	100.29

-L'activité pouzzolanique dépend à court terme de la surface spécifique du matériau, et elle est à long terme en étroite corrélation avec sa teneur en silice et alumine "réactive", c'est-à-dire sa fraction vitreuse.

Les autres propriétés de la pouzzolane qui induisent des applications spécifiques sont les suivantes : La densité varie en fonction de la granulométrie (les éléments les plus fins sont les plus denses) et de :

- l'hygrométrie ambiante. A l'état brut, ces matériaux présentent une densité supérieure à 1, exception faite des granulométries grossières (au-delà de 10/20 mm) La porosité, qui varie volumétriquement de 30 à 60 % selon les granulométries, est très grossière (vacuoles > 100 µm) et fermée ;

- La structure alvéolaire des pouzzolanes et leur porosité qui en découle confèrent à ces matériaux une

- capacité d'absorption d'eau (20 à 30 % de leur poids sec) et d'isolation thermique et/ou phonique ;

- En ce qui concerne leur comportement thermique, la pouzzolane a une température moyenne de fusion de 1140°C et présente une mauvaise conductibilité

II .7-TYPES DE POUZZOLANE

II .7.1- LES POUZZOLANES NATURELLES

Sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinées dans un four ou transformées, puis broyées pour obtenir une fine poudre.

a. Verre volcanique : Il y a lieu de citer les pouzzolanes des roches pyroclastiques meubles ou à faible cohésion provenant des éruptions volcaniques. Ce type de roche se trouve dans un état vitreux ou du moins sous une forme d'instabilité ou de réactivité qui les rend sensibles à l'attaque par l'hydroxyde de calcium. On mentionne à titre d'exemples : pouzzolane de SANTORIN, de BALCOL en Italie et de SHIRASHU au Japon.

b. Tufs volcaniques compacts : Elles sont différentes des pouzzolanes de type verre volcanique. Ce sont les mêmes roches, mais ayant subi des transformations chimiques. L'altération du verre volcanique dans des conditions hydrothermiques se traduit par la formation des minéraux zéolithiques de composition chimique variable. Ce genre de pouzzolanes se distingue par une texture dure et compacte.

II .7.2- PRODUITS PYROCLASTIQUES

La roche pyroclastique est une désignation purement génétique, son origine est volcanique et elles sont sédimentaires de par leur mode de dépôt.

Le terme pyroclaste, et employé pour définir de manière générale tout matériau fragmenté produit par les éruptions d'un volcan. Selon l'état sous lequel la lave est émise, les produits pyroclastiques peuvent se subdiviser en plusieurs catégories :

-Les cendres (ash) : qui ont moins de 2 mm de diamètre, matériau résultant de la pulvérisation de roches préexistantes ou de l'éjection de magma finement fragmenté ou pulvérisé

-Le lapilli : est un gravier dont la dimension maximale est comprise entre (2-64 mm), en général, il arrive à la surface déjà consolidés (consolidation des laves de la cheminée d'éjection), et il est le résultat de la fragmentation des vieilles roches..

-Pierre ponce : Elle se forme généralement à partir des fragments de magmas solidifiés qui ont emprisonnés une très grande quantité de bulles, et se caractérise par une forme alvéole. Elle est très poreuse d'où sa faible densité..



Figure 12 : Pierre ponce [7]

-Les bombes ou blocs : (plus de 64 mm de dimension). Elles ont des formes particulières selon leur projection, leur atterrissage et leur mode de refroidissement. On peut trouver des bombes en chou-fleur, en fuseau, en bouse de vache ou en boule (en basalte). Et des bombes en croûte de pain (en trachyte). Pour former ce type de bombe volcanique, le magma doit être peu visqueux et donc dans la plupart des cas basaltiques



Figure 13: *bombe volcanique en fuseau*



Figure 14: *bombe en croûte de pain*

Figure 15 : *bombe volcanique en fuseau et en croûte de pain*

-Les scories : sont des morceaux de lave déchiquetées, sombres, et bulleux peuvent avoir une taille variant de 1 à 10 cm se situe dans les formes et la structure vés dense.

II .7.3- POUZZOLANE ARTIFICIELLE

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composées de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue. Soit des résidus de fabrication industrielle tel que. le mach fers , cendre de bois ou d'houille , soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argile pures des températures modérées . On distingue aussi la schiste cuite, et les déchets de l'industrie a base de méta kaolinite.

a. Cendres volantes : Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion d'houille pulvérisée, dans les centrales thermiques. comme matériau pouzzolanique à débuté aux USA en 1937. On définit trois types de cendres volantes, calcium (CaO). Les cendres volantes celles allant de 8 % à 20 % et celles supérieures à 20 %. En général, plus la teneur en CaO est élevée, plus les propriétés d'auto phase vitreuse formée de silice et d'alumine de 50 à 90%. [8]

b. Laitier granulé de haut fourneau (LGHF) :Le laitier granulé de haut fourneau (LGHF) est un produit composé essentiellement de silicates, d'aluminosilicates de calcium et d'autres bases, dans un haut fourneau, et qui est particules vitreuses granulées, puis broyé à une finesse égale ou inférieure à celle du ciment.[8]

c. Argiles calcinées : Obtenues par cuisson d'argiles à une température variant de 600° à 900° C, puis elle est moulue à la finesse du ciment L'argile de base utilisée est en grande partie constituée de silicate d'aluminium. [9]

d. Fumée de silice : Les fumées de silice sont des particules de très petite taille (environ 0,1 μm) issues de l'industrie de l'acier. Ces particules sont principalement composées de silice amorphe (>85%) et présentent des propriétés pouzzolaniques.

II.8- L'UTILISATION DE LA POUZZOLANE

Les principaux usages sont les suivants :

-Viabilité 42%: construction des assises et structuration des chaussées, constitution de drains et de remblais, sablage hivernal des chaussées, recouvrement de câblages et de canalisations souterrains ; graves pouzzolane chaux ; ornementation et décoration ;

-Dans les techniques routières, les matériaux pouzzolaniques sont utilisés pour la construction des assises et la structuration des chaussées. Dans le secteur de la viabilité, ils servent également à la constitution de drains et de remblais, au sablage hivernal des chaussées et au recouvrement de câblages et de canalisations souterrains. De par leur pouzzolanité, c'est-à-dire leur capacité à se lier à la chaux en présence d'eau, ces matériaux contribuent à la formation d'un liant, mélange à prise lente (liant pouzzolane chaux). De ce fait, ils sont naturellement les mieux adaptés à l'utilisation en construction routière --- contrairement aux ciments classiques à forte teneur en clinker. Les résistances les plus élevées sont atteintes quand les pouzzolanes ont une granulométrie fine (% d'éléments inférieurs à 80 μm important) et pour un dosage bien défini :

80% de pouzzolane et 20 % de chaux (en poids sec), puis 8 à 11% d'eau

-Bâtiment 32% : fabrication de bétons légers, caverneux ou pleins, de blocs légers (parpaings), moellons, agglomérés, buses, éléments préfabriqués, murs et cloisons, planchers, toitures et terrasses, bordures de trottoirs et pavés autobloquants ; constitution de couches sous dalle et sous carrelage, remplissage de planchers et plafonds, bétons de pouzzolane, bétons réfractaires à base de pouzzolanes servant à la fabrication de boisseaux (conduits) et avaloirs de cheminées, adjuvants dans les bétons de masse

- des caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de pouzzolane :
- ils peuvent subir davantage de déformations sans se fissurer)
- ils subissent un fluage et un retrait plus important ;
- leur coefficient de dilatation thermique est plus faible
- leur résistance au feu est supérieure (transmission de la chaleur plus faible, meilleure conservation de leur résistance à haute température) ;
- ils offrent une bonne résistance aux acides faibles.

-Agriculture17% : drainage, amendement des sols et substrats de cultures ;

-Assainissement11% : systèmes de filtres d'eau potable (filtres bi-couches), plateaux absorbants et lits bactériens des stations d'épuration, filtres de fosses septiques, traitement biologique des eaux usées

-Sols sportifs4% : sols gazonnés ou stabilisés (couche de fondation drainante, couche intermédiaire,couche de surface ou chape), remplissage des fentes de drainage ; terrains de tennis, de football, de golf ; pistes d'athlétisme, hippodromes et autres plateaux d'évolution.

-industrie1.2% :Les pouzzolanes, en tant que granulats légers utilisés pour la fabrication de bétons dans les secteurs du bâtiment et de la viabilité, ne doivent pas avoir une action agressive et corrosive vis-à-vis des éléments métalliques avec lesquels elles sont en contact.

Pour cette raison, une recommandation précise que leur composition chimique doit révéler moins de 0,5% de sulfures exprimés sous forme de soufre (S), et moins de 1% de sulfates exprimés sous forme d'anhydride sulfurique (SO₃).

-En dehors de ces domaines d'utilisation traditionnels, les matériaux pouzzolaniques font l'objet d'études en recherche et développement, par exemple dans le domaine des charge

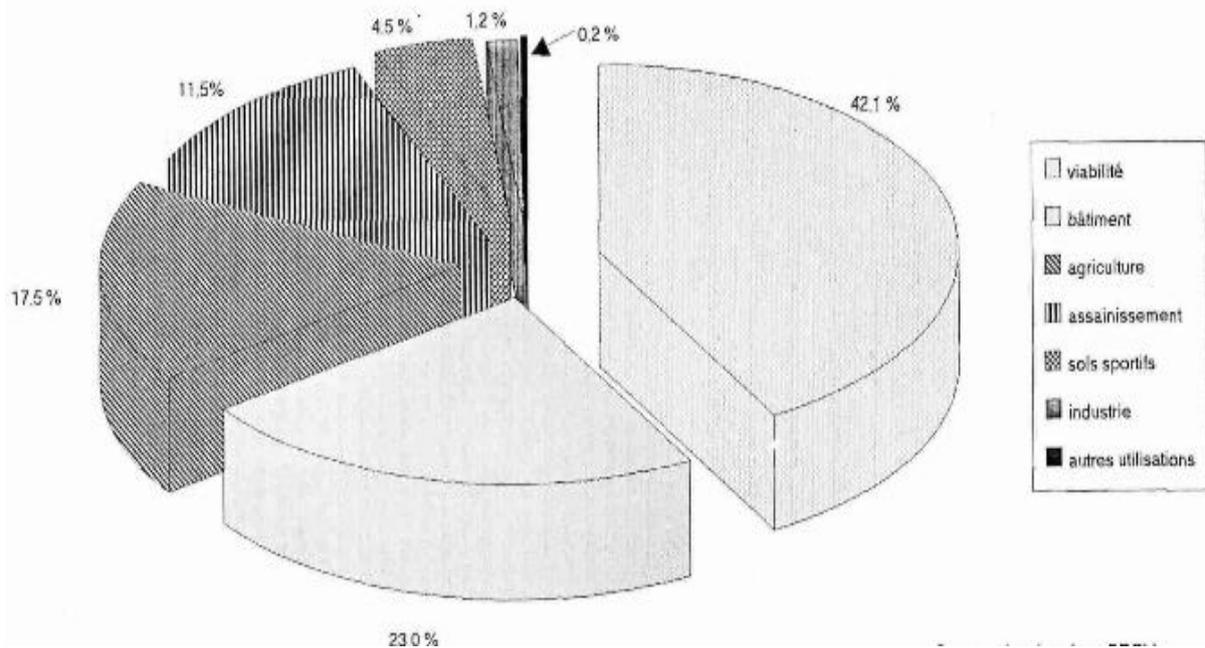


Figure 16 : répartition de la consommation française de pouzzolanes par acteurs d'utilisation

La pouzzolane confère aux bétons les propriétés suivantes_:

A l'état frais :

Les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration.

A l'état durci :

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables.

Ø Accroissement de la résistance finale.

Ø Légère diminution du retrait et du fluage.

Ø Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.

Ø Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.

Ø Protection des armatures contre la corrosion.

Ø Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques.

Ø Une réduction notable du risque d'apparition d'efflorescences de chaux sur les faces Exposées du béton.

-Une très nette amélioration de la résistance du béton aux eaux douces.

En construction :

La pouzzolane est à la base de la fabrication de certains ciments.

Le tuf constituant le sous-sol de Rome se compose de deux types de roches volcaniques :

- le pépérin, solide et comparable à la pierre,

- la pouzzolane, friable et sablonneuse, propre à composer un ciment tenace, cause principale de la durée des monuments romains.

Utilisée dans les parpaings, elle a aussi été utilisée lors de la conception du terrain du Stade de France : la pouzzolane, particulièrement poreuse, autorise l'eau de s'écouler et d'évacuer particulièrement rapidement la pelouse.

-D'une manière générale, ce matériaux de construction est plus léger que les matériaux autres, type silico calcaire : dans les travaux publics, cela sert à mettre en œuvre des remblais allégés : terrain trop faible pour recevoir une route, remblaiement sur ouvrage souterrains... La densité moyenne de la pouzzolane une fois en place tourne autour de 1, 5 T/m³ au lieu de 1, 9 T/m³ pour les matériaux classiques.

Tableau 7: Secteurs d'utilisation

SECTEURS D'UTILISATION		GRANULOMETRIES DES POUZZOLANES COURAMMENT UTILISEES (en mm)
VIABILITE	• assises de chaussées routières (graves pouzzolane chaux)	0/3, 0/5 avec teneur en filler (< 80 µm) supérieure à 12%
	• structure de chaussées (drainage)	20/50, 15/100, 50/100
	• sablage hivernal des chaussées	0/5, 3/7, 7/15
	• remblais légers	6/10, 10/18, 60/90
BATIMENT	• murs banchés caverneux de forte épaisseur	7/15, 15/40
	• éléments coulés de forte épaisseur	10/20, 15/40
	• agglomérés vibrés et éléments coulés (parois minces ou moyennes)	0/10, 4/15
	• boisseaux de cheminées	0/2, 0/7
	• bétons, parpaings	7/15, 15/30
	• bétons réfractaires	0/5, 5/10, 10/20
AGRICULTURE	• drainage	2/6, 20/50
	• amendement des sols	0/2, 0/4, 0/7, 5/10
	• substrats de cultures ou sols artificiels	2/6, 5/10, 7/15
ASSAINISSEMENT	• filtres pour eau potable	1,5/2,5 ; 2,5/3,5 ; 4/5 ; 5/10
	• filtres de fosses septiques	20/50
	• lits bactériens (stations d'épuration)	50/100, 100/300
SOLS SPORTIFS	• pistes d'athlétisme	0/2, 0/6
	• sous-couche drainante	6/10, 0/20

II.9-CONCLUSION

La pouzzolane, une pierre à tout faire ?

-Le besoin universel de protéger l'environnement et de bien gérer les ressources, nécessitent d'établir des nouveaux lois et d'adapter des nouveaux concepts

-Cette étude avait pour objectif la valorisation de la pouzzolane naturelle comme ajout dans les matériaux de construction à matrice cimentaire.

-Appréciée dans l'industrie, l'agriculture, le traitement des eaux... la pouzzolane pourrait bien revenir en force dans le secteur de la construction ; Vue ; elle présente des avantages techniques indéniables

-La pouzzolane comme matériau de construction des maisons de demain ?

-Un choix qui se veut en faveur de l'environnement et... des économies.

-La pouzzolane : l'idéal ! L'avenir le dira

CHAPITRE III

valorisation des déchet de dragage "la vase"
valorisation des déchet de dragage "la vase"

III .1- INTRODUCTION

Tout le monde a l'impression de savoir ce qu'est un déchet. "C'est un objet que l'on destine ou que l'on jette à la poubelle", répondra sans doute le premier venu. Il n'aura pas tout à fait tort. Les restes de repas ou la paire de vieilles chaussures usées qu'on y jette sont des déchets.

Alors, qu'est-ce qu'un déchet? Il existe en fait une définition très précise du déchet, qui nous est donnée par la loi: "Est un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit... que son détenteur destine à l'abandon". Nous générons en permanence une multitude et une grande diversité d'objets auxquels s'applique cette définition. On peut classer tous ces déchets par catégories, lesquelles peuvent varier en fonction de leur nature, de leur provenance ou encore de leur caractère plus ou moins toxique.



Figure 17: *représente nos déchets et environnement*

III .2- DEFINITION

De nos jours l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet des déchets dans l'environnement contribuent à détériorer notre milieu. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire, le tourisme et l'écologie. Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger, mais nous nous n'en préoccupons pas. Comme l'on ne voit pas directement les conséquences de nos actes, on s'en préoccupe peu.

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique comme le recyclage, le compostage ou encore la transformation en énergie : dans ce deuxième cas, on parle de valorisation énergétique. La valorisation des déchets est généralement considérée comme une solution préférable à l'élimination des déchets. Toute activité de production ou de consommation génère des déchets, qui sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et a de multiples risques pour la santé humaine.[10]

III .2.1- IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Tout déchet produit a un impact environnemental important. Respecter les priorités de traitement des déchets énoncées dans l'échelle de Lansink ci-dessous permet de réduire efficacement cet impact sur notre planète.

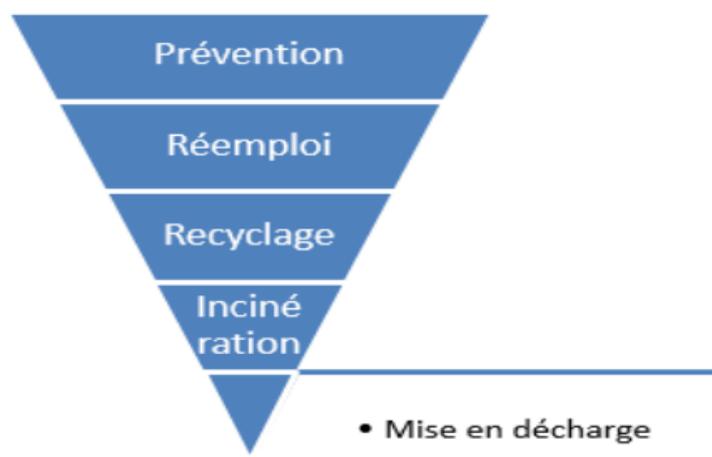


Figure 18: Représente l'impact sur l'environnement.

III .2.2- LE PRINCIPE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Le principe de base à adopter est la prévention des déchets. La prévention comporte deux types d'actions, les premières ont pour but d'éviter de créer des déchets (prévention quantitative) et les secondes de faire en sorte que le déchet produit soit le moins nocif possible pour l'environnement (prévention qualitative).

Une fois que le déchet est produit, il faut réfléchir à la possibilité de sa **réutilisation** ou de son **réemploi**. L'étape suivante est de tenter le **recyclage** des matières composant le déchet permettant de le transformer en une nouvelle ressource. Si celui-ci n'est pas possible, le déchet sera **incinéré** avec récupération d'énergie, telle qu'effectuée à Bruxelles par Bruxelles-Energie pour tous les déchets collectés et ou traités par l'Agence Bruxelles Propreté (ABP) et SITA dans le tout-venant. Enfin en dernier recours, **la mise en décharge** est possible mais à éviter et ne doit concerner qu'une fraction de déchets de plus en plus restreinte au fil des années [10]

III .3- PROVENANCE

Usuellement, un déchet (détritus, ordure, résidu, etc.) désigne une « altération en volume, quantité ou qualité subie par une chose pendant sa fabrication, sa manipulation ou sa mise en vente ». Le déchet désigne aussi les objets répandus dans la nature par l'être humain, le vent, etc., et notamment sur les fonds marins et parfois retrouvés dans les laisses de mer.

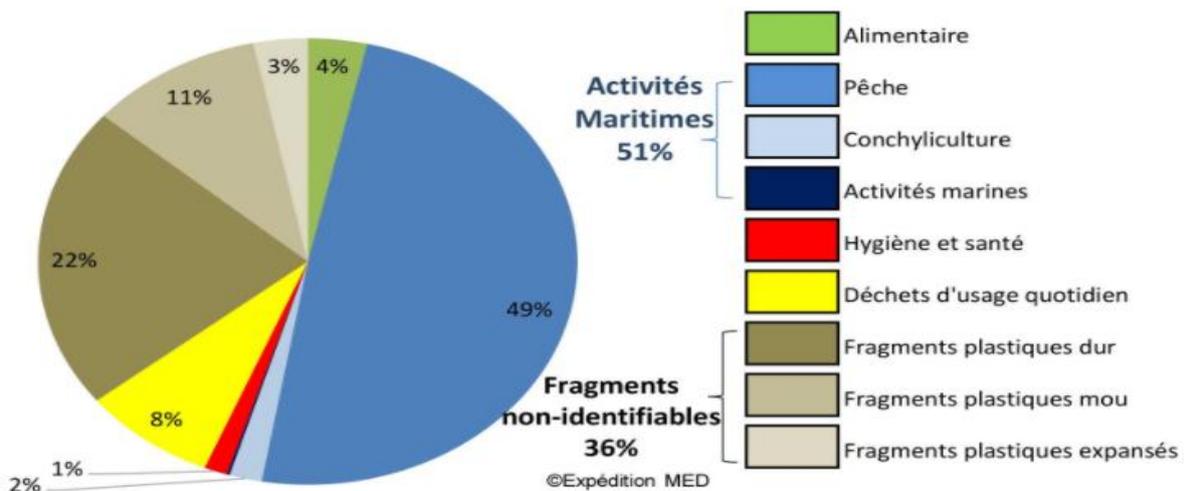


Figure 19 : la provenance des déchets.

III .3.1- NATURE DES DECHETS

- Déchets Inertes (**DI**).
- Déchets Industriels Banals (**DIB**).
- Déchets Dangereux (**DD**) ou Déchets Industriels Spéciaux (**DIS**).

III .3.2- CATEGORIE DES DECHETS**III .3.2.1- LES DECHETS INERTES (DI)**

Les déchets inertes sont principalement des déchets minéraux produits par l'activité de Construction.

Ce sont des Déchets de matériaux de construction béton, béton cellulaire, briques, tuiles et céramiques, verre, déchets minéraux de construction ou de démolition en mélange ne contenant ni substances dangereuses, ni plâtre, ni amiante.

Mélanges bitumineux ne contenant ni goudrons, ni amiante.

Terres et cailloux, boues de dragage et ballast de voie ne contenant pas de substances dangereuses.

III .3.2.2- DECHETS INDUSTRIELS BANALS (DIB)

Un déchet industriel banal est un déchet qui n'est pas généré par des ménages et qui n'est ni dangereux, ni inerte. Il peut se décomposer, brûler, fermenter ou encore rouiller. Exemple de déchets industriels non dangereux :

- ✓ Emballages usagés : Palette, caisse, bidon, etc.
- ✓ Déchets de production : chutes, rebuts, purges, etc.
- ✓ Produits usagés : papiers, invendus, consommables usagés, etc.
- ✓ Matériaux : verre, métaux, plastique, textile, cuir, papier, carton, bois, etc.

Toutes les entreprises, quelle que soit leur taille, leur activité et leur secteur sont concernées par les déchets banals.

III .3.2.3- DECHETS DANGEREUX (DD) OU DECHETS INDUSTRIELS SPECIAUX (DIS)

Ils contiennent des éléments toxiques et représentent un réel danger pour la santé et pour l'environnement. Ce sont par exemple les solvants, les vernis, les colles, les goudrons,

les bains d'électrolyses. Ces déchets font l'objet d'une réglementation particulière et doivent suivre des filières de collecte et de traitement spécifiques.

Destination Déchets de matériaux de construction Mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuse. Au plomb Incinération (incinérateurs pour DD) Mélanges bitumineux contenant du goudron Goudrons ou produits goudronnés.[11]

III .4- UTILISATION

L'utilisation des additions chimiques et minéralogiques a permis à la technologie de se développer. En effet, depuis la découverte vers la fin des années soixante des propriétés physique, chimique et mécanique exceptionnelles de ces ajouts, ce produit a connu une véritable évolution, offrant ainsi aux concepteurs et aux ingénieurs un produit de plus en plus performant: résistance, durabilité, aspect de surface, porosité interne, ouvrabilité, couleurs, qui sont parmi les plus grands bénéfices des avancées scientifiques et techniques réalisées.

L'objectif est d'obtenir, en place, le matériau cimentaire le plus compact et le plus homogène possible avec les constituants et les moyens de mise en œuvre disponibles.

L'utilisation des ajouts minéraux est intéressante sur le plan rhéologique qui favorise l'augmentation de la stabilité.

III .4.1- LA VASE

Le nom de vase est la désignation générale d'une large famille de sédiments fins argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau très supérieures à la limite de liquidité. La vase peut se présenter à l'état de suspension aussi bien que de sol consolidé

III .4.2- LA VALORISATION DES VASES

Il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des propriétés des matériaux à vidanger avant l'opération de dragage pour le choix des moyens à mettre en œuvre. Un traitement économique de ces matériaux est recherché dans un but d'améliorer leurs propriétés physiques et mécaniques.

Le traitement peut se faire : - Soit par stabilisation de la vase par ajout d'autres produits qui améliorent certaines propriétés. - Soit par traitement physico-chimique. - Soit par une dépollution. Dans tous les cas l'objectif du traitement est la valorisation de la vase : ne plus la considérer comme déchet, mais plutôt comme matière première potentielle.

III .4.3 - SCHEMA DU PROCEDES DE VALORISATION

Avant l'adoption de tout procédé de valorisation, une étude de faisabilité est nécessaire. Le schéma suivant est adopté.

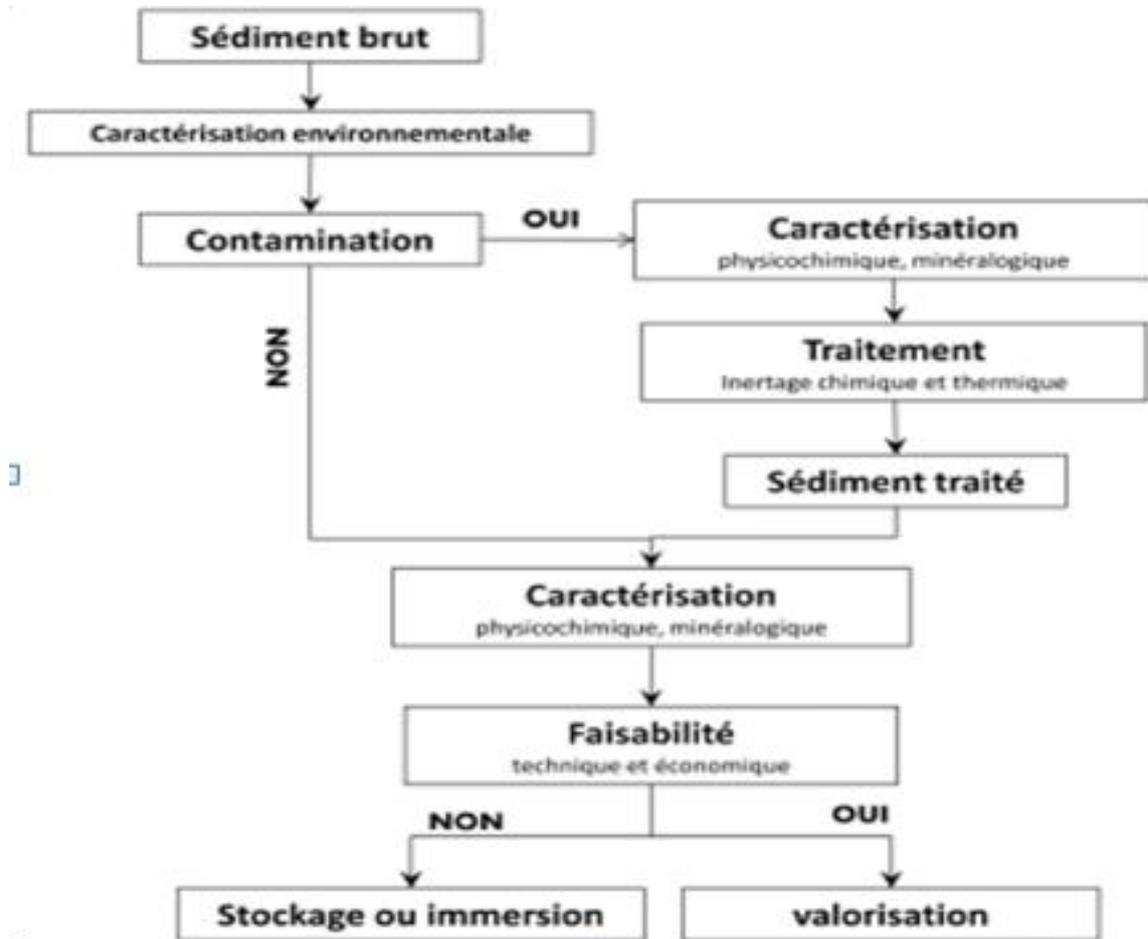


Figure 20: représente le procédé de valorisation

III .5- UTILISATION DANS LA FABRICATION DES BRIQUES

La préparation des Echantillons de briques pleines a été réalisée dans plusieurs laboratoires de briqueteries d'Alger. Le processus de la fabrication peut être schématisé selon la figure III .5.

Au début, les deux matières (vase et argile) ont été traités séparément (séchage à l'air libre, broyage dans un broyeur à bille, puis tamisage au moyen d'un tamis de 1mm). Après ce traitement, nous avons préparé des pâtes céramiques plastiques qui ne collent pas à la main. Chaque pâte préparée est soumise au façonnage dans une étireuse (façonnage par étirage). Les échantillons de briques semi-finis sont soumis à deux modes de séchage successifs (séchage

naturel puis séchage dans l'étuve à 105 -110°C). Les briques sèches sorties de l'étuve ont été cuites dans un four tunnel à une température de cuisson de 900°C pendant 32 heures et 30 minutes, et la figure représente quelques exemples algériens de la valorisation de la vase de barrage.

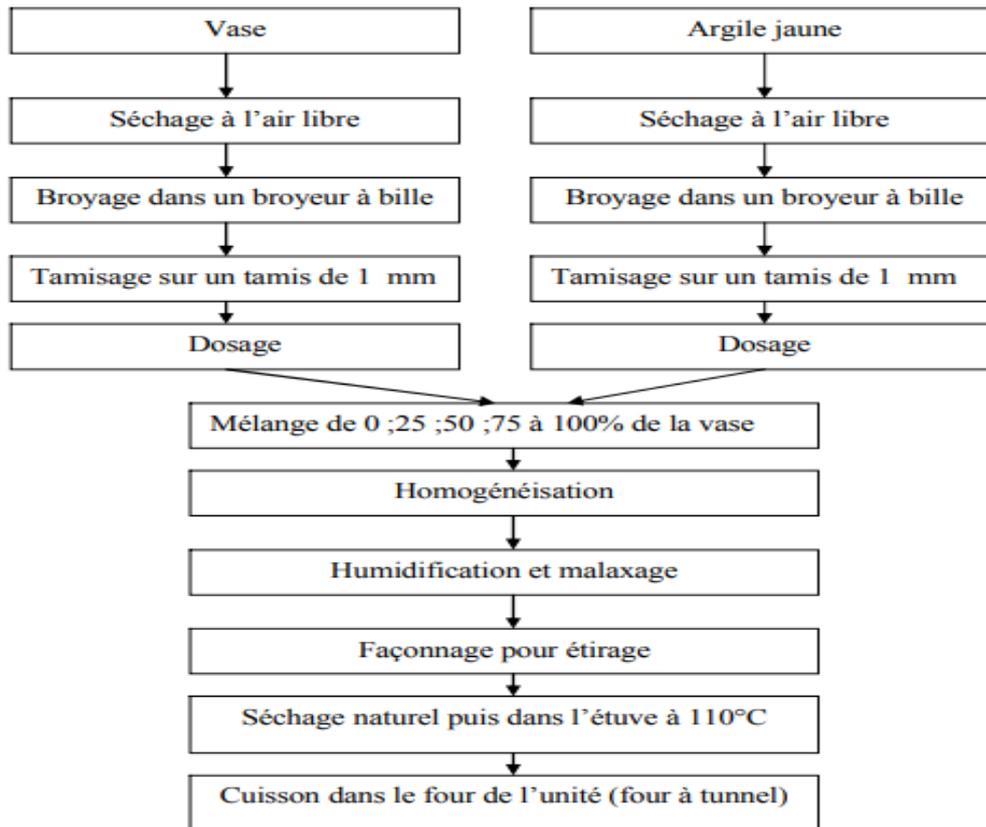


Figure 21 : Schéma général du processus de fabrication des briques

III .5.1- L'ENVASEMENT DES OUVRAGES

L'envasement des retenues de barrages en tant que phénomène naturel menace la performance de ces ouvrages stratégiques par la réduction de leurs capacités et en conséquence leur durée de vie. L'envasement des barrages en Algérie étant permanent, des opérations de curage sont effectuées de façons cycliques et des volumes considérables de vases sont ainsi récupérés. Leur devenir devient problématique.

III .5.2- LES PROPRIETES REMARQUABLES DES VASES

Les trois barrages ayant fait l'objet de nos investigations, ont la particularité de se trouver ans la même région géographique et subissent des apports solides mêmes de natures géologiques. En

effet, il s'agit des trois barrages situés en cascade du sud vers le nord de l'Ouest algérien : le barrage d'**Ouizert** dans la région de Saida, celui de **Bouhanifia** dans la région de Mascara et celui de **Fergoug** dans la région de Perrégaux (Mohammadia). Ils sont construits sur des affluents du même cours d'eau dans le même bassin versant, ce qui explique que les analyses chimiques et minéralogiques effectuées sur des échantillons prélevés dans chaque retenue ont montré une composition très voisine, voire de même origine. La différence observée est remarquable seulement dans la composition granulaire, ce qui prouve que lors des crues les trois barrages en cascade se transmettent leurs sédiments et ce sont les plus fines particules, transportées en suspension qui arrivent à Fergoug. Celles plus grossières sont retrouvées à Ouizert et à Bouhanifia. Le cours d'eau a son embouchure en Méditerranée dans la région de la Macta dans la plaine de l'Habra. Pendant un premier dragage effectué sur le barrage de Fergoug, les sédiments rejetés en aval ont été transportés au gré des courants et déposés dans la plaine de l'Habra qui a été transformée en marécages. Les sédiments prélevés à la Macta sont de même nature que ceux qui sont issus des trois barrages. Les constituants principaux des vases étudiées sont montrés au (tableau 8)

Tableau 8: *Caractéristiques des vases.*

Caractéristique	Vase de Fergoug	Vase de Bouhanifia	Vase d'Ouizert
Géologie	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limons rouges	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limons rouges	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limon rouges
Granulométrie	Limon argileux	Sable argileux	Sable limoneux
Limites d'Atterberg	Argile plastique	Argile peu plastique	Limon peu plastique
Analyses Chimiques	quartz, calcites, kaolonite, carbonates	quartz, calcites, kaolonite, carbonates	quartz, calcites, kaolonite, carbonates

III .5.3- TRAITEMENT DE LA VASE DU BARRAGE DE BOUHANIFIA

Dans cette étude nous nous intéressons au barrage de Bouhanifia qui se situe au nord ouest de l'Algérie, et qui fait l'objet d'actions curatives, avec la réalisation de bassins de capture de matériaux dragués.

Le barrage de Bouhanifia est situé au nord ouest d'Algérie à 20Km de Mascara. C'est un barrage en enrochement. Ce grand barrage connaît un envasement très important (50%), tenant compte du climat semi aride, et de la disposition en cascade des 3 barrages situés dans



cette région. Le charriage continu des matériaux fins entraîne le dépôt au pied du barrage des plus fines particules. Des courants de densité lents prennent naissance à l'entrée de la cuvette et arrivent jusqu'au pied du barrage où ils déposent les sédiments les plus fins qui gêneront le fonctionnement des ouvrages annexes (prises d'eau et vidanges de fond). Le dragage de ces particules par drague sasseuse nécessite beaucoup d'eau qui est récupérée grâce à la position des bassins de décantation. Les sédiments « matières premières » sont ainsi stockés et aptes à être valorisés.

III .5.4- ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE LA VASE

Les analyses physiques, chimiques et minéralogiques ont été réalisées sur des échantillons de vase prélevée au niveau de la conduite de vidange du barrages répartissur les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie .

Le choix de ce barrage est justifié, par leurs états d'envasement très avancé et c'estainsi que leur dévasement est devenu aujourd'hui une opération urgente.

Durant nos essais, les analyses granulométriques ont été réalisés par la méthodes de sédimentation de particules dispersées d'un échantillon par ordre de grosseur d'après leur temps de sédimentation dans un milieu liquide. Les analyses chimiques et minéralogiques ont été réalisées respectivement par fluorescence et la diffraction aux rayons X.

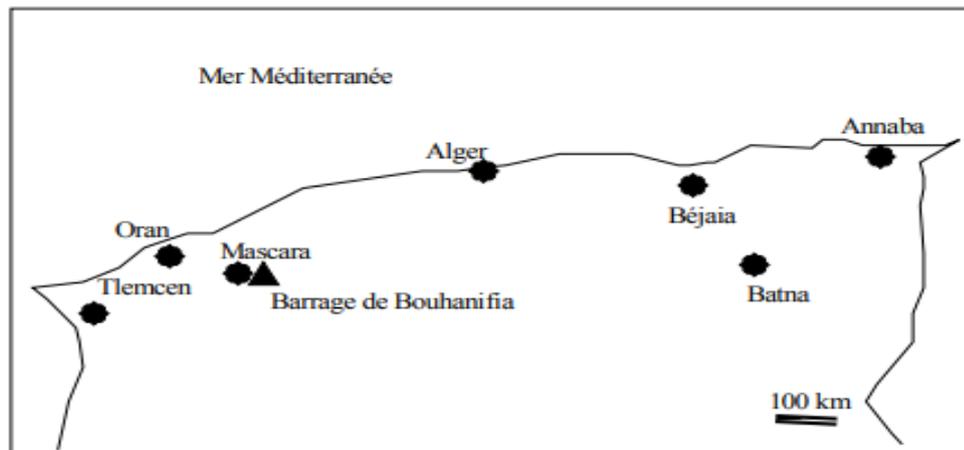


Figure 22 : Situation géographique du barrage de Bouhanifia.

III .5.4.1- ANALYSES PHYSIQUES ET GEOTECHNIQUES

Pour les trois échantillons prélevés, nous avons déterminé les propriétés physiques et géotechniques (tableau 9). [12]

Tableau 9:Caractéristiques physiques et géotechniques de la vase.

Echantillon	Situation (distance par rapport au barrage)	ρ_s	d_{50}	(μ)	ω (%)	W_L	W_P	I_P
			défloculé	naturel				
1	0	2,58	8	14	45	36	16,5	19,4
2	1	2,63	17	33	38	18,7	14	4,7
3	5	2,64	8	11	21	27,6	21,5	6

Pour la dénomination de nos échantillons, nous avons choisi la classification proposée par le laboratoire des ponts et chaussées de Paris (tableau 10). [12]

Tableau 10:Dénomination des échantillons selon le L.C.P.C (ALVISET, 1987).

Echantillon	Appellation selon L.C.P.C
1	Argile minérale de moyenne plasticité
2	Mélange de sable et d'argile minérale, de faible plasticité, et présente une faible quantité de gravier
3	Mélange de sable et d'argile minérale de faible indice de plasticité et présente une quantité plus au moins grande de gravier ainsi que du limon de moyenne compressibilité

III .5.4.2- ANALYSES CHIMIQUES

Les résultats des analyses chimiques des échantillons 1 et 2, comparés à une argile utilisable pour la fabrication de la brique (selon les normes Françaises), sont représentés dans le tableau [12]

Tableau 11 : Résultats des analyses chimiques de la vase des échantillons 1 et 2

Eléments	Teneurs (%)		Limites admissibles (%) (AFNOR, 1983)
	Vase 1	Vase 2	
Si O ₂	51,8	74,8	35 - 80
AL ₂ O ₃	10,60	3,01	8 - 25
CaO	10,2	6,8	0,5 - 15
MgO	0,43	0,64	0 - 3
Na ₂ O			0,1 - 1
Fe ₂ O ₃	4,82	3,97	2 - 8
TiO ₂			0,2 - 2
K ₂ O			0,5 - 4
H ₂ O	6,81	4,72	
PF	15,21	10,27	3 - 18

Il est intéressant de constater que:

- la teneur en silice **SiO₂** est bien conforme aux normes et est suffisante pour jouer le rôle de dégraissant sans avoir besoin d'ajouts des éléments inertes tel que le sable.
- ☐ l'alumine **AL₂O₃**, liée à la plasticité, permet l'utilisation de cette vase (échantillon 1) pour la fabrication de la brique puisqu'elle se situe à la limite inférieure autorisée.
- ☐ la teneur en **Fe₂O₃** est très acceptable et permet de considérer cette vase comme une argile à teneur moyenne en oxyde colorant.

- ☐ la teneur en chaux C_aO ne dépasse pas la limite supérieure tolérée. Enfin, nous pouvons dire que cette matière première analysée peut être utilisée pour la fabrication de la brique.

III .5.4.3- ANALYSES MINERALOGIQUES

Les résultats des analyses minéralogiques de la vase du barrage de Bouhanifia sont représentés dans le (tableau 12) .

Tableau 12: Résultats des analyses minéralogiques de la vase de Bouhanifia

Oxydes	Vase 1	Vase 2
Chlorite	14,32	-
Illite	9,9	9,99
Kaolinite	7,12	-
Dolomite	2,88	2,88
Calcite	3,02	3,02
Quartz	4,24	4,24
Feldsphats	3,23	3,23

Nos deux échantillons sont donc composés principalement de Quartz, Feldspaths, Calcite, Illite et de Dolomite.

III .5.5- VALORISATION DE LA VASE POUR LA FABRICATION DE LA BRIQUE

Dans le but de faire une comparaison des briques issues de la vase du barrage de Bouhanifia et l'argile utilisée dans la briqueterie de Hacine qui se trouve dans la région de Mascara, les deux produits ont été soumis à une pression pour évaluer leur résistance mécanique. Neuf briques ont été retenues pour chaque série. Nous avons représenté dans le

tableau 13, la variation de la contrainte de rupture (essai de compression) en fonction de la force de rupture pour les deux types de briques. Il est intéressant de constater que les briques issues de la vase sont plus homogènes que celle issues de la terre cuite de la briqueterie de Hacine. Il est à signaler qu'avec un risque de 10%, les briques fabriquées par la vase sont plus résistantes que celles fabriquées par l'argile de la briqueterie de Hacine. Une meilleure maîtrise des proportions en mélange (sable et argile dans l'opération de dégraissage par exemple) constitue une voie d'amélioration de la qualité du produit.

Tableau 13: Résultats des essais de compression.

Force de rupture (kg)	Contrainte de rupture (bars)	
	Vase	Argile de Hacine
11	72,75	
8	52,91	
9	59,52	59,52
6	39,68	39,68
14	92,59	
3		19,84
45		26,45
5		33,06
13		85,97

III .6- CONCLUSION

Des quantités importantes sont évacuées périodiquement par les vannes de fond du barrage de Bouhanifia et posent de graves problèmes à l'oued El Hammam à l'aval de l'ouvrage. Le traitement et l'étude de la vase en vue de sa valorisation dans le domaine des matériaux de construction et plus particulièrement la brique a donné de très bons résultats. En faisant une comparaison avec l'argile utilisée dans la fabrication de la brique, nous avons pu constater que les résultats issus des analyses chimiques et minéralogiques effectuées sur la vase prélevée au niveau de la retenue du barrage de Bouhanifia sont bien conformes aux

normes internationales. De ce fait, l'utilisation de cette argile peut être orientée vers la fabrication de la brique.

CHAPITRE IV

les fines calcaires
les fines calcaires

IV.1- INTRODUCTION

Dans le domaine de génie civil le terme « additions » désigne à partir des années 1990 une catégorie des produits minéraux utilisés dans la confection des bétons et des mortiers. Ce sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore plus souvent au ciment, quelque fois également au béton. Les additions permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Contrairement aux adjuvants, les additions doivent être prises en compte dans le calcul de la composition du béton. Des additions, tels que les cendres volantes, les fillers, les laitiers entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et/ou mécaniques. On obtient ainsi un liant de composition binaire voire tertiaire.

-Par leur finesse et par leur réactivité plus ou moins importante en présence du ciment, les additions

Minérales engendrent des modifications significatives sur les propriétés des matériaux cimentaires

à l'état frais et durci. A l'état frais, la présence des additions minérales modifie la structure du squelette granulaire et les frictions entre les composants solides dans la phase liquide. Au cours de la prise et du durcissement, les particules des additions interagissent dans le processus d'hydratation du ciment en modifiant la structure des produits hydratés et pour certaines peuvent réagir chimiquement en milieu cimentaire pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire.

-Lorsque une addition minérale fine ou ultrafine est incorporée dans un mélange cimentaire, elle engendre des modifications significatives sur les propriétés des matériaux cimentaires soit par un [13]

effet granulaire ou/et un effet physico-chimique et microstructural ou/et un effet chimique.

Les normes s'accordent pour définir comme « fines » les éléments passant à travers un tamis de 80 μ m. On adopte aussi le terme « filler » pour désigner les éléments bruts de concassage inférieurs à 80 μ m. Il s'agit donc de produits fins obtenus par fragmentation pouvant d'ailleurs contenir des éléments de pollution [14]. Il a été montré par calorimétrie que l'hydratation du silicate tricalcique (C3S) est plus rapide en présence de fines calcaires [15]. Dans un tel cas, le calcaire n'entre dans aucune réaction chimique, l'accélération de l'hydratation du silicate tricalcique est due à un

effet physique dit de «nucléation hétérogène » : les germinations du silicate de calcium hydraté se produisent plus facilement au contact des cristaux de calcite. Certains auteurs parlent même de germination en épitaxie sur la calcite. Ce phénomène n'est pas clairement démontré, mais s'il s'était avéré, il engendrerait une liaison forte entre calcite et CSH au niveau du joint de grain, d'où des résistances mécaniques améliorées

Tableau 14 : *Classification des addition selon leur réactivité*

<i>TYPE</i>	<i>Réactivité</i>	<i>Matériaux</i>
<i>Hydraulique</i>	<i>Fortement Réactif</i>	<i>Ciment spéciaux, Chaux hydraulique.</i>
<i>Hydraulique Latent</i>	<i>Fortement Réactif</i>	<i>Laitier granulé, Cendres volantes riches en calcium (calciques)</i>
	<i>Fortement Réactif</i>	<i>Fumée de silice</i>
<i>Pouzzolanique</i>	<i>Moyennement Réactif</i>	<i>Cendres volantes pauvres en calcium, Pouzzolanes naturelles (verres volcaniques, Tufs volcaniques, Trass,</i>
	<i>Faiblement Réactif</i>	<i>Scories cristallines.</i>
<i>Inerte</i>	<i>Non Réactif</i>	<i>Filler (farine calcaire,...), Fibres, Pigments colorants,</i>

IV.2-LE CALCAIRE

IV.2.1- DEFINITION

Les calcaires sont des roches sédimentaires, tout comme les grès ou les gypses, facilement solubles dans l'eau, composées majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 , mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 . [15]

IV.2.2 -HISTORIQUE

On pense que les roches calcaires existent depuis plus de 3 milliards d'années, ce qui correspond à l'ère précambrienne. Les mers peu profondes de l'époque fournissaient un terrain idéal pour la formation du carbonate de calcium : débutant sa genèse sous eau, il résulte de l'accumulation de dépôts biologiques.

L'accumulation biologique de carbonate de calcium se produit dans une eau (de mer de préférence) comprise entre 25 et 30 C° contenant des coraux, des algues et des coquillages. Les eaux ne doivent pas être trop profondes pour permettre aux organismes de profiter des rayons solaires. Les mers tropicales peu profondes répondent à ces critères.

Les ouragans, les forts courants ainsi que les vagues détruisent les coraux, les algues et les coquillages en les pulvérisant naturellement. Le sable qui en résulte se dépose sur les fonds marins et se déplace selon un axe horizontal au fil du temps. Il faut attendre des milliers d'années, voire plusieurs millions d'années, pour obtenir une roche calcaire à partir de ces dépôts. En effet, ils doivent se compacter et se cimenter sous l'effet de la pression exercée par les couches successives de dépôts qui les recouvrent au fil du temps.

Les plans stratifiés proéminents permettent de reconnaître de tels gisements. Les gisements récifaux se distinguent, eux, par leur forme en monticule et la taille généralement massive des pierres qui les composent.

Tout comme les montagnes se forment suite au déplacement des plaques tectoniques, les gisements de carbonates ont été transportés par les fonds marins, ou des emplacements encore plus profonds, jusqu'à la surface terrestre. Ce phénomène les a rendus non seulement visibles, mais également exploitables.

La formation des carbonates remonte à plusieurs milliards d'années et se poursuit encore aujourd'hui.

Suite à la dérive des continents, on trouve maintenant des gisements de roches calcaires de différentes époques dans le monde entier. [15]

IV.2.3- TYPES

Le calcaire est la base de nombreux matériaux.

- Lorsque la roche comporte une proportion non négligeable d'argile, on parle plutôt de marne.

-La craie est une roche calcaire formée par une accumulation de squelettes calcaires des micro algues (exemple : les Coccosphaerales) et animaux marins (exemple : les foraminifères) dans la zone de suintement pélagique (voir lysocline pour des informations sur la dissolution de la calcite).

- Le tuffeau est de la craie micacée ou sableuse à grain fin, de couleur blanche ou crème parfois jaunâtre, contenant quelques paillettes de mica blanc (muscovite).

- La calcite est le polymorphe d'origine secondairement géologique du carbonate de calcium. Le polymorphe d'origine primairement biogénique est l'aragonite (exemple d'aragonite : le squelette des coraux herm atypiques).

-Nettoyé de ses impuretés et réduit en une poudre fine de généralement 40 micromètres, le calcaire prend les appellations commerciales de blanc de Meudon ou blanc d'Espagne. Il est utilisé pour occulter provisoirement une vitrine désaffectée, décorer les fenêtres , fortifier les pelouses, nettoyer vitres, marbres, cuivres, étains et bronzes. Mélangé à de l'huile de lin, le blanc d'Espagne devient mastic de vitrier. Mélangé à du savon et à de la glycérine, le calcaire devient une « pierre d'argent » ou « pierre d'argile », un produit de nettoyage multi-usages.

-Porté à une température de 900 °C dans des fours à calcination (Les fours à chaux), un calcaire pur prend l'apparence de pierres pulvérulentes en surface - chimiquement parlant de l'oxyde de calcium- appelées chaux vive.

IV.2.4- LE CALCAIRE ET L'EAU

Le calcaire réagit avec l'acide chlorhydrique pour former du chlorure de calcium, un sel très soluble dans l'eau. Cette réaction effervescente est utile au géologue qui doit, sur le terrain, reconnaître une roche calcaire.

La concentration du calcaire dans l'eau potable ou dureté s'exprime en « degré français ». Un degré correspond à 4 mg/l de Ca. Il n'y a pas de teneur maximum réglementaire.

La présence de calcaire dans l'eau ne présente pas d'inconvénient pour la santé lorsqu'on la boit, en ce sens qu'il apporte une supplémentation en calcium et ne cause par ailleurs pas de dommage. Cependant, il a un effet néfaste sur la peau, qu'il assèche, et constitue une source

de complications (irritations, voire eczéma, psoriasis, etc). Si l'eau est trop dure, il est alors recommandé d'installer un adoucisseur d'eau.

En revanche une dureté trop élevée peut être source de désagréments à l'usage (entartrage, difficulté à faire mousser le savon, linge rêche). Les eaux distribuées dans la plupart des régions calcaires de France sont dans ce cas (Bassin parisien, Causses, Préalpes, piémont des Pyrénées).

IV.2.5- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Pour des usages dans le bâtiment et les travaux publics, les caractéristiques mécaniques des calcaires sont importantes, d'autant que très variables. Les calcaires peuvent être différemment adaptés selon les usages auxquels ils sont destinés (il n'y a aucune commune mesure entre un marbre et une craie). On les soumet à divers essais : la résistance à l'usure par frottement mesurée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau et l'essai de résistance aux chocs (aptitude à se casser) par l'essai Los Angeles¹. Les pierres calcaires sont souvent de couleur blanche.

IV.2.6- CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Le calcaire peut être identifié car il peut être attaqué par les acides tel que l'acide chlorhydrique en solution, l'acide éthanoïque ou acétique contenu dans le vinaigre ou encore par l'acide tartrique (il forme alors du tartrate de calcium et du CO₂). L'hydrogénéocarbonate étant une base, il réagit avec l'acide chlorhydrique .

Le chauffage aux environs de 900 °C produit l'oxyde de calcium ou chaux vive avec du CO₂. Cette chaux vive réagit vigoureusement avec l'eau pour produire la chaux éteinte ou hydroxyde de calcium. Des suspensions de chaux dans l'eau (eau de chaux) répandues sur les murs (chaulage) réabsorbent le CO₂ de l'air et les couvrent d'une couche de carbonate de calcium.

IV.2.7- COMPOSITION MINERALOGIQUE ET COULEUR

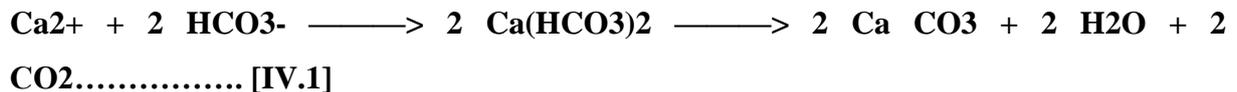
Il est composé d'au moins 70 % de calcite et peut contenir de la silice, de l'argile et de la matière organique ainsi que quelques autres minéraux dont les plus courants sont la dolomite, l'aragonite et la sidérite, qui influent sur sa couleur. En général blanc, le calcaire existe aussi dans des teintes de jaune, gris, brun ou même noir.



Figure 23: *Calcaire blanc*

IV.2.8- FORMATION DU CALCAIRE :

Le calcaire est une roche sédimentaire qui se forme essentiellement en milieu marin, par accumulation des débris de coquilles. Certains organismes marins utilisent le calcium dissout dans l'eau (Ca^{2+}) et l'hydrogénocarbonate (HCO_3^-) pour former leurs coquilles. Ces coquilles seront constituées de carbonate de calcium (CaCO_3).



A la mort de ces animaux, les coquilles s'accumulent sur le fond marin formant des boues carbonatées. Elles se transforment en roche calcaire grâce à la pression et au temps (plusieurs milliers d'années). Néanmoins, ces coquilles calcaires peuvent se dissoudre, et ce, d'autant plus facilement que la température de l'eau est froide et la pression élevée. Ces conditions, expliquent que le calcaire se forme essentiellement dans des eaux chaudes et peu profondes, comme les lagons ou les lagunes. Bien que le calcaire puisse se former en milieu lacustre, la majorité des roches actuelles se sont formées dans les milieux marins.

-Les calcaires peuvent se former en milieu continental (tufière, stalactites, stalagmites), lacustre, ou (le plus souvent) en milieu océanique.

-Il existe plusieurs modes de formation des roches calcaires, ou roches carbonatées : par précipitation (calcaire chimique) :

- la lente sédimentation et/ou l'accumulation des éléments microscopiques obtenus par précipitation (voir paragraphe précédent), et leur consolidation par la diagenèse, aboutit à la formation de la roche calcaire. Ces calcaires sont souvent fossilifères ;
- le brusque dégazage d'une eau souterraine arrivant à l'air libre (grotte, source) ou soumise au prélèvement par des végétaux du CO₂, peut provoquer une précipitation localisée produisant, selon les circonstances, des travertins, ou des stalactites et stalagmites. Ces calcaires formés en milieu continental sont rarement fossilifères ;
- par action des êtres vivants (calcaire biogène). Ils peuvent résulter d'une forte accumulation de coquilles ou de carapaces calcaires (intactes ou en débris), comme la craie, ou être bioconstruits (calcaire récifal). Ils sont toujours fossilifères ; par érosion (calcaire détritique), par exemple les brèches calcaires ou ophicalcite.

IV.2.9-UTILISATIONS

Les roches de calcaires sont utilisées :

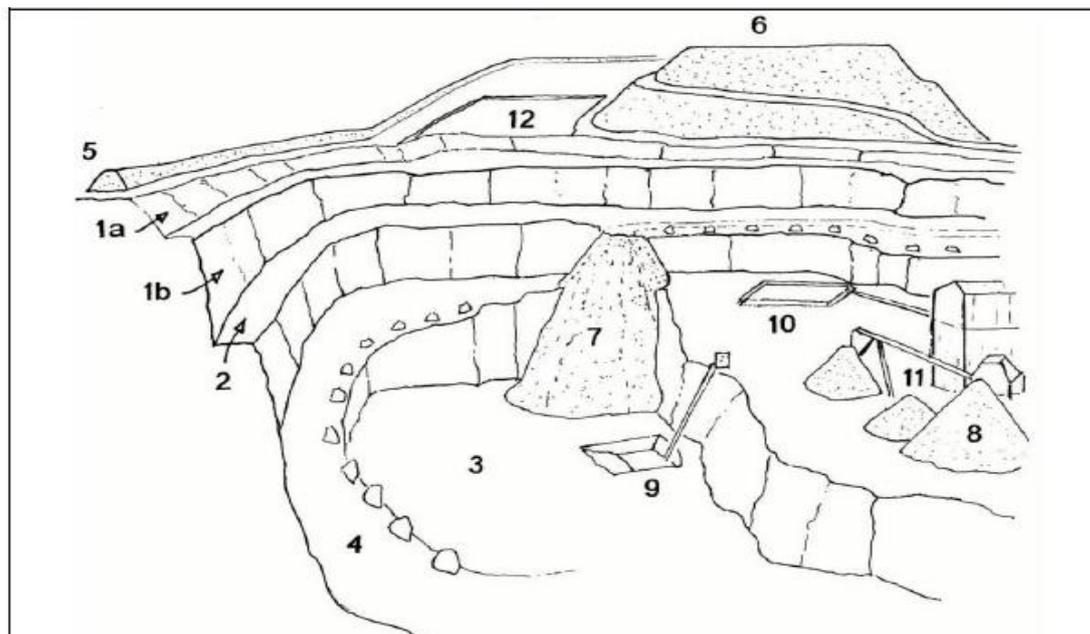
1 Dans la construction

- comme matériau en sculpture (technique de la taille directe) ;
- comme roche à bâtir utilisée dans la construction : par exemple, la pierre de Caen a servi à édifier de nombreux édifices religieux au Moyen Âge ou tout simplement pour construire des maisons. Cet usage est à présent marginal dans la construction. La taille de pierre est un métier de la restauration des monuments historiques ;
- comme matériau d'empierrement de la voirie : macadam, graves calcaires, ballast, d'un usage très fréquent ;
- comme matière première entrant dans la fabrication du ciment ;
- comme sable et granulat dans la fabrication des bétons, plus rarement dans les enrobés bitumineux, pour les calcaires les plus durs ;
- comme « blanc de Meudon », « blanc d'Espagne », de Toulouse, ou encore de Champagne (Troyes). Dans l'industrie pour produire du carbonate de sodium et du chlorure de calcium selon le procédé Solvay ;
- comme charge minérale pulvérulente dans divers produits industriels (plastiques, peintures, colles, récurrents...) ;
- comme fondant dans la fusion du verre (en sable) et dans la fusion des métaux ferreux (en castines) ;

- comme amendement calcique agricole pour lutter contre l'acidification du sol ;
- comme apport de calcium, dans l'alimentation des animaux d'élevage ;
- comme couche de finition du papier (une tonne de papier contient 250 à 300 kg de calcaire);
- comme traitement des eaux, boues, et déchets ménagers.

IV.2.10-LES PRODUCTIONS

- granulats calcaires de carrières : 101 700 000 tonnes en 20042 ;
 - calcaires industriels : 3 170 800 tonnes en 20052 ;
 - amendements calciques: 1 400 000 tonnes en 20033 ;
 - blanc de Meudon et blanc d'Espagne (calcaire réduit en poudre fine habituellement de 40 micromètres).
- Le calcaire calciné produit de la chaux dont les usages sont multiples.



Fosse :

- 1. Front de taille
- 1a. Front de découverte
- 1b. Front sain
- 2. Banquette
- 3. Carreau
- 4. Piste

Stocks et dépôts :

- 5. Merlon
- 6. Terril
- 7. Remblai et verse
- 8. Stock de granulats

Bassins :

- 9. Bassin d'exhaure
- 10. Bassin de décantation

Annexes :

- 11. Aire des installations de traitement
- 12. Zone décapée

VOCABULAIRE : les différentes zones d'exploitation de la carrière

- . **Les fronts de taille** sont les parois subverticales de la carrière généralement obtenues par abattage à l'explosif, parfois agencées en escaliers. Des **banquettes** horizontales fractionnent alors le front en gradins.
- . **Le carreau** correspond à la zone subhorizontale en fond de carrière formée par avancée progressive du front de taille. Il peut être un lieu de stockage, de traitement, de circulation et de parking.
- . **Des pistes**, larges d'une dizaine de mètres, relient les fronts aux autres secteurs de la carrière.
- . **Des merlons** sont des accumulations de matériaux de découverte (« sol initial »), de dimensions modestes (moins de 2 m de hauteur). **Les terrils**, plus volumineux que les merlons, sont constitués de stériles, matériaux non commercialisés, réutilisables en remblais dans le cadre de réaménagement.
- . **Des stocks** concentrent les granulats traités (concassés et criblés) en attente de commercialisation.
- . **Des bassins d'exhaure** (recueil des eaux en fond de fosse) ou de décantation (traitement des eaux de lavage) présentent un volume variable selon la surface du site. Ils en sont parfois absents.

Figure 24: Schéma d'une carrière en exploitation

IV.3-GRANULAT

IV.3.1-DEFINITION

Le granulats, qu'on appelle aussi agrégat, est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125 mm, destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment.

IV.3.2-PRODUCTION

Les roches meubles utilisées comme granulats sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans le lit présent ou passé d'une rivière actuelle ou passée (en mer éventuellement). On a ainsi exploité directement le lit des rivières, on exploite encore, en eau, des gisements dans leur lit majeur, des dépôts du quaternaire récent (postérieur à la dernière glaciation), mais on doit exploiter de plus en plus souvent des alluvions du début du quaternaire parfois très éloignés de rivières actuelles. On exploite aussi des dépôts marins à des profondeurs de plus en plus importantes.

- Les granulats sédimentaires sont des dépôts successifs de particules fleuves, rivière, mer.
- Les granulats de carrière sont d'origine géologique, après concassage et criblage¹ on obtient différents types de classe granulaire, en fonction du type de roche (grès, gypse etc.)
- Les granulats d'origine volcanique (basalte) qui après récolte, concassage et criblage, fait de ce matériaux, l'un des plus résistant dans la composition d'un béton.
- Il y aussi des granulats que l'on trouve à l'état naturel* comme le sable de plage, les granulats de fond de mer².

IV.3.3-LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES SONT

- La résistance à la fragmentation, mesurée par la méthode d'essai Los Angeles (LA).
- La résistance aux chocs (SZ).
- La résistance à l'usure, mesurée par la méthode d'essai « micro-Deval humide » (MDE).
- La résistance au polissage, mesurée par le « coefficient de polissage accéléré » (PSV).
- La résistance à l'abrasion (AAV) et sa forme scandinave, la résistance à l'abrasion provoquée par les pneus à crampons.

La masse volumique réelle, et le coefficient d'absorption d'eau.

La masse volumique en vrac, nommée aussi masse volumique apparente.

La résistance à l'alternance gel-dégel.

La stabilité volumique au séchage.

IV.3.4-CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

La teneur en chlorures.

La teneur en composés contenant du soufre.

La teneur en alcalins (sodium, potassium)

La teneur en silice libre

IV .4-LES FINES CALCAIRE

IV.4.1-DEFINITION

Les normes Françaises (1979) définissent les fines de la façon suivante : Produits obtenus

par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, cendres

volantes..) naturels ou non. Le fine calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns, ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment Portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers. Selon la norme NF P 15-301, la teneur en filler calcaire est limitée à 5 % de la masse du ciment. Compte tenu des liaisons électriques entre cations et anions rompus par broyage du clinker et du gypse, on trouve à

la surface des grains de ciment des sites chargés électriquement. Ces grains sont généralement chargés négativement, selon Bombléd. IL y a trois fois plus de charges négatives que positives. Une des raisons qui motivent l'utilisation des fillers est la réduction du coût de production.

L'ajout de fillers permet souvent d'améliorer certaines propriétés du béton à l'état frais (accroissement de la maniabilité, réduction du ressuage . . .) et du béton durci (diminution de la perméabilité et de la capillarité, réduction des risques de fissuration...) [16]

Une des raisons qui motivent l'utilisation des fillers est la réduction du coût de production. .

En 1988, les ciments aux filler calcaires constituaient la majorité des CPJ [17] Les ciments de la classe CPJ CEMII-Aou B 32.5 et 32.5R (Résistance garantie à 2 jours)

était alors les ciments les plus couramment utilisés. L'addition de fillers calcaires peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple : Compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fins. Les fillers peuvent également influencer à l'hydratation. Être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton. Ils sont généralement considérés comme une addition inerte, mais le fait qu'ils présentent certaines propriétés hydrauliques n'est pas en soi désavantageux, de même que s'ils présentent une réaction avec certains composés développés au cours de l'hydratation. Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du liant, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieur à 75 % en masse. L'addition de fillers calcaire peut se faire à deux temps: au moment de la fabrication du ciment lui-même, ou plus tard au moment de la réalisation du mélange cimentaire.

Tableau 15: Propriétés physiques de fin calcaire

<i>Propriétés physiques</i>	<i>Fine calcaire</i>
La masse volumique apparente (g/cm^3)	1,14
La masse volumique absolue (g/cm^3)	2,70
Surface spécifique BLAINE SSB (cm^2/g)	5000

IV.4.2- EFFET « FILLER »

appelé aussi effet « granulaire » est par définition l'incorporation d'une addition minérale dans un matériau cimentaire en mesure de modifier le squelette granulaire du mélange. L'incorporation d'une addition minérale peut avoir des conséquences favorables et compenser un déficit en particules fines dans la mesure où les particules parviennent à remplir d'une partie du volume des vides du squelette granulaire et libérer l'eau contenue dans les pores. Si la quantité d'eau est réduite pour conserver la même maniabilité, alors la résistance mécanique peut s'améliorer. Cet accroissement de la résistance est appelé « l'effet filler »

la réduction progressive du dosage en eau pour une même consistance en incorporant les additions a été démontrée, en remplaçant une partie du ciment par des cendres volantes dans une formulation de béton. en introduisant les fumées de silice et les laitiers de haut fourneau. Ces études révèlent l'existence d'une optimisation des propriétés du

squelette granulaire par incorporation d'additions minérales selon la finesse, la morphologie, la nature et la quantité .[18]

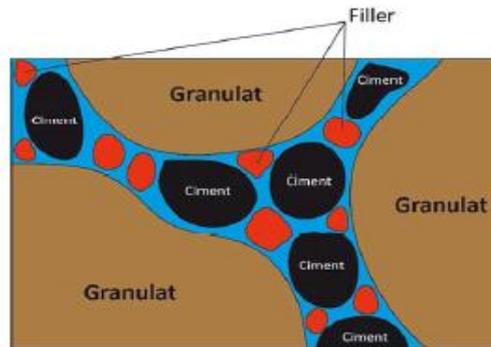


Figure 25: *Effet granulaire*

-Effet physique (granulaire): d'une part un rôle de remplissage en corrigeant la granulométrie des éléments fins du ciment pour combler les vides intergranulaires [6] et, d'autre part, un rôle rhéologique par la réduction de la quantité d'eau pour une consistance donnée en améliorant la

compacité du mélange frais et les résistances en compression aux jeunes âges du béton durci. Ce

qui est en accord avec Guemmadi

-Effet physico-chimique (microstructural): engendré par les multiples interactions entre les particules de l'addition et le processus d'hydratation du ciment et qui agit sur l'évolution de l'hydratation du ciment au cours de la prise et du durcissement.

C'est-à-dire un processus physique qui dépend de la quantité et de la finesse du FC, engendre une activation chimique de l'hydratation du ciment et agit sur l'évolution des résistances en compression aux jeunes âges. Les résultats avancés rejoignent globalement les résultats obtenus par Care et al.

-Effet chimique: l'addition calcaire n'est pas totalement inerte puisqu'elle réagit avec le C_3A et le C_4AF pour former des carbo aluminates. Ce qui est en accord avec Cyr et al

D'autres auteurs ont aussi retenu que les fillers calcaires de même nature que les granulats modifient le comportement mécanique du composite, en améliorant notamment l'adhérence entre

la pâte et les granulats, grâce au rapprochement des propriétés de rigidité des deux matériaux et à une meilleure homogénéité du système. L'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant des fillers calcaires⁵⁵ Certes que l'adhérence est une propriété qui n'est pas forcément évaluée par la résistance mécanique à la compression mais cette dernière permet d'avoir une idée d'après l'approche de De Larrard. Nous constatons, d'après les résultats obtenus, que la résistance à la compression, montre que le béton B10 est clairement supérieur aux bétons.

IV.5- PROVENANCE

Pour produire des fines calcaires, le principe est simple : il suffit de broyer des roches. Mais en pratique, le procédé pour obtenir des granulats de taille normalisée et homogène est bien plus complexe.

***Etape 1 : l'approvisionnement**

Trois sources principales d'approvisionnement peuvent être distinguées.

- Les roches meubles : sables, matériaux alluvionnaires (constitués par les anciens lits de rivière). On parle alors de sable roulé, car les grains de sable sont ronds.
- Les roches massives : calcaires et roches dures ou d'origine volcanique. On parle de sable concassé, car les grains de sable sont anguleux.
- Des matériaux issus du recyclage, souvent d'origine industrielle : matériaux issus de démolitions, bétons recyclés, ballasts de chemin de fer, etc.

Les gisements de granulats alluvionnaires ont largement été exploités. Ils se font de plus en plus rares et sont progressivement remplacés par des granulats marins, un excellent matériau de substitution. La nature géologique des granulats marins, des granulats immergés depuis plusieurs milliers d'années, est identique à celle des sables roulés issus des carrières terrestres. Ils permettent de fabriquer un béton de qualité et s'adaptent à la fabrication de bétons innovants. Les granulats marins deviennent donc une nouvelle source d'approvisionnement explorée par le Groupe.

***Etape 2 : l'extraction**

L'extraction est une phase essentielle de la production à partir de roches massives. Elle s'accompagne de choix stratégiques, comme la sélection d'un banc, choisi pour sa couleur ou sa dureté.

***Etape 3 : concassage, broyage, criblage**

Une fois extraits, les matériaux sont transportés jusqu'au site de traitement où intervient le scalpage. Cette opération consiste à trier les éléments indésirables : les blocs, l'argile, etc.

Le produit scalpé est concassé une première fois : il passe de l'état de bloc à l'état de pierre.

L'opération est renouvelée une ou plusieurs fois, pour réduire la taille des fragments obtenus.

Le résultat est ensuite criblé pour obtenir les granulats de granularité voulue. Les fractions les plus grosses rejetées par le crible sont à nouveau broyées, puis criblées, jusqu'à obtention de la taille souhaitée.

Certaines catégories de granulats, comme les sables et graviers, subissent des traitements complémentaires : lavage, cyclonage et débouage qui contribuent essentiellement à les rendre plus propres.

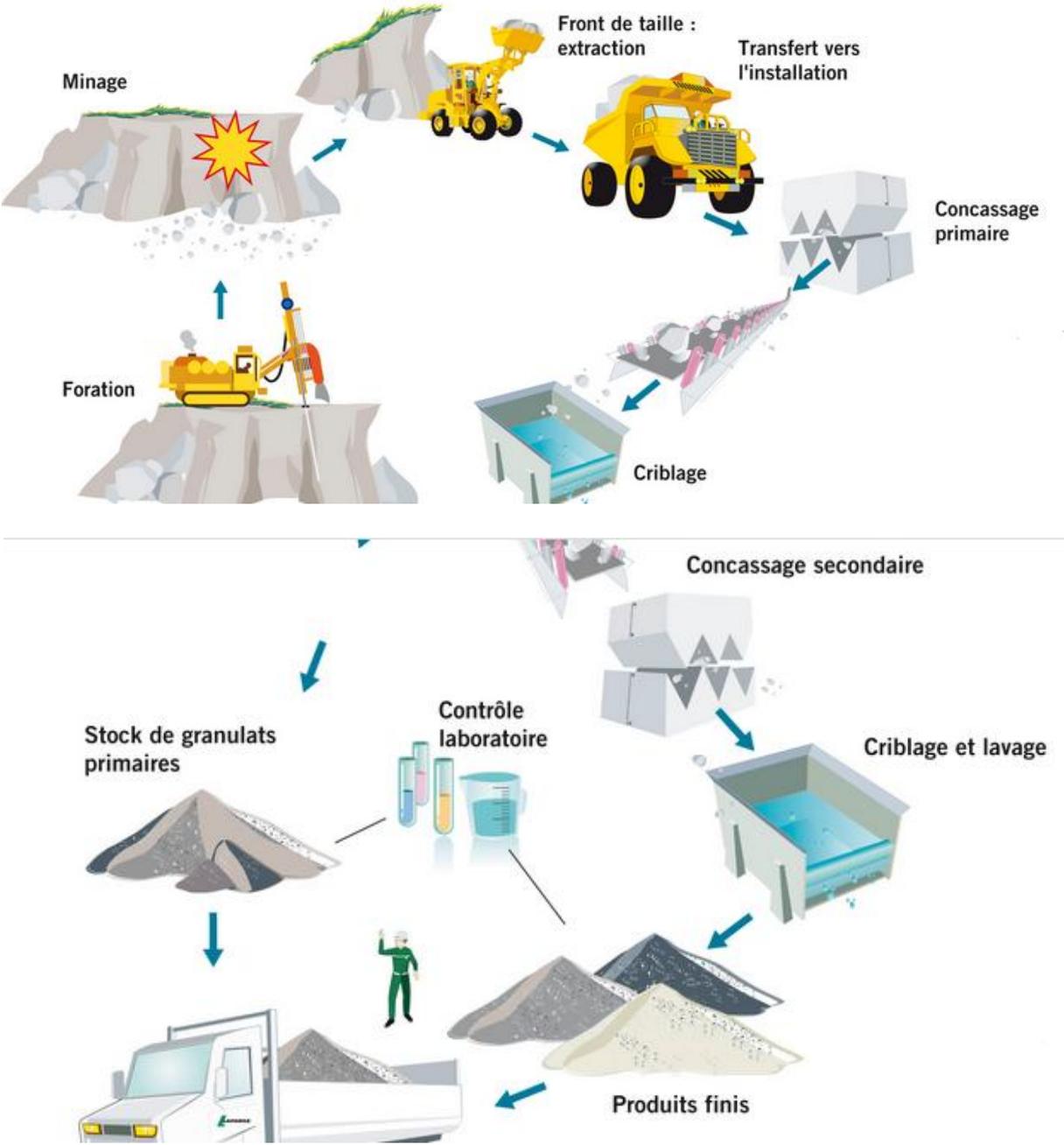


Figure 26: Les étapes provenance

IV.6-FINES CALCAIRE ET ENVIRONNEMENT

L'industrie des fines calcaires a acquis le savoir-faire nécessaire pour réduire ses impacts sur l'environnement et le cadre de vie des riverains. Elle poursuit ses efforts pour diffuser le plus largement possible ces bonnes pratiques.

En parallèle, les carrières constituent des espaces de refuge pour de nombreuses espèces menacées. La profession dispose d'une expertise reconnue en la matière. Ces sites industriels – exploités ou réaménagés – devraient donc jouer à l'avenir un rôle grandissant dans la préservation de la biodiversité.

- industrie consiste à extraire des sables et graviers et à les traiter suivant un processus purement mécanique. Les impacts des carrières sur l'environnement et sur le cadre de vie des riverains est donc par nature faible.

Les industriels disposent aujourd'hui d'un savoir-faire et d'équipements qui leur permettent de contrôler la plupart de ces impacts, qu'il s'agisse du bruit, des vibrations, des poussières ou des effets sur la qualité de l'eau.

- Les bonnes pratiques qu'elles mettent progressivement en place résultent notamment des travaux de recherche. Ces études menées par des experts ont permis de mettre au point les solutions les mieux adaptées pour réduire ces impacts.

Pour ce qui est du paysage, la prise de conscience est plus récente et la diffusion des bonnes pratiques moins avancée.

- De tous les impacts des carrières, le transport des matériaux essentiellement réalisé par la route, est le seul à rester problématique. Cette activité de transport – à l'intérieur des carrières et à l'extérieur pour la livraison des produits – est la principale cause d'émissions de gaz à effet de serre.

-La livraison aux clients constitue une gêne indéniable pour les habitants qui vivent à proximité des axes de transport. Des mesures multiples sont prises pour en réduire l'impact autant que possible. La meilleure solution, mais rarement possible, consiste à mettre en place des modes de transport alternatifs lorsque la carrière se situe à proximité d'un embranchement fer ou d'une voie fluviale.

- les carrières particulièrement riches en espèces ont été réaménagées en réserves écologiques. Mais la biodiversité se rencontre aussi sur les espaces en cours d'exploitation qui offrent des

écosystèmes intéressants à certaines espèces rares ou menacées. L'exploitant doit alors trouver des solutions pour préserver ces espèces sans pour autant cesser son activité !

-L'expérience et le savoir-faire de la profession dans ce domaine sont aujourd'hui reconnus.

-Les régions calcaires, sèches en surface, sont en profondeur, de grands réservoirs d'eau qu'il convient de surveiller particulièrement pour éviter tout risque de pollution. Les cavités qui renferment les aquifères sont en communication directe avec la surface par l'intermédiaire de fissures.

-Les risques de pollution sont beaucoup plus grands que dans les roches sédimentaires détritiques qui présentent une capacité de filtration

*La dissolution du calcaire dépend de plusieurs paramètres :

-La Température

-L'agressivité de l'eau (Taux CO₂)

-L'agressivité du milieu (Matière Organique)

*Les fines calcaires sont des matériaux dont on ne saurait se passer et cette notion est trop souvent

oubliée du grand public, qui ne ressent l'impact des carrières qu'à travers les atteintes qu'elles apportent à l'environnement ce sont des matériaux bon marché, et le développement des contraintes au niveau de leur production ne peut qu'entraîner un renchérissement des produits.

-L'exploitation des carrières ne conduit pas à terme, comme beaucoup de gens semblent le

croire, à une stérilisation d'une surface qui peut être considérable. Ce n'est qu'un épisode de l'occupation du sol qui se conclut, à plus ou moins long terme, par une nouvelle affectation

dont bénéficie la collectivité : bases de loisirs, espaces sportifs, bassins de pêche, terres

agricoles, opérations d'urbanisme, bassins d'alimentation en eau, colonisations biotopiques,

aménagement paysager, stockage contrôlé de déchets.

-Les actions envisageables sur la réduction des nuisances, associées aux multiples possibilités de réaménagement, montrent que la carrière n'a qu'un effet nuisible temporaire et réductible qui, à moyen et longs termes, sera toujours bénéfique pour la collectivité.

Roche sédimentaire - Calcaire

Aspects Géotechniques

Quelques équilibres chimiques

$$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$

En zone tropicale
le taux de CO₂ atm ↓
Formation de calcaire
dans les mers chaudes

$$\rightleftharpoons$$

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$$

En zone polaire
le taux de CO₂ atm ↑
Dissolution du calcaire
dans les eaux froides

-Parmi les impacts les plus connus des fines calcaires on cite leur utilisation dans le domaine constructif : ciment ; béton

IV.6.1-CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE

IV.6.1.1-DEFINITION

Le ciment Portland blanc au calcaire est un ciment Portland blanc composé, obtenu par la mouture de clinker blanc avec ajout de calcaire blanc. Tout au long du processus de production la pureté originelle des matières premières naturelles est préservée afin de garantir la clarté du ciment blanc. Au sein de sa classe de résistance, ce ciment présente une résistance normale à court terme. Le ciment Portland blanc au calcaire répond aux exigences de la norme européenne EN 197-1, annexe A1 incluse. Cette norme définit la composition, les spécifications chimiques, mécaniques et physiques ainsi que les critères de conformité des ciments courants. CEM II/A ou B 42,5 N CE NF est composé de : **[19]**

-80% à 94% de clinker pour les CEM II/A

-6% à 20% de laitier de haut fourneau ou de calcaire pour les CEM II/A

-65% à 79% de clinker pour les CEM II/B

-21% à 35% de laitier de haut fourneau ou de calcaire pour les CEM II/B

-0% à 5% de constituants secondaires

-La présence d'une faible quantité de sulfate de calcium assure la régularité de la prise.

IV.6.1.2-HISTOIRE DU CIMENT PORTLAND

En 1817, le Français Louis Vicat découvre les principes chimiques des ciments et définit les règles de fabrication du ciment hydraulique. Il est considéré comme l'inventeur du ciment moderne même si c'est l'Écossais Joseph Aspdin qui fait breveter le ciment « Portland » en 1824.

IV.6.1.3-CRÉATION ET FABRICATION :

Le procédé de fabrication du ciment Portland mis à jour par Louis Vicat et Joseph Aspdin au XIX^{ème} siècle est aujourd'hui utilisé de façon universelle.

Le ciment Portland est obtenu en réduisant en poudre un clinker constitué essentiellement de silicates de calcium hydrauliques. On n'y ajoute également diverses formes de sulfate de calcium (gypse ou plâtre), du calcaire et de l'eau, ainsi que divers produits d'addition au choix du fabricant.

Les matières qui entrent dans la fabrication du ciment Portland doivent contenir des proportions appropriées de chaux, de silice, d'alumine et de fer

IV.6.1.4-DOMAINES D'APPLICATION

Le ciment Portland blanc au calcaire convient à la confection de mortiers et bétons blancs et colorés en milieu non agressif.

Sa faible teneur en alcalis permet de l'utiliser en combinaison avec tous les granulats traditionnels sans risque de réaction entre les alcalis du ciment et les granulats (RAS). Bien que la norme NBN B12-109 ne prévoit pas les ciments Portland au calcaire dans la liste des ciments LA, la teneur en alcalis de ce ciment est largement inférieure à 0,60 %. Le succès des travaux entrepris avec ce ciment reste, bien entendu, conditionné au respect des règles de bonne pratique en matière de préparation, mise en oeuvre et conservation des mortiers et bétons.

IV.6.1.5-INFLUENCE DES FINES CALCAIRE SUR LE CIMENT PORTLAND

Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau. Le rôle propre du super plastifiant est essentiellement la défloculation (grâce à sa propriété dispersante), ce qui engendre des grappes d'ultrafines qui se forment lors du gâchage et leur permet ainsi de jouer leur rôle granulaire.

Les fines calcaires agissent favorablement sur les propriétés mécaniques des bétons. En plus de leur rôle granulaire entraînant une compacité accrue et par voie de conséquence des résistances plus élevées, elles peuvent avoir un effet accélérateur et participent à la formation des espèces hydratées suite à leur interaction avec le silicate tricalcique du ciment. L'activité chimique des fillers varie suivant leurs origines et les traitements qu'ils subissent. Le broyage peut être l'origine de la création de défauts planaires, linéaires et ponctuels. Ceux-ci déterminent la réactivité du filler. D'autre part, comme indiqué précédemment par d'autres auteurs, le CSH qui croît en épitaxie sur le cristal de calcite a une adhérence accrue au niveau du joint de grain.

IV .6.2-LES BETONS AUTOPLAÇANTS (BAP)

IV .6.2.1-DEFINITION

constituent une nouvelle avancée pour la construction en béton. Ce sont des bétons très fluides, se mettant en place sans vibration et sans présence d'une main d'œuvre qualifiée. Ces bétons intéressent de plus en plus les industriels, car ils présentent plusieurs avantages : réduire le coût, construire des éléments à géométrie complexe ou fortement ferrailés, et offre une solution unique à la créativité architecturale.

Les déformations différées des bétons, qu'elles soient d'origine physico-chimique, comme le retrait, ou mécanique, comme le fluage sous contrainte, peuvent mettre en cause la durabilité des ouvrages. Les déformations de retrait peuvent créer des fissurations et favorisent la pénétration rapide des agents agressifs externes induisant ainsi d'autres pathologies telles que la corrosion des armatures qui affecte l'ouvrage.

L'incorporation de fillers calcaires naturels en tant qu'addition minérale dans les bétons autoplaçants constitue une voie de valorisation écologique et économique.

-Paramètres de composition : Finesse de filler calcaire et le taux de substitution de ciment par filler calcaire.

-paramètres de conservation : Humidité relative.

Pour cela un programme expérimental a été établi comportant six formulations de BAP ayant la même formulation de base. Afin d'évaluer l'apport de chacun des paramètres de composition : Finesse de Filler calcaire et Rapport Filler/Liant, l'étude des mélanges a été conduite en conservant constant le squelette granulaire, le liant (Filler+Ciment) et le volume de pâte.

-Les fillers finement moulus constituent un complément du ciment dans le domaine des fines: ils ont un effet stabilisant dans la pâte de ciment, grâce au meilleur remplissage des vides. L'augmentation de la résistance est généralement parallèle à celle de la densité de tassement

IV.6.2.2-INFLUENCE DES FILLERS CALCAIRES SUR LES PROPRIETES DES BETONS

Si un filler calcaire est essentiellement utilisé comme une addition inerte permettant de remplacer une partie du ciment et éventuellement d'augmenter le volume de poudre dans le béton, son influence sur les propriétés du béton depuis l'état frais jusqu'à l'état durci est un aspect important à prendre en compte pour limiter l'apparition de désordres (homogénéité, aspect de surface, baisse des résistances).

IV .6.2.3-LES ADDITIONS CALCAIRES ET LEURS UTILISATIONS DANS LES BETONS « BEP »

Les fillers calcaires qui sont actuellement classés comme additions de type I par la nouvelle norme européenne EN 206 -1 (septembre 2004) sont généralement obtenus par broyage de roche au niveau des stations de concassage. Ils sont souvent produits avec le sable à des taux variables dépassant parfois les 25 % (par rapport au poids du sable) [Benachour 1992].

Les fillers comme de nombreux produits peuvent être utilisés comme addition dans le béton, mais très souvent on leur attribue une influence néfaste sur les propriétés du béton. Ce qui n'est pas le cas des coproduits industriels tels que les cendres volantes, les fumées de silices et les laitiers de haut fourneau qui ont été d'un apport positif grâce à leur caractère hydraulique et pouzzolanique. Leur utilisation a été généralisée comme additions dans les bétons et les bétons à haute performances [De Larard, 1988, Pala, et al 2007, Yogendran et al, 1987]. Cependant, le prix de ces additions est relativement élevé comparativement aux additions calcaires et siliceuses. D'autant plus que dans les granulats et notamment le sable produits par concassage, les fillers peuvent déjà exister.

.Les fillers confèrent aux bétons les propriétés suivantes

-Agissant principalement grâce à une granulométrie appropriée par leurs propriétés physiques sur

certaines qualités du ciment :

-Accroissement de la maniabilité.

- Diminution de la perméabilité et de la capillarité.
- Réduction de la fissuration.
- Limite le ressuage.
- Augmente la cohésion.
- Facilite le démoulage immédiat.
- Amélioration de la stabilité du béton mais un réducteur d'eau est nécessaire pour compenser l'eau de mouillage supplémentaire
- Les fines calcaires ont une double action dans le béton . Au jeune âge, elles ont un effet accélérateur de l'hydratation. Les grains agissent comme des sites de nucléation et la probabilité que les C-S-H dissous rencontrent des particules solides, pour précipiter, est alors augmentée. Cet effet s'estompe après quelques jours. Elles ont aussi un effet liant, par association avec les aluminates du ciment pour la formation de carbo aluminates. Farran et al, avait aussi signalé la formation d'une liaison intime entre les granulats calcaires et la pâte du ciment qui résulterait de plusieurs mécanismes dont un fort accrochage mécanique dû à une surface de contact rugueuse et à une liaison physico-chimique entre les granulats calcaires et la pâte de ciment. Les fillers de même nature que les granulats contribuent à l'amélioration de l'adhérence pâte-granulats, grâce au rapprochement des propriétés de rigidité des deux matériaux et à une meilleure homogénéité du système. On observe alors une amélioration des caractéristiques générales des bétons ordinaires .Buil et Paillere, ont constaté que l'utilisation des fillers améliore les performances mé-caniques des bétons. Cette amélioration provient du rôle actif exercé par ces particules dans l'hydratation du ciment

IV.6.2.4-INFLUENCE DU FILLER SUR L 'ETAT FRAIS

IV.6.2.4.1- RHEOLOGIE DES MELANGES CIMENTAIRES

Un béton est une suspension complexe du fait du grand nombre de paramètres de formulation induit par la grande distribution des particules considérées, de l'évolution dans le temps des propriétés dues aux réactions chimiques, et de la présence de nombreux adjuvants chimiques.

Le matériau est alors défini par :

- un seuil d'écoulement τ_0 (en Pa), qui représente l'énergie nécessaire pour initier l'écoulement au sein de la suspension;
- généralement la viscosité dynamique ou viscosité apparente μ (en Pa.s) (Eq. 1-3) qui

caractérise le matériau en écoulement.

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Eq. (1-3)

Où τ (Pa) est la contrainte de cisaillement et $\dot{\gamma}$ le taux de cisaillement (s^{-1}).

Le seuil et la viscosité des matériaux cimentaires sont influencés par les frottements inter granulaires et le volume d'eau libre dans la suspension, eux même influencés par les paramètres de composition :

- la concentration volumique en solide qui lorsqu'elle augmente entraîne une augmentation à la fois du seuil et des viscosités [Legrand 1971];
- la distribution du squelette granulaire [Legrand, 1971];
- la forme des particules; des particules plus anguleuses entraînent l'augmentation des frottements inter particulaires [Barrioulet, 1978];
- l'utilisation d'adjuvant [El Barrak, 2009]; le super plastifiant est le principal responsable de la variation du seuil de cisaillement et son comportement est différent selon l'état de déformation du matériau en écoulement.

-La finesse d'un filler joue naturellement un grand rôle sur l'écoulement du béton. Mais des résultats contradictoires apparaissent selon la définition donnée à la finesse et la relation avec la demande en eau du béton. Les sections a et b illustre ce fait. Les composés secondaires et les impuretés contenus dans le filler sont également discutés dans la section

a) Surface spécifique :

Puisque les fillers calcaires sont composés de particules de dimensions inférieures à $125\mu m$, leur surface spécifique va jouer un rôle prépondérant sur l'écoulement en suspension [Legrand, 1971]. En effet, travaillant à l'échelle de la suspension de filler, Michel et al [Michel, 2007], montrent une relation directe entre la demande en eau mesurée par l'intermédiaire du β_p (demande en eau déterminée à partir d'une combinaison de mesures d'étalement sur pâtes à teneur en eau variable [Filltech, 2007]) et la surface spécifique BET. On peut ainsi observer une augmentation de la demande en eau avec une augmentation de la surface spécifique BET

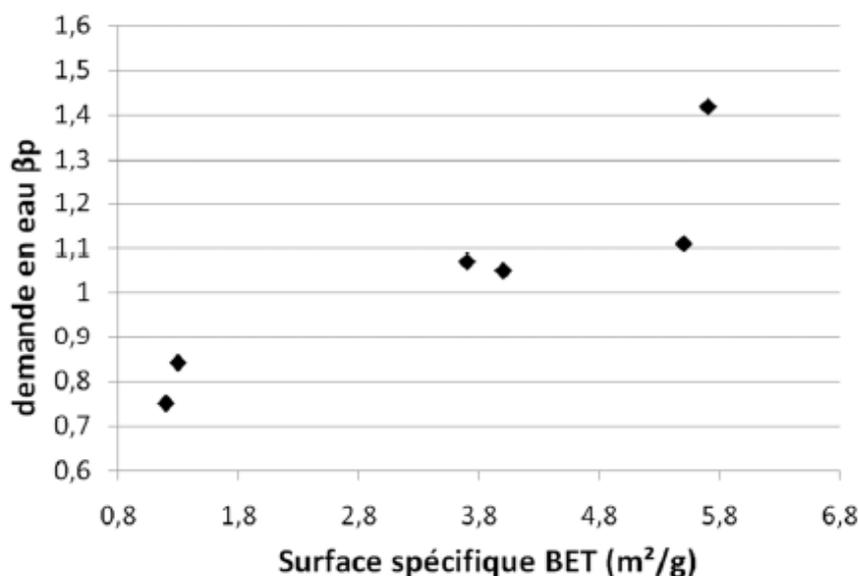


Figure 27: Relation entre la demande en eau d un filler et sa surface spécifique BET

-Cette demande en eau plus importante induite par une surface spécifique plus importante du filler calcaire va alors influencer sur les propriétés d'écoulement des mélanges cimentaires.

-En effet, plusieurs recherches montrent que l'augmentation de la surface spécifique du filler (mesurée par la technique BET ou Blaine) entraîne une altération des propriétés d'écoulement (à teneur en eau fixée) que ce soit à l'échelle de la pâte, du mortier [Michel,2007], [Billberg, 1999] ou du béton [Nehdi, 1998], [Esping, 2008]. Dans l'exemple présenté sur la Figure 1-10, Esping montre que pour un dosage en eau constant à l'échelle du béton on observe une augmentation du seuil de cisaillement et des viscosités avec l'augmentation de la surface spécifique du filler (mesurée ici par la technique BET utilisant des molécules d'eau).

-Si l'on voit que la surface spécifique BET des fillers est un facteur important, influant sur les propriétés des mélanges cimentaires, celle-ci est à relier aux propriétés de la roche (porosité) et au process de fabrication (morphologie) [Esping, 2003], mais également à la présence d'argiles [Michel, 2007].

b) finesse et distribution :

L'utilisation d'un filler permet par définition de combler les vides entre les grains de dimensions plus importantes du ciment. Cela conduit à la réduction de la demande en eau de la pâte de ciment ainsi obtenue [Jones, 2003]. Cet effet est d'autant plus marqué que le filler est fin. Ainsi, l'utilisation d'un filler plus fin (finesse Blaine) et avec une meilleure distribution

(déterminée sur la base du coefficient d'uniformité de la courbe granulométrique) permet de réduire la quantité de super plastifiant pour la formulation d'un béton autoplaçant [Hilali]. L'arrangement granulaire des particules est, au-delà de la finesse, aussi dicté par la morphologie du filler [Jones, 2003].

IV.6.2.5-INFLUENCE DU FILLER SUR L'ETAT DURCI

IV.6.2.5.1-Résistance mécanique

Beaucoup d'articles ont été écrits pour relier la présence de fillers calcaires avec résistance. Pour beaucoup la résistance serait améliorée, ou au moins équivalente dans le cas d'addition. [Soroka et Setter ; 1977] expliquent notamment une amélioration des propriétés mécaniques par une densification de la matrice obtenue. Le broyage de clinker et de filler calcaires diminue d'une côte la proportion de clinker dans le mélange et de ce fait diminue la résistance atteinte.

Il est montré que l'utilisation de filler permet l'amélioration des résistances mécaniques des mélanges cimentaires (pâte, mortier, béton). Cet effet positif dépend fortement du dosage en filler et le maximum de résistance est généralement atteint avec un taux de substitution de 10% [Michel, 2007], [Topçu, 2003], [Felekoglu, 2007]. Au-delà, l'effet du filler n'entraîne pas de modification des résistances ou alors entraîne une diminution.

Un broyage plus fin pourrait être réalisé pour obtenir des résistances équivalentes à un mélange sans ajout. Mais [Schmidt 1995] dit que pour des ajouts compris entre (5 et 10) % les résistances ne sont pas significativement réduites. Et un broyage plus intense n'est pas

Particulièrement indiqué [Detwiler et Tennis, 1998]. Certains auteurs, comme [Campitelli et Florindo, 1990] remettent en question l'effet bénéfique des fillers sur les propriétés mécaniques.

L'addition de filler introduit au moment du broyage abaisserait les performances de résistance des ciments, même pour l'optimum de SO_3 présent dans le ciment, quel que soit le pourcentage d'ajout ou la finesse de celle-ci [Campitelli et Florindo, 1990]. Le broyage concomitant avec celui des fillers ne favorise pas une bonne répartition de particules en taille.

-Une augmentation de la finesse du filler permet d'améliorer les résistances des mélanges cimentaires sur mortier [Lawrence, 2000]. Cette influence positive du filler sur

les résistances mécaniques des bétons peut être expliquée par deux phénomènes. Tout d'abord, l'ajout de filler fin permet d'améliorer la densité de la matrice générale du béton et plus spécifiquement de la zone de transition pâte granulats Boziljkov, 2003].

-D'un autre côté, bien que qualifié d'addition inerte, le filler calcaire influe sur l'hydratation du ciment en servant de site de nucléation [Ye, 2007] mais également en modifiant les produits d'hydratation formés [Kakali, 2000], [Xiong, 2003], [Péra, 1999], [Husson, 1992].

-En effet Bonavetti et al [Bonavetti, 2001] montrent que dans une pâte de ciment contenant du filler calcaire, les analyses DRX mettent en évidence trois phases

-de 1 à 7 jours, formation de carboaluminate hydraté, d'ettringite et diminution de la quantité de CaCO_3 .

-de 7 à 28 jours, transformation de l'ettringite en aluminate hydraté; stabilisation de la formation de carboaluminate hydraté.

-après 28 jours, l'excès d'ions carbonate en solution entraîne la transformation du sulfoaluminate hydraté en carboaluminate hydraté (plus stable [Zhang, 1980] ; l'augmentation des sulfates

en solution entraîne la reconversion de sulfoaluminate hydraté en ettringite.

_La formation de carboaluminate est également détectée lors de la formulation de mortier contenant des granulats calcaires. En effet, on peut observer à la surface des granulats des figures d'attaque. L'intensité de l'attaque des granulats calcaires par le sulfoaluminate hydraté dépend de la nature du granulat, de l'orientation cristallographique des grains de calcite et de la quantité de sul-foaluminate hydraté présent (c'est-à-dire de la température de cure et du rapport Eau/Ciment) [Farran, 1956], [Ollivier, 1981]

-Les fillers calcaires accélèrent le degré d'hydratation du ciment et de ce fait l'action positive du filler sur les résistances est essentiellement marquée en ce qui concerne les résistances au jeune âge (entre 1 et 7 jours).

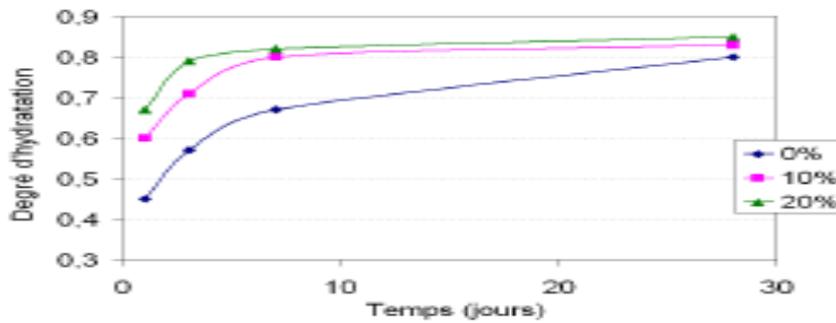


Figure 28: Evolution du degré d'hydratation en fonction du dosage en filler (0,10,20%)

IV.6.2.5.2-Durabilité

-La durabilité des bétons peut être reliée en grande partie à la pénétration d'agents nocifs (CO_2 , chlorure...). L'étude de la perméabilité des bétons contenant des fillers calcaires est donc un point essentiel si l'on veut étudier leur comportement à long terme. Pour les essais de perméabilité, que ce soit au gaz ou à l'eau, les résultats semblent contradictoires suivant les études réalisées.

-Alors que Boel et al [Boel, 2007] trouvent une perméabilité au gaz plus importante pour les bétons contenant du filler calcaire, les essais de Assié et al [Assié, 2007] et de Zhu et al [Zhu, 2003] montrent qu'elle est égale voire inférieure à celle de bétons sans filler.

-Les résultats trouvés pour la perméabilité et la sorptivité à l'eau varient suivant les recherches effectuées. En effet, [Tsilivilis, 2000], [Tsilivilis, 2003], [Boel, 2007] montrent que l'ajout de filler n'influe pas sur ces deux caractéristiques alors que [Zhu, 2003] trouvent des valeurs légèrement inférieures pour les bétons fillerisés. Il faut, pour pouvoir interpréter ces résultats, tenir compte du fait que les essais de perméabilité sont fortement dépendants du pré-traitement (température, durée de séchage) appliqué aux échantillons.

IV.6.2.6-ACTION SUR LA POROSITE ET LA SURFACE SPECIFIQUE

Les fillers calcaire sauraient tendance à modifier la densité des C-S-H. En général la densité des C-S-H d'échantillons de pâtes contenant du CaCO_3 (corrigée en prenant en compte la présence de portlandite, de CaCO_3 et de C3S anhydre) est légèrement plus importante. Cependant cette relation dépend également du degré d'hydratation des matériaux. La densité d'une pâte de C3S incorporant du carbonate de calcium est par contre plus faible dans le cas de l'utilisation de CaCO_3 .

Ces chercheurs expliquent notamment le plus important retrait d'une pâte de silicate tricalcique,

par le fait que la porosité serait plus importante en présence de carbonate de calcium [Adams et Race, 1990]. À un certain degré d'hydratation, une pâte de C3Sne contenant pas de CaCO₃ a une porosité totale plus faible. Cependant durant les sept premiers jours d'hydratation, une pâte contenant par exemple 15% de CaCO₃ peut posséder une porosité plus faible, due aux différents degrés d'hydratation comparativement à une pâte du même âge sans CaCO₃, [Ramachandan et Zhang Chuin-mei, 1986]. Le retrait de séchage serait influencé par l'addition de CaCO₃. Le retrait d'une pâte de ciment hydraté serait accru par une augmentation de la surface spécifique. Mais le retrait de séchage est influencé non seulement par la finesse et la teneur en eau, mais aussi par la nature minéralogique de l'addition.

IV.7-CONCLUSION

les fines calcaires devraient constituer une alternative à ce produit. L'utilisation de ce produit est encore limitée dans les centrales à béton. Elles ne sont utilisées que rarement et uniquement comme additions de type I. En outre, leur caractère pouzzolanique ou hydraulique n'est pas pris en compte ainsi que l'optimisation de leurs granularités. Les fumées de silice, les laitiers de haut-fourneau, ont été d'un apport positif grâce à leur caractère hydraulique et pouzzolanique. Leur utilisation a été généralisée comme additif dans les bétons durables et les bétons à hautes performances. Cependant, le prix de ces additifs est relativement élevé ce qui n'est pas le cas des fillers calcaires et siliceux.

-Pour augmenter l'utilisation de des fines, il est nécessaire de mieux connaître les mécanismes d'interaction des fillers avec le ciment et de déterminer les caractéristiques requises par les fillers pour une utilisation dans les mortiers et béton.

-La présence des additions calcaires provoque une accélération des réactions d'hydratation du ciment et favorise les propriétés du matériau durci aux jeunes âges, d'autant plus que les particules

Sont fines.

CHAPITRE V

fabrication du brique pozzolaniques
fabrication du brique pozzolaniques

V.1- INTRODUCTION

Les ciments pouzzolane-chaux sont les plus vieux liants hydrauliques, déjà employés par les

Romains. Il y a quelques temps, on a commencé dans quelques pays en voie de développement à substituer le ciment Portland par les liants de pouzzolane. Aussi dans notre pays l'utilisation de ce liant, permettrait des économies substantielles en matériaux. En effet l'Algérie possède une quantité appréciable de matériaux pouzzolaniques d'origine volcanique qui s'étend de façon sporadique le long de 160 Km entre la frontière Algéro -Marocaine et le Sahel d'Oran

Le but de notre travail est de formuler des composition de briques à base des produit naturels et des déchet tel la vase de dragage et les fines calcaire qui sont un sous produit ou exactement un déchet de l'industrie de la fabrication des granulats plusieurs formulé ont était testé et on vas voir on ce qui suit la démarche utilisée.

V.2- CARACTERISATION DES MATERIAUX ENTRANT DANS LA COMPOSITION

Les brique silico calcaire fabriqué dans le monde entier sont à base de la chaux et du sable, en utilisant le principe de cette composition on va essayé d'établir plusieurs mélange a base de la pouzzolane naturelle, les fines calcaire et la vase de dragages.

Mais en premier lieu en va présenter les caractéristiques de chaque matériau utilisé et les différents essais effectués à la fin on présentera les résultats des différentes combinaisons de briques fabriques.

V.2.1- POUZZOLANE

La pouzzolane utilisée pour substituer une proportion du ciment provient du gisement du Bouhmidj (Béni-Saf), Toute la pouzzolane utilisée comme substituant au ciment est homogénéisée, séchée, concassée et réduite en poudre (80 μ) à l'aide d'un micro broyeur .



Figure 29 : *Pouzzolane du Bouhmedi*

La détermination des caractéristiques physiques et chimiques des pouzzolanes naturelles et artificielles a été réalisée en collaboration avec le laboratoire national des travaux publics d'ouest (LTPO). Les résultats de ces analyses sont reportés dans les tableaux 1 et 2

Tableau 16: *Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle*

Caractéristiques Physiques	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0,81
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,75
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	60
Porosité (%)	54,2
Humidité (%)	2,51
Perte au feu (%)	5,60

Tableau 17: *Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle*

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs(%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	021	100.29

Tableau 18: *Composition minéralogique*

Minéraux	Teneurs en pourcent (%)
Feldspath plagioclase (Anorthite: $\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$)	40
Pyroxène (Augite : $(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_6$)	15
Verre volcanique	14
Analcime (Zéolithe)	12
Chlorite : $(6\text{Mg}_5\text{A}_2\text{S}_3\text{O}_{10})$	6
Hématite : Fe_2O_3 Magnétite : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ FeO}$ Biotite : $2\text{K}(\text{Fe, Mg})_3 \text{ AlSiO}_{10} (\text{OH})$	8

Analyse granulométrique et sédimentométrique de la pouzzolane :

Cette analyse permet de déterminer la distribution en poids des particules du matériau «pouzzolane» suivant leur dimension. Elle se fait par tamisage pour les grains dont la dimension est supérieure à 80 microns et par sédimentation dans un liquide défloculant d'Hexamétaphosphate de sodium pour les grains dont la dimension est inférieure à cette fraction. Cet essai se fait en se basant sur la loi de Stokes et en supposant que les particules sont sphériques, pour les grains les plus fins .

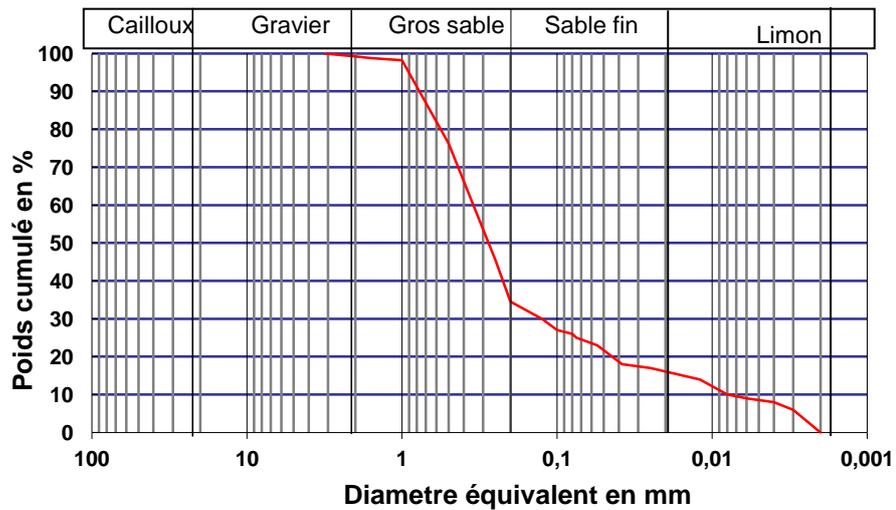


Figure 30: la courbe granulométrique et sédimentométrique de la pouzzolane du gisement de Bou-Hamidi.

V.2.2- LA VASE

La vase utilisé pour la préparation la vase de (OULED FODDA) de chlef . séchée, concassée et réduite en poudre (80μ) .



Figure 31: La vase de OULED FODDA

Sa composition chimique est présentée par le tableau

Tableau 19: *Composition chimique de la vase l'Oued Fodda*

Caractéristiques	Symbole	Vase de l'Oued Fodda(%)
La silice	SiO ₂	46.37
L'alumine	Al ₂ O ₃	13.73
L'oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	5.76
La chaux	CaO	11.87
La magnésite	MgO	1.64
L'oxyde de sodium	Na ₂ O	0.37
Potassium	K ₂ O	1.48
L'oxyde de Titane	TiO ₂	0.67
Perte au feu	PAF	17.90

La vase est composée d'un pourcentage important de silice, de l'ordre de 46.37% et de 13.73% d'alumine. Ces deux oxydes confirment l'analyse minéralogique de la vase et l'existence de la kaolinite et l'illite qui sont des minéraux argileux composés principalement des feuilletes de l'alumine et de silice.

Le pourcentage de la perte au feu est remarquable, de l'ordre de 17.90% justifié par la présence de la matière organique et un pourcentage de chaux de 11.87%.

Tableau 20: *Caractéristiques physiques et géotechniques de la vase de l'Oued Fodda*

Echantillon	ρ_s g/cm ³	d ₅₀	W _L %	W _P %	I _P %	VBS
Vase de l'Oued Fodda	2.5	68	47.54	22.80	24.74	5.66

d₅₀: diamètre moyen des grains

ρ_s : masse spécifique des grains solides (g/cm

VBS : valeur de bleu de méthylène

W_L: limite de liquidité

W_P: limite de plasticité

I_P: Indice de plasticité

Tableau 21: *Résultats de l'analyse granulométrique de la vase de l'Oued Fodda*

Granulats	Sable	Limon	Argile
Echantillon	25	13	62

Suite à cette analyse, un taux de 62% de la composition de la vase du barrage de l'Oued Fodda est une argile, 13% limon et 25% sable. Donc selon la classification des sols fins de Casagrande notre vase est une argile plastique. Cette analyse confirme le ré physiques sont complétées par d'autres rhéologiques.

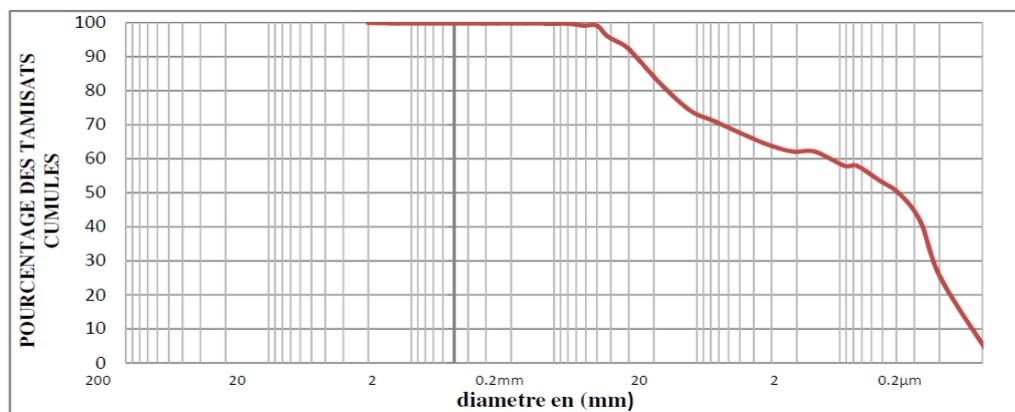
**Figure 32:** *La courbe granulométrique finale de la vase de l'Oued Fodda*

Tableau 22: Résultats des analyses minéralogiques de la vase de l'Oued Fodda

Minéraux	Vase de l'Oued Fodda (%)
Chlorite	5.5
Illite	15
Kaolinite	25
Dolomite	1.5
Calcite	24
Quartz	27
Feldspaths	2

Notre échantillon est donc composé principalement de Quartz, kaolinite, Calcite, Illite, Feldspaths et de Dolomite.

La microscopie électronique à balayage de la vase de l'Oued Fodda permet de présenter l'organisation générale des minéraux argileux. Cet échantillon se présente sous forme d'agrégat, c'est-à-dire

en petits lots des particules juxtaposées. Les minéraux ont les caractéristiques suivantes :

- Quartz : se présente sous forme de grands cristaux ;
- Kaolinite : se présente sous formes des plaquettes hexagonales qui peuvent avoir parfois certaines déformation telle que des élongations ou parfois altérations ;
- Illite : se présente sous forme de fines particules équidimensionnelles .

V.2.3-SABLE DE DUNE

Nous avons utilisé le sable de dune prélevé de la wilaya de Naâma, située à l'ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'est celle d'El-Bayadh et au sud celle de Béchar.



Figure 33: Carte d'Algérie (wilaya de NAAMA)

V.2.3.1-LES ESSAIS UTILISES DANS LE SABLE DE DUNE

V.2.3.1.1-Analyse chimique

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau de laboratoire

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 23: Analyse chimique de sable de dune

éléments	La silice brute (HCL et NH ₄ CL)	Dosage de l'oxyde de calcium (Cao)	Dosage de l'oxyde de fer (FeO ₃)	Dosage de l'oxyde d'alumine (Al ₂ O ₃)	L'anhydride sulfurique (SO ₃)	Evaluation des carbonates (caco ₃)
(%)	89.7	1.63	0.35	0.30	Nul	1.87

V.2.3.1.2-Analyse granulométrique sable de dune

But :

Cet essai "analyse granulométrique" nous permet d'identifier des sols, les classer et même également les nommer.

Principe

L'essai Analyses granulométriques consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoires reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique :

- balance et différents poids
- tamis en mm (20-16-12,5-10-8-6,3-5,4-3,5-1-0,2-0,08)
- vibreur de tamis

**Figure 34:** *vibreux de tamis***Figure 35:** *tamis en mm***Mode d'opération :**

- On place l'échantillon à étudier à l'étuve à 105°C pendant 24h.
- Prélever 2kg de matériau
- Imbiber cette quantité dans l'eau pendant 24h
- On le repasse à l'étuve pendant 24h après avoir lavé le matériau pour éliminer les fines.
- On sort le matériau que l'on verse sur les tamis disposés comme dans l'appareillage et on secoue à la main ou au vibreur de tamis, il y aura un passage selon le diamètre des tamis.
- On enlève chaque tamis et on pèse le refus, au fur et à mesure en faisant un cumul sur le tamis suivant.

Calcule :

- (Pc) : passe cumulé= (en %)
- Et le passant= 100 – (pc)

Module de finesse :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, Le module de finesse est égal au $1/100$ e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm

- Norme Française [NFP 18-540] :

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5 \}$$

- Norme Européenne [EN 12620]

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 1.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

Lorsque M F est compris entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier.

Notre résultats et résumé dans le tableau suivant :

Tableau 24: tamisage de sable de dune

Tamis	Refus cumulés		Tamisat	Module de finesse
Dia mm	Poids	%	%	%
6.3				0.90
5			100	
2.5			100	
1.25			100	
0.63	21.33	2.13	97.87	
0.315	57.3	5.73	94.27	
0.16	825.89	82.59	17.41	
0.08	973.13	97.31	2.96	

Equivalent de sable :

Essai d'équivalence de sable est spécifique aux sols grenue, il nous permette de mettre en évidence la proposition relatif de poussière fin nuisible argileux dans les sols ou les agrégats fins : il est effectuée sur des éléments de diamètre 5 mm

Son importance est capital car la présence des éléments fins peut modifiée le comportement rhéologique du matériau.

Principe:

L'essai équivalent de sable s'effectue sur la fraction des sols passant au tamis de 5mm ; il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments les plus fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins.

Matériaux utilisés :

- La solution flocculant
- Cylindre gradué
- L'échantillon
- Le piston

Mode d'opération :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable.

Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur hauteur totale, exprimé en pourcentage



Figure 36: Résultat d'équivalent de sable

Calcule :

Après repos, la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond du cylindre gradué est mesurée. Le piston est ensuite abaissé dans le cylindre jusqu'à ce que l'embase repose sur le sédiment, ce qui permet de mesurer la hauteur h2, distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon.

L'équivalent de sable est donné par la formule suivante :

$$ES = 100 \times \frac{h_2}{h_1} (\%)$$

H2 : sable propre seulement

H1 : sable propre + élément fins

Résultats résumé dans le tableau suivant:

Tableau 25: Résultats Equivalent de sable de sable de dune

	H1	H2	ES (%)	ES moyenne (%)
ESSAI 1	19	18.9	32.6	32.43
ESSAI 2	6.2	6.1	32.7	

Tableau 26: Nature et qualité ES du sable

ES	Nature et qualité du sable
SE < 60	Sable argileux – n'est pas utilisable au béton
60 ≤ SE < 70	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ SE < 80	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
SE > 80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

D'après notre résultat nous concluons le sable de dune de NAAMA c'est un sable argileux il provoque un Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.

V.2.3.1.3-La masse volumique apparente et absolue

La masse volumique apparente :

Définition :

- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.
- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

Mode d'opération :

- L'essai est répété 2 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente



Figure 37: Les matériaux de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad \text{En g/cm}^3$$

M1 : masse de récipient = 1503.46 g

M2: masse de récipient remplie = 2903.46 g

V : volume de récipient = 979.71 cm³

Résultats de notre essai :

$$\rho_{app} = 1.428 \text{ g/cm}^3$$

➤ La masse volumique absolue :

- La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

MODE D'OPERATION :

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

LIRE LE NOUVEAU VOLUME V_2 .

- LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE EST DONNEE PAR LA FORMULE SUIVANTE :

$$\rho_{abs} = \frac{p_3 - P_1}{(p_2 - p_1) - (p_4 - p_3)}$$

P_1 : pycnomètre vide = 107.23g

P_2 : 1L+ masse de pycnomètre vide= 1107.23g

P_3 : masse de pycnomètre + masse de sable =607.23g

P_4 : masse de pycnomètre + masse de sable + eau = 1413.35

GRAPHE :

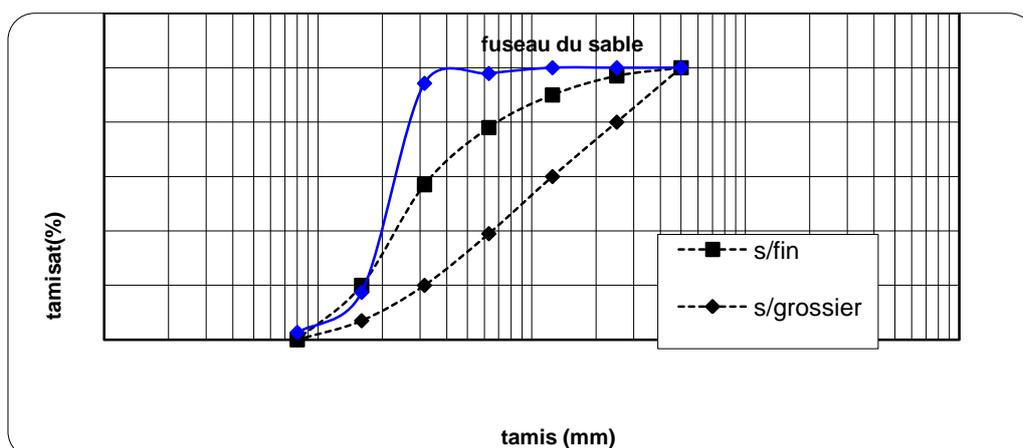


Figure 38: *Graphe Granulométrie par tamisage de sable de dune*

- L'analyse granulométrique du sable de dune utilisé montre que la granulométrie est très serrée et son module de finesse est de l'ordre 0.9. Ce sable ne s'inscrit pas dans le fuseau Granulaire.

V.2.4-LA CHAUX**Tableau 27:***Composition chimique de la chaux*

Symbole	Les valeurs
CaO + MgO	≥ 90%
MgO	≤ 7%
SO3	≤ 2 %
CO2	≤ 6 %
CaO libre	≥ 80%

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Réactivité à l'eau : stockage à l'abri de l'humidité

Formation d'hydroxyde par contact avec l'eau entraînant un dégagement de chaleur :



Granulométrie :

Tableau 28:*tamisage de la chaux*

Tamis	Passant
5mm	100
2.5	95
0.2	70
0.08	50

Masse volumique en vrac : 0,7 à 1 Kg/dm³

V.2.5-L'EAU

Nous avons utilisé l'eau potable du robinet

V.2.5-LES FIN DE CALCAIRE

Tableau 29: Résultats des analyses minéralogiques

Minéraux	Fin calcaire%
Calcite	87
Quartz	25

La masse volumique apparent : 2530kg/m

V.3-REALISATION

Le malaxage est réalisé à l'aide d'un malaxeur « MATEST » dans une cuve de cinq litres :

- introduire le matériau dans le récipient et verser l'eau
- mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le deuxième matériau (pendant les 30 s suivantes).
- arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.



Figure 39: Malaxeur MATEST

V.3.1- LIEU DES ESSAIS

Département Laboratoires, Laboratoire Matériaux.

V.3.2- CONFECTION DES EPROUVETTES

On a utilisé des éprouvettes cylindrique, conçues dans des moules de dimensions 10 x 05 x 196 .25cm³ et un moule 02 x 07 x 76 .93 cm³ pour les essais normalisés ont été préparés selon les combinaisons suivantes :



Figure 40: Moule cylindrique

Sept (07) combinaisons ont été préparées à partir de différente quantité d'ajout.

Tableau 30: les préparation des essais

Indice	Sable (g)	Pouzzolane(g)	Vase (g)	Chaux(g)	Fine calcaire (g)	L eau(cm ³)
G1	240			160		44
G2		240		160		44
G3			240	160		44
G4		240			160	44
G5			240		160	44
G6		120	120	160		44
G7		120	120	80	80	44

V.3.3-PROCEDURE DE CONFECTION DES EPROUVETTES

On remplit un moule . Le serrage dans ce moule obtenu en introduisant les couches et en appliquant le compactage avec l'aide de compacteur manuel.



Figure 41: Compacteur manuel

Le démoulage est effectué après une durée de 24h sous la presse et après L'échantillon a été placé dans l'Autoclave tandis que les autres sont placés dans le four pendant 3 heures à 800 ° C



Figure 42: Autoclave



Figure 43: Four



Figure 44: Démoulage

V.4-RESULTAT ET INTERPRETATION

Dans cette partie on va présenter les résultats obtenus suite aux différents essais réalisés sur les gâchées après confection des éprouvettes

Une série a été mise dans un autoclave, une autre série suite à un incident avec l'autoclave on a choisi de terminer le processus de fabrication dans le four

V.4.1-EXAMEN VISUEL

Dans ce qui suit on présente les photos des différentes éprouvettes de brique sachant que on a utilise des éprouvettes cylindrique on constate que l'aspect visuel est compacte pour les différents gâchées

G1 : sable + chaux + l'eau

Un aspect blanc le même que les brique silico-calcaire trouve sur le marché



Figure 45: *Brique silico calcaire*

On na pas remarque des fissure et l'avantage c est que on a utilise l'autoclave dans la fabrication

G2 : Pouzzolane +chaux + l'eau

On a aspect assez compact même après passage à l'autoclave pour la couleur elle est marron



Figure 46: *Eprouvette G1*



Figure 47:Préparation *Eprouvette G2*

Sur le figure 47 on peut voir l'éprouvette de la gachées G2 après préparation dans la presse

G3 : vase +chaux+ l eau

On a un aspect assez lisse avec une couleur qui ressemble à la brique silico calcaire



Figure 48:*Eprouvette G3*

La cuisson est fait au niveau du four

Pour cette gâchée G4 pouzzolane + fine calcaire+ L eau

La fabrication et faite avec l autoclave mais comme on peut voir sur les figure on a la dissolution complète de l éprouvette dans l autoclave de même pour la G5 ou on a utilisé les même quantité de la vase et des fine calcaire



Figure 49: Gâchée G4 et G5 à la sortie de l'autoclave

Pour les derniers gâchées G6 et G7 on a un très beau aspect lisse, sans fissure et avec coloration marron due a le présence de la pouzzolane dans la formulation



Figure 50: Eprouvettes G6 et G7 après cuisson a four

V.4.2-ESSAIS DE RESISTANCE MECANIQUE PAR LA COMPRESSION

Dans cette partie on a exposé les résultats obtenus suite à l'essai de compression mécanique



Figure 51: Machine de compression

Tableau 31: Les résultats de la Résistance mécanique par la compression

Les gâchées	Les Résultats Mpa
G1	20.956
G2	43.766
G3	00
G4	00
G5	6.558
G6	2.958
G7	4.966



Résultat G2



Résultat G1



Résultat G 6



Résultat G5

Figure 52: *Les Résultats des gâchées*

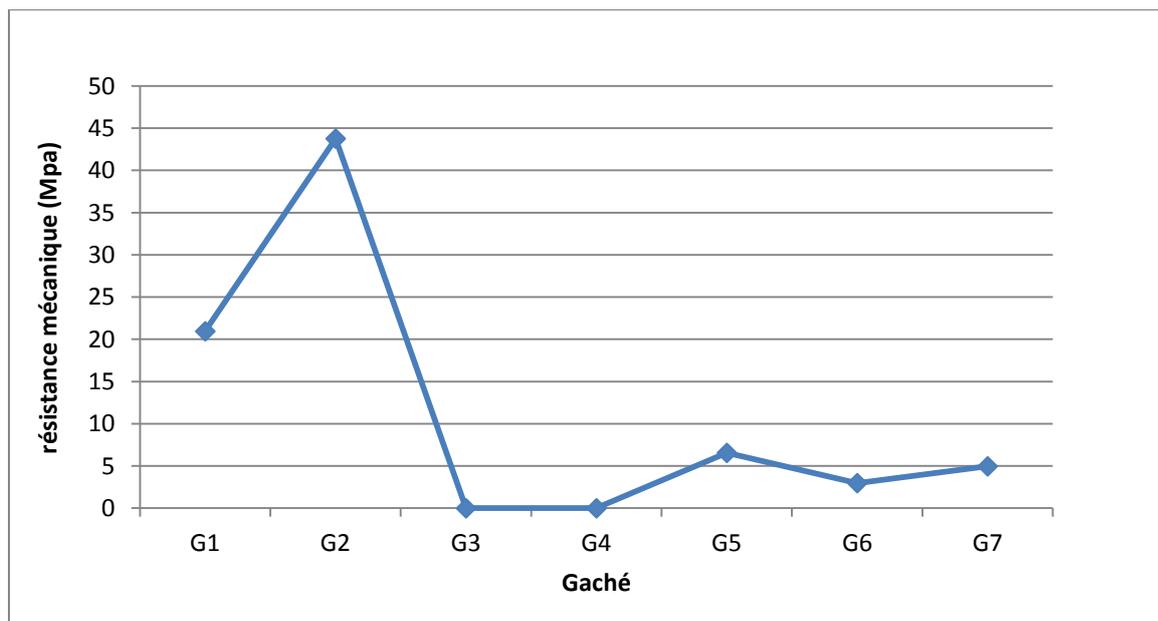


figure 53: Le graphe résistance mécanique par la compression

On peut remarquer sur la figure 53 que la Résistance de la gâchée 2 (G 2) est nettement supérieure aux autres gâchées

La gâchée 1 (G1) donne aussi un bon résultat.

On remarque aussi que les autres gâchées présentent des faibles résistances mécaniques.

Les gachées G3 et G4 n'ont pas affichés les résultats car l'éprouvettes été endommagés lors de l'essai à l'autoclave

V.5 CONCLUSION

Cette étude présente les résultats de l'effet du remplacement du matériau de construction usuels par la pouzzolane naturelle de beni-saf dans la fabrication des briques.

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.

conclusion générale
conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude on a essayer de valoriser des produits dont le premiers est un matériaux naturelle qu'on retrouve dans la nature en abondance qui est la pouzzolane naturelle et le deuxième c'est un déchet de dragages des barrages qui est la vase et le dernier c'est les fines calcaires qui sont un déchet de la production des granulat.

Notre objectif est d'utiliser ces produit dans la fabrication des briques silico-calcaire , d'habitude fabriquer à base de la chaux et du sable. Afin de réduire les déchets rejetés dans la nature,

Le gisement de sable sans en épuisement d'où la nécessiter de rechercher des solutions de secours donc l'utilisation de la pouzzolane naturelle et la vase est une solution économique et qui préserve l'environnement.

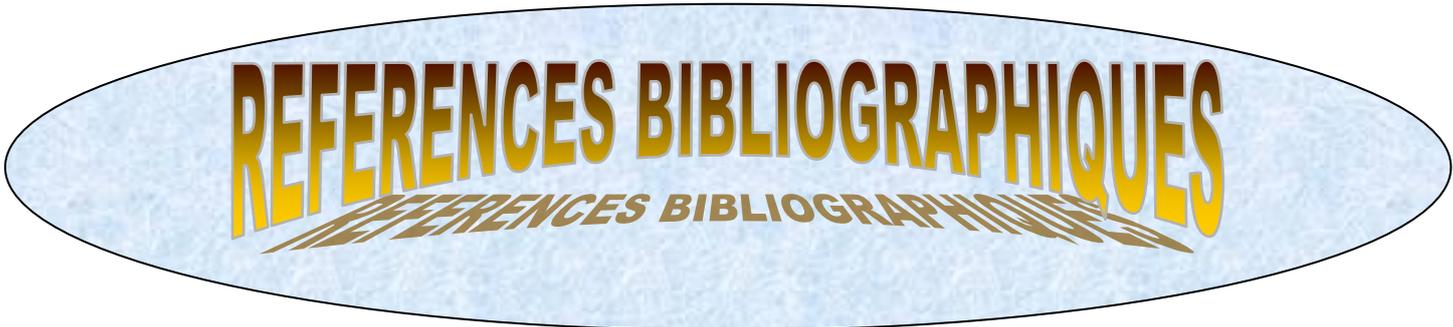
Suite à nos essais on a pus obtenir les résultats suivants :

L'utilisation de la pouzzolane et la vase nous à donne des bonnes résultats donc on peut utiliser ces deux produits pour la fabrication des brique .

Suite a des problèmes au niveau du laboratoire avec l'autoclave on a pas pu réaliser tous les essais nécessaire pour la compréhension de ce matériaux on a été contraint d'utiliser le four pour la fabrication des brique à base de la pouzzolane et la vase les résultats obtenus peuvent être développer pour une éventuelle commercialisation.

Ce travail nous a permet de toucher un axe sensible dans le domaine des matériaux qui est la valorisation des produit et le recyclage des déchets industriels a fin de préserver l'environnement et nos ressource naturelle.

Le travail au laboratoire nous a permet d'être en contact avec les différents matériaux et les différents équipements qu'on ne connaît que dans la littérature.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : VENUAT M., « Produits silico-calcaires », *Technique de l'Ingénieur*, 1994.
- [2] : DJOUHRI M., « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, *Université de Ouargla*, 2007.
- [3] : www.fbb.ch/tl_files/fbb/.../Silico%20calcaire%20brochure%20d'informations.pdf
- [4] : <http://fr.construct-yourself.com/building-materials-and-constructions/construction-materials/lime-brick-the-composition-thermal-conductivity-density.html>
- [5] : Meukam P. « Caractérisation de matériaux locaux en vue de l'isolation thermique de bâtiments », *Thèse de doctorat, Université de Gergy-Pontoise*, 2004
- [6] : MEATF, *ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire de France*, les pouzzolanes et les basalts, *bull n°92 Nov-Déc 1977 p 91-112, bull n°93 Fev 1978 p 61-69*
- [7] : cliché Michelle Barbier, *Préparation à l'Agrégation SVT, ENS Lyon*
- [8] Nabil Bouzoubaâ et Simon Foo, *utilisation de cendres volantes et de laitier dans le béton : guide des règles de l'art, laboratoire de la technologie des matériaux, Canada*, 2005

-
- [9] V. Furian et Y.Houst, *lés matériaux pouzzolaniques et leurs utilisation, laboratoire des matériaux pierreux de l'EPF, Lausanne, chronique du LMP 1980*
- [10] :<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-d2b;jojkllmurable-recyclage-traitement-dechets-932/page/8>
- [11] :<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/dechets-dangereux>
- [12] :MIGNIOT C. (1968). *Etude des propriétés physiques des différents sédiments très fins et leur comportement sous des actions hydrodynamiques. Revue la Houille Blanche*
- [13] : <http://lsj.cnrs.edu.lb/wp-content/uploads/2015/12/chaid.pdf>
- [14] :Matureux, B. et Harain, H. 1980. *Comparaison de la réactivité de différentes pouzzolanes. 7ième Congrès International de Chimie des Ciments, 3 : 110-115*
- [15] :<http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/roches-calcaires-analyse-biblio.pdf>
- [16]:Nonat, A. 1994. *Interaction between chemical evolution and physical evolution, in the case of tricalcium silicate. Materials and Structures: 187-195*
- [17] :Escadeillas, 1988 *Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Spécialité Génie Civil "Les ciments aux fillers calcaires : Contribution à leur optimisation par l'étude des propriétés mécaniques et physiques des bétons fillérisés" (1988)*

[18] :<https://www.cpi-worldwide.com/fr/journals/artikel/42543/les-effets-du-filler-calcaire-de-la-finesse-du-ciment-et-de-la-temperature>

[19] :<http://geniecivil.univ-tlse3.fr/L3GC/enseign/Cours-ciment-et-beton-2018.pdf>

